

Cándido Manuel García Cruz
(editor científico)

La teoría de la deriva continental

LA TEORÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL

SIMPOSIO SOBRE
EL ORIGEN Y MOVIMIENTO DE LAS MASAS TERRESTRES
TANTO INTERCONTINENTALES COMO INTRACONTINENTALES,
SEGÚN PROPONE
ALFRED WEGENER

**Nueva York
(1926)**

Prefacio, traducción, [notas] y suplemento bibliográfico de
Cándido Manuel García Cruz
(Editor científico)
International Commission on the History of Geological Sciences

Título original:

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.

(New York, 1926)

Traducido por Cándido Manuel García Cruz,

con el permiso de The American Association of Petroleum Geologists.

© The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa (OK), EE.UU. (1928).

© Del Prefacio, traducción, [notas] y suplemento bibliográfico, Cándido Manuel García Cruz.

Impreso en España

Editado por Bubok Publishing S.L.

La Laguna (Santa Cruz de Tenerife), 2024

ISBN: 978-84-09-65572-4

D.L.: en trámite

Reservados todos los derechos. Salvo excepción prevista por la ley, no se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos conlleva sanciones legales y puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Dirijase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra (www.conlicencia.com; 91 702 19 70 / 93 272 04 47).

Para *David, Alejandro y Patricia*,
porque cualquiera de mis razones ha *derivado* siempre desde ellos y hacia ellos.

Para *Mateo*,
por su esplendor en la memoria.

Para *Gabriela, Adama y Vassiliy*,
por sus moradas en las improntas.

Ved girar el globo,
Los continentes progenitores allá, agrupados
estrechamente,
Los continentes presentes y futuros al norte y al
sur, con el istmo en medio.

WALT WHITMAN

Hojas de Hierba

Al partir de Paumanok, 2, 22–24 (1860)

ÍNDICE GENERAL

PREFACIO	11
La ciencia de la geología a principios del siglo XX	11
Orígenes de la teoría de los desplazamientos continentales	16
Antecedentes de la deriva continental	21
La transformación de una idea científica	42
La respuesta de la comunidad científica	46
El simposio de la <i>American Association of Petroleum Geologists</i> (Nueva York, 1926)	49
A modo de epílogo	62
Nota de la presente traducción	62
Agradecimientos	63
LA TEORÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL (SIMPOSIO)	65
NOTAS DE LA TRADUCCIÓN	283
SUPLEMENTO BIBLIOGRÁFICO	297

PREFACIO¹

Alfred Wegener (1880–1930): Origen y transformación de una idea científica

Cándido Manuel García Cruz
(INHIGEO)

L’histoire des sciences nous apprend qu’il n’est pas de théorie qui ne soit un jour modifiée ou remplacée par une autre. Toute science est en effet déchirée entre deux positions extrêmes, d’un côté le désir d’une explication universelle et en apparence définitive, de l’autre la nécessité d’une critique vigilante, c’est-à-dire d’une *remise en question incessante*².

MARCEL LEMOINE (1973, p. 374)

La ciencia de la Geología a principios del siglo XX

Cuando se inició la andadura de la teoría de la deriva continental³, en las

¹ Este *Prefacio* está basado en trabajos previos del autor (García Cruz, 1996, 2003a, 2003b, 2012). Las referencias, tanto de este *Prefacio* como de las [notas] de la traducción, remiten al *Suplemento Bibliográfico* (p. 297–381).

² La historia de las ciencias nos enseña que no existe teoría que un día no sea modificada o reemplazada por otra. Toda ciencia, en efecto, oscila entre dos posiciones extremas, por un lado, el deseo de una explicación universal y en apariencia definitiva, y, por otro, la necesidad de una crítica vigilante, es decir, de un *cuestionamiento permanente* (traducción de C.M. García Cruz; énfasis original).

³ En alusión a su hipótesis, Wegener siempre habló de *desplazamientos continentales* (en el original alemán, *Kontinentalverschiebungen*) y nunca de *deriva continental*. En su primer trabajo (Wegener, 1912e, p. 185) utiliza el término *abtreiben*, que significa *derivar* con el sentido de proceder, extraer, separar, que refleja mejor las ideas de la nueva hipótesis del origen de los continentes por separación a partir de una masa única. Esto nada tiene que ver con el hecho de *ir a la deriva*, para lo que en alemán existe otro vocablo, *abdriften*, de uso más común por ejemplo en náutica, para indicar la deriva de materiales por flotación y/o arrastre mediante las corrientes oceánicas (usado también en relación con el glaciario), expresión que por otro lado es ajena a Wegener, y que tampoco fue habitual entre los autores germanoparlantes. Fue solo a partir de la traducción inglesa en 1924 de la tercera edición alemana de su libro *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (Vieweg, Bruns-

primeras décadas del siglo XX, la situación de la Geología, en comparación con las otras ciencias de la naturaleza, era tremendamente compleja. Desde el punto de vista epistemológico, en los cincuenta años anteriores se habían producido algunas revoluciones científicas con la implantación de nuevos paradigmas. Estos cambios afectaron esencialmente a la Biología con el desarrollo de la teoría de la evolución, y a la Física con las teorías de la relatividad y mecánica cuántica, mientras que la Química, mucho más precoz, había adquirido un *corpus* unificador mediante la teoría del oxígeno a lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII.

Sin embargo, esto no había ocurrido con la Geología por motivos muy diversos. Entre otros, y fundamentalmente como herencia cultural ineludible, se encuentra el hecho de que durante siglos se había mantenido la dependencia bíblica en cuanto a la interpretación del medio natural⁴, hecho este que se inició a finales del siglo XVII con las obras de Thomas Burnet (1681), John Ray (1692, 1693), John Woodward (1695) y William Whiston (1696), en respuesta a la publicación de los *Principia Philosophiae* de Descartes (1644), cuyos postulados histórico-científicos, aunque hipotéticos, tuvieron una gran influencia (Sloan, 1990). En un mundo que se suponía había sido creado por un Dios sabio y benevolente, como destino final y habitáculo para la especie humana, todo lo que se podía, y se *debía*, saber sobre el *origen* del globo y, evidentemente, también sobre su *fin*, se encontraba en las Escrituras; si, por otro lado, existía alguna duda en relación con la edad de la Tierra, lo más *coherente* era recurrir a la cronología mosaica, cuya concreción histórica había quedado establecida en los trabajos de James Ussher⁵ a mediados del siglo XVII (Barr, 1985, 1999; Ussher, 1650, 1654, 1658). La complejidad intelectual que emana de esto queda de manifiesto por un dato revelador: en apenas dos siglos, desde 1644, en que aparece los *Principia* cartesianos, hasta 1830, año de publicación del primer volumen de

wick/1922) cuando se generalizó el uso de la expresión deriva continental, interpretada por lo común con la acepción de flotación o arrastre de los continentes, y que se ha mantenido aquí a pesar de que Wegener nunca la utilizó.

⁴ Sobre la influencia de la Biblia en el conocimiento geológico hay algunos estudios interesantes, como por ejemplo Gillispie (1951), Glacken (1967), Capel (1985), Ayala-Carcedo (2004).

⁵ En este tipo de cálculos numerológicos nos encontramos también a personajes tan dispares como el obispo anglicano John Lightfoot, o los científicos Johannes Kepler e Isaac Newton; véase García Cruz (1999c).

los *Principles of Geology* de Charles Lyell, se habían escrito ¡más de doscientos! modelos de interpretación del planeta o *teorías de la tierra* (Magruder, 1999, 2000). Algunos de estos modelos propugnaban la reconciliación entre realidad y fe, mientras que otros, independientes de esta última, se situaban dentro de esa corriente herética, muy *peligrosa* en palabras de Voltaire⁶, que pretendía desvelar los misterios del planeta sin apelar a la *hipótesis divina*; incluso en algunos casos existían presupuestos totalmente eclécticos. Pero en todos sin excepción había siempre una pretensión común: dar respuesta al mismo tipo de preguntas en relación, principalmente, con la edad de la tierra, el origen de las montañas, el *tempo* y *mode* de los cambios que había sufrido el planeta, la dependencia y el orden natural de dichos cambios, su contingencia y posibilidad de reconstrucción, o el resultado final de estas transformaciones.

Como consecuencia de semejante *promiscuidad*, o quizás *a pesar de ella*, la Geología inició una profunda renovación especialmente desde finales del siglo XVIII. La ciencia ilustrada había *dado a luz* toda una serie de obras que sentarían las bases para la independencia prácticamente total de lo que constituía el *registro geológico* frente al *registro divino*. Al mismo tiempo había heredado del inductivismo baconiano un mayor énfasis en la observación y en la experimentación, frente a las respuestas que emanaban directamente del viejo *instrumento* aristotélico, es decir, del *sentido común* y de la *intuición*. El abuso de esta metodología, por otro lado, representó también una ruptura frente al método hipotético–deductivo, y se convertiría, además y en el transcurso de los dos siglos siguientes, en un nuevo obstáculo epistemológico para muchos aspectos de las ciencias de la tierra (García Cruz, 1998a), con un fiel reflejo entre las causas que motivaron el rechazo del moviismo geológico.

En un camino previamente abonado en otros derroteros sociales, estos cambios comenzaron de manera oficial con la publicación por James Hutton de las diferentes versiones de su *Theory of the Earth*⁷ (1785, 1788, 1795), divulgada con gran eficacia por su amigo John Playfair (1802). Algunas décadas después aparecerían los *Principles of Geology* (1830–1833), de Char-

⁶ Para el pensamiento geológico de Voltaire, véanse, por ejemplo, el clásico Fallot (1911), y Schneer (1981–82), Carozzi (1982), o la excelente monografía de Carozzi (1983).

⁷ De esta obra de Hutton (versiones de 1785 y 1788) hay traducción castellana en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(2), 153–205 (2004).

les Lyell. Desde el punto de vista de la filosofía geológica, estas obras contenían los fundamentos epistemológicos esenciales, por un lado, para la concreción dentro de la Geología del *principio actualista-uniformitarista*, opuesto al catastrofismo imperante en la gran mayoría de los pensadores de la época, y por otro, y como corolario, para la asunción del *tiempo profundo*, independiente totalmente de la cronología mosaica. La Geología se incorporaba, de esta forma, a pesar de que la visión tanto de Hutton como de Lyell era *ahistórica* (Gould, 1987), al debate de la interpretación *histórica* de un mundo en el que existía un *pasado* que se reconocía anterior a la presencia humana⁸, y mediante la utilización de una metodología *nueva* que desembocaría en su modernización como ciencia⁹.

Asimismo, una serie de observaciones, experiencias y aspectos teóricos le fueron proporcionando a la Geología un nuevo *corpus* doctrinal que se traduciría a lo largo de todo el siglo XIX en un importante desarrollo de la teoría geotectónica¹⁰ (Gerbova y Tikhomirov, 1982; Gortani, 1928; Greene, 1978; Nölke, 1924). Entre todos ellos sobresalen, por su trascendencia para la deriva continental, el descubrimiento de las anomalías gravimétricas que dieron lugar al establecimiento de la *teoría de la isostasia*, la idea de un enfriamiento progresivo del planeta que condujo a la *teoría de la contracción*, la aceptación de la *era glacial* que supuso uno de los embates más sólidos en contra del diluvialismo; la relación entre procesos geodinámicos externos y procesos tectónicos establecida a través de la *teoría del geosinclinal*, las conexiones biogeográficas intercontinentales mediante la *hipótesis de los puentes terrestres*, el nuevo marco teórico de la *hipótesis planetesimal* como explicación del origen del sistema solar. Todas estas ideas constituirían parte de la filosofía geológica de la época, por otro lado *bien establecida* al quedar en su mayoría incorporadas a *Das Antlitz der Erde*, obra cumbre de Eduard Suess¹¹ en varios volúmenes aparecidos entre 1885 y

⁸ Un excelente análisis de este interesante aspecto de la historia de la ciencia puede verse en Rupke (1983).

⁹ Sobre el nacimiento de la geología como ciencia, véanse Adams (1938). Sobre la evolución de las ideas geológicas en la primera mitad del siglo XX, véase Raguin (1983).

¹⁰ Durante todo el siglo XX, y ya entrado el XXI, hay que hablar realmente de diferentes teorías geotectónicas que compiten entre sí en la explicación del funcionamiento del planeta; véanse, por ejemplo, Bemmelen (1972), Gutenberg (1940), Rast (1966), Strutinski *et al.* (2003).

¹¹ De todas las teorías mencionadas, Suess se oponía a la del equilibrio isostático que en

1909.

Al amparo también de esta filosofía geológica *oficial* nos encontramos con una conclusión importante que se conocería como *teoría de la permanencia* o *permanentismo*, según la cual la configuración definitiva de los grandes caracteres terrestres, a saber, *la distribución de mares y de continentes*, había quedado establecida prácticamente desde las últimas etapas del Proterozoico.

Simultáneamente, el descubrimiento de la radiactividad a finales del siglo XIX y su aplicación a los materiales terrestres trajo una serie de consecuencias esenciales e ineludibles para la geología. Se dio paso a los estudios que acabarían por establecer una estimación bastante fiable de la edad de la tierra, y se pudo así empezar a reconstruir la cronología absoluta de los acontecimientos geológicos. Además, esta nueva fuente de calor desembocó a su vez en nuevas hipótesis sobre el funcionamiento del planeta, como la de los *ciclos termales* o la concreción de las *corrientes subcorticales*.

En un marco científico como este, surge durante las primeras décadas del siglo XX la teoría de los desplazamientos continentales, sin duda alguna, una de las ideas que mayor controversia ha provocado en la comunidad científica por su enorme incidencia sobre una gran diversidad de disciplinas. No solo la geología se vio afectada, sino que influyó en el conjunto de todas las Ciencias de la Tierra, e hizo tambalearse también los cimientos de la biogeografía, o de la incipiente paleoclimatología, con repercusiones más que evidentes para la biología en general, así como para la paleontología y los procesos evolutivos en particular. También fue crucial su influencia, como se verá más adelante, en el campo de la economía que, por otro lado, había contribuido de forma decisiva precisamente en el desarrollo de la ciencia geológica especialmente en América (Lucier, 1999).

cierta medida contradecía la teoría de la contracción (Suess, 1880); a pesar de esto, la isostasia tuvo una aceptación prácticamente general poco antes del fallecimiento del geólogo austríaco en 1914 (véanse Greene, 1982, p. 269–270; Şengör, 1982b). En Norteamérica, por otro lado, a pesar de que los geólogos ya habían sentado las bases de su propio conocimiento geológico (Hazen, 1974), tampoco se le había prestado la debida atención a la isostasia a principios del siglo XX (Orme, 2004).

*Orígenes de la teoría de los desplazamientos continentales*¹²

La deriva continental, como construcción científica teórica, tiene su origen en las ideas del meteorólogo y geofísico¹³ alemán Alfred Lothar Wegener (1880–1930). Nacido en Berlín el 1 de noviembre de 1880¹⁴, estudió Matemáticas y Ciencias Naturales en su ciudad natal, y más tarde en Heidelberg e Innsbruck. Se especializó en Astronomía¹⁵, y en 1904 presentó su tesis doctoral sobre el uso de las *Tablas Alfonsinas* como calculadora (Wegener, 1905). Posteriormente se dedicaría a la meteorología y a la climatología. Junto con su hermano Kurt trabajó en el Aeronautischen Observatorium (Observatorio Aeronáutico) de Lindenberg, cerca de Berlín. Allí desarrolló técnicas pioneras en el uso de globos y cometas para el estudio de las capas superiores de la atmósfera, y llegó incluso a establecer un récord mundial de permanencia ininterrumpida en globo. En 1909 entró como profesor no numerario en la Universidad de Marburgo, donde impartió clases de Meteorología y Astronomía. Su gran experiencia en estos campos le llevó a participar en las expediciones danesas a Groenlandia bajo la dirección de Ludwig Mylius Erichsen (1906–1908), y de Johan Peter Koch (1912–1913), que fueron determinantes para su futuro profesional.

¹² Sobre la vida y obra de Wegener, así como una amplia bibliografía al respecto, véase García Cruz (2012).

¹³ La Meteorología es una rama que podemos situar actualmente dentro de la Geofísica, aunque en la época de Wegener había ciertos reparos para ello. Si tenemos en cuenta, además, que siempre ha habido una cierta tensión entre geólogos y geofísicos, podemos entender por qué, entre sus críticos, los primeros hablaban de Wegener como geofísico, y estos últimos a su vez como meteorólogo.

¹⁴ La mayoría de las obras sobre la deriva continental tratan también, aunque someramente, los aspectos biográficos y científicos de Wegener. Los estudios más completos en este sentido son García Cruz (2012), Georgi (1960), Greene (2006, 2015), Kertz (2002), Kessler (1981), Körber (1980a), Reinke–Kunze (1994), Rohrback (1993), Rud (1997), Schwarzbach (1980) y Wutzke (1988a,b, 1997, 1998a,b); véanse, además, Benndorf (1931), Budel (1978), Bullen (1970), Dudman (2004), Georgi (1962), Hörz (1982), Jacobshagen (1980), Kautzleben (1980), Körber (1981a), Krause y Theide (2005a, 2005b), Milanovskii (2000), Murdin (2001), Schmauss (1951), Schwarzbach (1981a), Testard Vaillant (2002), Vöppel (1980), Wolcken (1955). Dudman (2003) ha escrito una excelente biografía novelada; además, sus diarios, cartas y memorias se encuentran en Wegener (1960).

¹⁵ Sobre las contribuciones astronómicas de Wegener, véase el ensayo de Ulrich Wutzke en Hamel (1988).

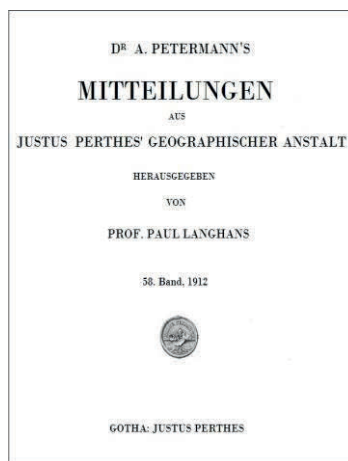


Fig. 1. Alfred L. Wegener (1880–1930), y portada de la revista *PGM* (vol. 58, 1912) donde aparecieron sus primeros trabajos sobre el movimiento continental.

Movilizado durante la Primera Guerra Mundial, sirvió como teniente de granaderos. Dos heridas sufridas en Bélgica en 1914 le alejaron del frente, y fue destinado al servicio meteorológico del ejército en Bulgaria y Estonia. Acabada la contienda reanudó su actividad científica en la Universidad de Marburgo hasta 1919. Posteriormente realizó también labores como meteorólogo en el Deutsche Seewarte (Observatorio Marítimo Alemán) de Hamburgo hasta 1925, año en que obtuvo una plaza de profesor en la Universidad de Graz (Austria).

Entre sus trabajos como meteorólogo¹⁶ destaca un tratado sobre termodinámica de la atmósfera (Wegener, 1911g), obra fundamental y pionera en su especialidad. También se interesó por el origen de los cráteres lunares, y realizó algunos experimentos a finales del año 1918 para probar su relación con los impactos meteoríticos (Wegener, 1920a,b, 1921c, 1927c). Junto con su suegro, el célebre climatólogo ruso-germano Wladimir Köppen, escribió

¹⁶ Wegener publicó numerosos trabajos sobre Meteorología (Wegener, 1906a,b, 1910a,b,c,d,e, 1911a,b,c,d,e,f, 1912a,b,c,d,i,j, 1914a,b,c,d,e, 1915a,b,c, 1917a,b,c, 1918a,b,c, 1925a,b, 1926a,c, 1928a,b, e,f, 1929b, 1935b; Brand y Wegener, 1912; Wegener y Kuhlbrodt, 1922); véanse, además, Bernhardt (1981), Körber (1980b, 1981b), Lüdecke (1996), Lüdecke *et al.* (2000), Schroder (2000), Schroder (1981), Seibold y Seibold (1992).

un libro sobre los climas del pasado geológico (Köppen y Wegener, 1924)¹⁷.

Su gran reputación le llevó nuevamente a Groenlandia¹⁸ como jefe de la expedición germana de 1929, a propuesta de Wilhelm Meinardus, de la Universidad de Gotinga, y bajo los auspicios de la Notgemeinschaft der Deutsche Wissenschaft, un consorcio de instituciones científicas alemanas. El objetivo básico era medir el espesor de la capa de hielo (Wegener, 1933–1940). Durante la expedición de 1930 que también dirigía, y mientras retornaba en el mes de noviembre al campamento base, precisamente el día de su quincuagésimo cumpleaños, desapareció junto con su compañero el groenlandés Rasmus Villumsen. Su cuerpo fue encontrado el 12 de mayo de 1931¹⁹. A voluntad de su esposa Else²⁰ permanece enterrado en los hielos de

¹⁷ Esta obra fue crucial para la concreción de las ideas de otro eminente climatólogo, el serbio Milutin Milankovic (1879–1958), que abogaba por la influencia de las variaciones en la órbita de la Tierra sobre las glaciaciones. Los climas del pasado en relación con la deriva continental también fueron estudiados durante más de veinte años por el paleontólogo chino Ma Ting-Ying, entre 1943 y 1966; véase además Yang y Oldroyd (2003).

¹⁸ Sobre las expediciones de Wegener a Groenlandia, véanse Brockamp (1959), Flügel (1980), Georgi (1933), Herdemerten (1951), Koch (1912, 1919), Koch y Wegener (1911, 1912, 1928, 1930), Wegener (1906c, 1911f, 1929c, 1930, 1935a, 1961), Wegener (1932), Wegener (1933, 1933–40), Wegener y Schmidt–Ott (1933), Westphal (1952); Wutzke (2000); véanse además Lawrence (2002, caps. 1–5), Loewe (1972), Lüdecke (1994, 2000a, 2000b), McCoy (2006), Olsen (1993), Olsen y Secher (1994), Robin (1981).

¹⁹ Tras la confirmación de la muerte de Wegener en 1931, se publicaron algunas notas y obituarios en diversas revistas científicas, sobre todo alemanas (Bendorf, 1931; Dominik, 1931; Hobbs, 1931; Kopff, 1931; Köppen, 1931; Kuhlbrodt, 1932; Spiess, 1931). También aparecieron breves comentarios, algunos tan concisos como un par de líneas, en *Geologische Rundschau* dentro de la sección de “personas fallecidas”, y en *Meteorologische Zeitschrift*. En el obituario de la revista *Nature* (D.B., 1931) se hacía un gran reconocimiento de Wegener como meteorólogo, y un breve comentario sobre su hipótesis movilista; también apareció otro obituario en el *Scottish Geographical Journal* [47(4), 231–232 (1931)], y dentro de las necrologías de las expediciones danesas (Trolle y Legat, 1936, IX); véanse, además, Ehmke y Wutzke (1998), Wutzke (1998b).

²⁰ Else [Köppen] Wegener falleció el 27 de agosto de 1992 en Sindelfingen (Alemania) a la edad de 100 años. Sus cenizas reposan junto con las de otros miembros de la familia Wegener en Zechlinerhütte (Brandeburgo). Siempre estuvo interesada, incluso antes de casarse, en el trabajo del científico alemán, tanto en lo que respecta a las expediciones polares como a sus ideas sobre la deriva continental, y contribuyó a su difusión y conocimiento (Wegener, 1932, 1960, 1961). En su 100º aniversario (1 de febrero de 1992) fue nombrada Miembro Honorario de la *Deutsche Gesellschaft für Polarforschung* (Asociación Alemana para la Investigación Polar) (Strauch, 1992, Voss, 1992).

Groenlandia.



Fig. 2. Portadas de *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*:1ª ed./1915; (b) 4ª ed./1929.

A principios de 1912, Wegener había impartido una conferencia ante la Geologischen Vereinigung (Sociedad Geológica) de Fráncfort del Meno (6 de enero) titulada «Neue Ideen über die Herausbildung der Grossformen der Erdrinde (Kontinente und Ozeane) auf geophysikalischer Grundlage» [Nuevas ideas sobre el desarrollo de las principales estructuras de la corteza terrestre (continentes y océanos) con fundamentos geofísicos], y unos días más tarde (10 de enero) otra de idéntico contenido bajo el título «Horizontalverschiebungen der Kontinente» [Desplazamientos horizontales de los continentes], en la Gesellschaft zur Förderung der gesamten Naturwissenschaften (Sociedad para el Fomento de las Ciencias Naturales) en Marburgo. Ese mismo año, ya en la universidad de esta ciudad, escribió varios artículos con el título «Die Entstehung der Kontinente» [El origen de los continentes], donde exponía las ideas básicas de su hipótesis y que se publicarían poco después (Wegener, 1912e,f,g,h)²¹.

²¹ Una traducción castellana completa del presente autor de los primeros trabajos de



Fig. 3. Portadas de la versión castellana de *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*: (a) 1ª trad. 1924 (de la 3ª ed. alemana/1922); (b) 2ª trad. 1983 (de la 4ª ed. alemana/1929).

En ellos planteaba la unión de todos los continentes en una masa única (que denominaría *Pangea* a partir de 1920)²², su fracturación posterior en el Jurásico, y el desplazamiento de los bloques en dos direcciones definidas, una hacia el ecuador y otra hacia el oeste. En 1915 publicó su hipótesis por primera vez en forma de libro, *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* [El origen de los continentes y océanos] (Wegener, 1915d). La segunda edi-

Wegener (1912e,f,g) sobre el movilismo continental se puede consultar en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20(1), 27–63 (2012); por otro lado, Fritscher (2002) y Jacoby (2001a) reproducen en versión inglesa estos mismos trabajos, y Dullo (2003), la traducción inglesa de Wegener (1912h).

²² Hasta 1920 Wegener no utilizaría el término *Pangea* (*Pangäa*, en el original alemán, literalmente, *toda la tierra*; del griego, πᾶν, todo, Γαῖα, tierra), en referencia al hipotético continente único cuya fragmentación habría dado lugar a los continentes actuales; véase: Wegener (1920c, p. 120). Sin embargo, no está claro que dicho término fuera acuñado por Wegener; en cualquier caso, la categoría de *Pangea* como nombre propio se debe realmente a John William Evans (1857–1930), presidente de la Geological Society de Londres (1924–1926), quien lo consideró como tal en su introducción a la primera edición inglesa de la mencionada obra; véase: Evans, (1924, p. x).

ción apareció en 1920, y una tercera en 1922 (Wegener, 1920c, 1922b), a partir de la cual se realizaron diversas traducciones a varios idiomas, entre ellos al español²³ en 1924. La cuarta edición alemana fue la última²⁴ en vida del autor (Wegener, 1929a)²⁵. Publicó, además, otros trabajos sobre diferentes aspectos de los desplazamientos continentales (Wegener, 1921a,b, 1922a, 1924, 1926b, 1927a,b, 1928c,d; Koch y Wegener, 1919).

Antecedentes de la deriva continental

No fue Wegener el primero en plantear la existencia tanto de una sola masa continental, como de los acoples de los continentes actuales y su separación y formación del océano Atlántico. Algunos autores se habían anticipado con ideas muy similares, pero también de una gran simpleza.

Al analizar los antecedentes históricos de la deriva continental no se pretende menoscabar en absoluto las aportaciones del científico alemán, sino, de acuerdo con Gould (1982, p. 12), utilizar la historia para comprender la riqueza del pensamiento humano y la pluralidad de los modos de conocimiento. Pero no perderemos de vista con esto que la llamada *teoría de los precursores* ha recibido una dura crítica desde hace varias décadas, principalmente a partir de las reflexiones totalmente justificadas de Alexandre Koyré (1892–1964). La influencia de la noción de *precursor* en el campo de la historia ha sido calificada de *nefasta* por este filósofo e historiador de la ciencia franco-ruso, porque interpretar a un autor en función de sus supuestos antecedentes condiciona e impide la comprensión de dicho autor (Koyré, 1934, p. 4, nota 1). Las ideas, con un desarrollo independiente, nacerían en una mente y alcanzarían la madurez y fructificarían en otra. De esta forma es posible rastrear la historia de los problemas que han preocupado al ser humano a lo largo del tiempo, y comprender las soluciones que se han ido

²³ Versión castellana de Vicente Inglada Ors publicada en la Biblioteca Revista de Occidente, Madrid.

²⁴ En 1936 y 1941 aparecieron, respectivamente, la 5ª y 6ª eds. alemanas póstumas, revisadas por su hermano Kurt. Además, en Wegener (1980, 2005) se reproduce en facsímil tanto la 1ª (1915d) como la 4ª (1929a) edición alemana.

²⁵ Esta referencia se corresponde con la traducción castellana de F. Anguita y J.C. Herguera, publicada por Pirámide (Madrid, 1983), y de la que hay otras ediciones en Planeta-Agostini (Barcelona, 1994), Círculo de Lectores (Barcelona, 1996), y Crítica (Barcelona, 2009).

proponiendo. En esa historia, la importancia de una doctrina no residiría en sus propios orígenes sino más bien en su productividad (Koyré, 1965, p. 9–10) atendiendo a lo fecundo que sean sus presupuestos.

Teniendo siempre presente el enfoque crítico de Koyré, introduciremos algunos aspectos históricos en el desarrollo de la ciencia geológica que permitirán abrir una perspectiva interesante sobre los supuestos orígenes de la teoría de los desplazamientos continentales. Con esto no se pretende, en absoluto, desacreditar o empujear la aportación de Wegener, sino realzar su dimensión histórica en tanto que marcó unas directrices nuevas en la forma de contemplar el planeta, con unas consecuencias innovadoras que, con el tiempo, se integrarían en el desarrollo posterior de la Tectónica de Placas.

Numerosos autores²⁶ y durante mucho tiempo han venido considerando como el *primer* precursor de la deriva continental a Francis Bacon (1561–1626). Este, *supuestamente*, había propuesto en 1620 el acople entre Sudamérica y África en su *Novum Organum*. Sin embargo, una lectura atenta de la obra de Bacon (1620, p. 185) revela que *jamás* planteó una similitud de costas en el sentido que analizarían otros autores. Su comparación se ceñía a las costas *occidentales* de América (Perú) y África como ejemplo de lo que él denominaba *hechos análogos (instantiae conformes)*²⁷.

Por otro lado, Leonov (1973), en una referencia curiosa, señala al matemático y astrónomo musulmán de origen persa Abu Rayhan al-Biruni (973–1050?) en relación con los “desplazamientos horizontales” de algunas masas terrestres. Efectivamente, en su tratado geográfico *Tahdid al-Amakin* (c. 1030), tras la determinación de las coordenadas geográficas de diversas localidades y en comparación con otros cálculos, había llegado a la conclu-

²⁶ La lista sería inmensa; sirvan, como ejemplo, entre muchos otros: Asimov (1960, p. 226), Booth y Fitch (1979, p. 55), Bott (1982, p. 77), Dercourt (1973, p. 61), Emiliani (1995), Gribbin (1977, p. 39), Holmes (1965, p. 482), Holmes y Holmes (1978, p. 697), Hurley (1968, p. 53), Khan (1976, p. 176), Kohler (1991, p. 58), Matthews (1973, p. 12), Roubault y Coppens (1972, p. 7), Tarling y Tarling (1971, p. 1), Uyeda (1978, p. 16), Vázquez Abeledo (1998, p. 106), Weyman (1984, p. 5), y más recientemente, Hough (2002, p. 3 y 23), Marques de Almeida (2002, p. 75), o Álvarez Muñoz (2004, nota 87, p. 179), quien reproduce incluso el párrafo completo del *Novum Organum* baconiano donde se ve claramente que su idea nada tiene que ver con los acoples continentales.

²⁷ Estas analogías baconianas serían recordadas más de dos siglos después por Humboldt (1845, I, p. 308) al comparar la forma piramidal de las extremidades meridionales de todos los continentes, dentro de las semejanzas físicas en la configuración del mundo (*similitudines physicae in configuratione mundi*).

sión de que estas habían cambiado de posición. Sin embargo, el problema planteado fue consecuencia de un error en la aplicación de un teorema tolemaico en los cálculos efectuados con anterioridad (Kennedy, 1970, 1973), por lo que no es posible enmarcarlo en el movilismo geológico.



Fig. 4. Precursores erróneos de la deriva continental: (a) Francis Bacon; (b) Giordano Bruno; (c) Abu Rayhan al-Biruni.

También Anguita (1983, p. 195) sitúa a Giordano Bruno (1548–1600) “entre los precedentes no científicos del movilismo” por su defensa de los cambios de posición de tierras y mares. Estas ideas del fraile dominico forman parte del carácter divulgador de su obra, y en concreto en *La cena de las cenizas*, en relación, en este caso, con el pensamiento cíclico de Aristóteles sobre la *renovación periódica*, entre otras cosas, de mares y continentes, dentro de su visión de la *alternancia vicisitudinaria* de toda la naturaleza (Bruno, 1584, p. 192–193, 216 y 225), más propia de los ciclos de la materia que de la geología movilista.

Los precursores²⁸ de la teoría de los desplazamientos se remontan real-

²⁸ Prácticamente en todos los trabajos sobre la deriva continental se citan algunos de los precursores, aunque los principales estudios los encontramos en Beck y Berkland (1979), Berkland (1979), Bourcart (1924), Brouwer (1983), Calder (1972), Carey (1988), Carozzi (1969, 1970, 1983, 1985), Cock (1981, cap. 10), Davies (1965), Du Toit (1937, p. 11–36), Emiliani (1995), Falck (1992), Fossa–Mancini (1924), Goodacre (1991), Gortani (1928), Hallam (1973a, 1983, cap. 5), Hommeril (1978), Klein (1972, cap. 1), Kölbl–Ebert (2010), Le Grand (1988, p. 28–30), Llorente *et al.* (1996, cap. 1), Meyerhoff (1968), Milanovsky (1990), Pelayo (1995), Praturlon (2000), Robb (1930), Romm (1994), Rupke (1970, 1996), Segàla (1990b), Tasch (1954), Udintsev (1995), Wood (1985, caps. 2 y 3). El propio

mente a las primeras cartografías mundiales tras el descubrimiento de América. La gran mayoría de los antecedentes de la deriva continental se sitúan dentro de la corriente catastrofista, donde el diluvio universal constituye uno de los principales agentes modeladores del relieve, cuando no en disertaciones de corte moralista dentro de diversas exégesis bíblicas, bastante lejos en realidad de cualquier planteamiento científico. Estos antecedentes abarcan tres aspectos distintos, que solo en los auténticos precursores de la deriva son considerados conjuntamente: por un lado, la similitud y unión de los continentes; por otro, la existencia de un solo supercontinente, y finalmente, la fracturación y separación de esta única masa continental.

La primera referencia sobre la semejanza y el acople de Sudamérica y África se ha encontrado en una discusión sobre la Atlántida de Platón realizada por el geógrafo y cartógrafo flamenco Abraham Ortelius (1527–1598) en su obra *Synonymia Geographica*, conocida posteriormente como *Thesaurus Geographicus*, donde interpreta al pensador griego sobre la separación de los continentes en el pasado en los siguientes términos: “...la isla de Atlántida o América no fue sumergida sino separada de Europa y África por un terremoto y una inundación... Los vestigios de la ruptura aparecerán ante los ojos si alguien (usando un mapamundi) considera las costas de estas tres partes mencionadas de la Tierra, que están enfrente una de la otra: los promontorios de Europa y África, y las concavidades de América...” (Ortelius, 1596, GADIRICUS)²⁹.

Estas ideas, sin duda, influirían en la valoración de la Atlántida en aquellas discusiones que se originaron en siglos posteriores sobre el problema teológico que suponía el poblamiento aborigen de las Américas y que sería analizado, entre otros, por el fraile español Gregorio García (1554–1627), de

Wegener (1929a, p. 14–15) reconoció unos cuantos precursores que se habían anticipado a sus ideas de la deriva, entre ellos a H. Wettstein (1880), C. von Colberg (1886), W.F. Coxworthy (1890), D. Kreichgauer (1902), y E.H.L. Schwarz (1912); véase también la nota 36. Como ha señalado Brouwer (1983), las ideas de Wegener además están relacionadas con el trabajo de W. Keilhack (1895) sobre las similitudes entre la fauna de Sudamérica y África. Por otro lado, Du Toit (1937, p. 11) cita también a C.B. Warring (1887).

²⁹ Esta observación de Ortelius no aparece en las ediciones de 1578 y 1587; resulta curioso, por otro lado, que no se encuentre, como era de esperar, en las entradas ATLANTIS INSVLA u OCEANVS ATLANTICVS, sino en la citada de GADIRICVS (en referencia a la antigua Gadir, actualmente Cádiz.).

la orden de los Predicadores, en su estudio sobre el origen de los indios del Nuevo Mundo (García, 1607, Libro IV, cap. VIII).



FIG. 5. Abraham Ortelius, y primera página de su obra *Thesaurus Geographicus* (ed. 1596).

La existencia de una masa primordial única, en la que se localizaba el Jardín del Edén, aparece en la interpretación de la Biblia (Génesis, 1, 9) realizada por el estudioso inglés Richard Rowlands (1565–1620), más conocido como Verstegen por su ascendencia holandesa, en una obra sobre la *restitución* de la inteligencia (Verstegen, 1605, p. 95). Varias décadas después, el moralista francés François Placet, en un tratado sobre la *corrupción* del mundo (1668, sec. IV, p. 65–70), propuso que antes del diluvio solo existía un bloque continental, cuyo hundimiento catastrófico dio lugar al océano Atlántico. Ya en el siglo XVIII, en la obra *Principia Rerum Naturalis* de 1734, el científico y teólogo sueco Emanuel Swedenborg (1688–1772) sostenía que, en los primeros tiempos de la Tierra, cuando el planeta empezó a orbitar en torno al sol, se formó una masa cortical única cuya desintegración posterior dio lugar a los continentes actuales (Frängsmyr, 1983, p. 111). Ideas como estas³⁰, inspiradas a su vez en Descartes y Burnet y fuertemente

³⁰ Sobre las ideas científicas de Swedenborg (1737, 1845–46), véanse, además, Jonsson (1999), Sigstedt (1952, cap. 15), Toksvig (1948), Woofenden (1992).

arraigadas en la teología, influyeron asimismo en los planteamientos del naturalista sueco Carl Linneo (1707–1778) al situar el “*primer jardín botánico del Edén*” en un supercontinente primordial que iba creciendo conforme se retiraban las aguas³¹ (Linneo, 1744, p. 441.16). También en una exégesis bíblica en relación con el cataclismo platónico, Theodor C. Lilienthal (1756, vii, p. 246–250), profesor de teología en Königsberg (actualmente Kaliningrado), sugería el acople de Sudamérica y África.



Fig. 6. (a) Emanuel Swedenborg; (b) Carl Linneo; (c) Theodor C. Lilienthal.

Por otro lado, el naturalista francés Georges Louis Leclerc, conde Buffon (1707–1788) insistió repetidas veces en sus planteamientos sobre la existencia de “un solo continente”³² en diferentes partes de su *Historia Natural* (1749, p. 139; 1769, p. 193–194; 1770, p. 280–281), así como en sus *Épocas de la Naturaleza* (1778, p. 116–118). Sin embargo, Buffon no se basaba en la similitud de litorales como otros autores, sino en la semejanza faunística entre los continentes, tanto septentrionales como meridionales; di-

³¹ Sobre el pensamiento geológico de Linneo, véanse, además, Frängsmyr (1983), Nathorst (1907).

³² Una teoría sobre el *crecimiento de los continentes por acreción*, aunque en este caso evidentemente sin una base teológica, se desarrollaría tras la Segunda Guerra Mundial, y pervive modificada dentro de la Tectónica de Placas. Su principal promotor fue el geofísico canadiense John Tuzo Wilson (1908–1993), crítico inicialmente con la deriva continental y posteriormente uno de los grandes conversos del moviismo geológico; véanse Jacobs *et al.* (1959, 1972), Wilson (1951, 1954); véase además Moore (1957, cap. 16).

cha semejanza constituía una prueba *irrefutable* de su contigüidad en el pasado, de mayor valor incluso que aquéllas que él definía como *conjeturas de la geografía especulativa*, y sostenía, además, que la separación continental se había producido por la irrupción de los mares.



Fig. 7. (a) Georges Louis Leclerc, conde de Buffon; (b) Denis Diderot; (c) Francisco Javier Clavijero; (d) José de Acosta.

Esta concepción pudo haber influido en el enciclopedista Denis Diderot (1713–1784), quien utilizó ideas similares en el *suplemento* que escribió al *viaje* de Bougainville (Diderot, 1772, p. 70–71).

Asimismo, Capel (1985, p. 79) sostiene que las ideas de Buffon también influyeron en los supuestos que sobre el poblamiento de América hizo el jesuita mexicano Francisco Javier Clavijero (1731–1787) en su *Historia antigua de México* (1780), y que llegó incluso a imaginar “*algo que en cierta*

manera reconstruye la Pangea de la geología actual". Sin embargo, la lectura de dicha obra (Clavijero, 1780, Libro X, p. 439–440) nos sugiere que sus ideas sobre *continentes intermedios hundidos por grandes terremotos* están más cerca de la hipótesis de los puentes terrestres que de los precursores de las uniones continentales que estamos analizando. En este mismo sentido hay que interpretar la cita que hace también Capel (1985, p. 69) en cuanto a las conexiones continentales propuestas por José de Acosta (1539–1600), en su *Historia natural y moral de las Indias* (Acosta, 1590, tomo I, Libro 1, p. 63), así como las ideas del ensayista benedictino y polígrafo español Benito Jerónimo Feijoo (1676–1764), en su *Teatro Crítico Universal* (Feijoo, 1733, discurso XV, p. 321–350).



Fig. 8. (a) Alexander von Humboldt; (b) Thomas Young; (c) Carl Ritter.

Durante todo el siglo XIX se siguieron haciendo planteamientos parecidos, y en muchos de ellos se recurría una vez más a una relación causal con el diluvio universal. El explorador y geógrafo alemán Alexander von Humboldt (1769–1859), en su primera aproximación geológica de Sudamérica (1801, p. 33), y más tarde en su obra cumbre, *Cosmos* (1845, I, p. 308–310), llamó la atención sobre lo que denominaba el *gran valle atlántico*, abierto por la irrupción de las aguas, y sobre la semejanza de forma de los continentes, con especial referencia a las relaciones mutuas de las costas opuestas de África y Sudamérica. Estos dos continentes, que manifestaban tantas analogías bajo otros muchos aspectos, eran los que mayor uniformidad presentaban en sus costas, y el océano Atlántico tenía todos los indicios que caracterizaban la formación de un valle. Para Humboldt, las únicas causas que llegaban a modificar *la forma de los continentes* eran el solevantamiento y la

depresión de la tierra firme o de la masa de agua, fenómenos ligados con la isostasia y con las transgresiones/regresiones marinas. Una semejanza parecida también sería señalada por Thomas Young (1773–1829) en una de sus conferencias sobre filosofía natural (Young, 1807, p. 571).



Fig. 9. Willem Bilderdijk, y su mapa de la Tierra con un único continente (1820).

El poeta holandés Willem Bilderdijk (1756–1831), en su poema *De ondergang der eerste wereld* (La decadencia del primer mundo), basándose en la Biblia y sobre datos científicos del geólogo suizo Jean–André Deluc (1727–1817), también dibujó un mapa de *ese* primer mundo constituido por un único supercontinente donde situaba el Jardín del Edén y que sería fraccionado por la acción del diluvio (Bilderdijk, 1820, p. 181).

Por otro lado, el geógrafo alemán Carl Ritter (1779–1859) advirtió en un tratado geográfico la *coherencia* en los contornos sobre un mapa trapezoidal de otras zonas del planeta en las que prácticamente nadie había reparado, como son la península arábiga y los países vecinos, tanto del este como del oeste, y explicaba los *vacíos intercontinentales* existentes en toda la superficie de la tierra mediante las correspondientes inundaciones (Ritter, 1832, p. 62). El escocés Thomas Dick (1774–1857) fue primero en plantear la posibilidad de que se diera un movimiento efectivo de separación entre Sudamérica y África en su obra *Celestial Scenery* (Dick, 1838, p. 181).



Fig. 10. (a) Thomas Dick; (b) Frederik Klee.

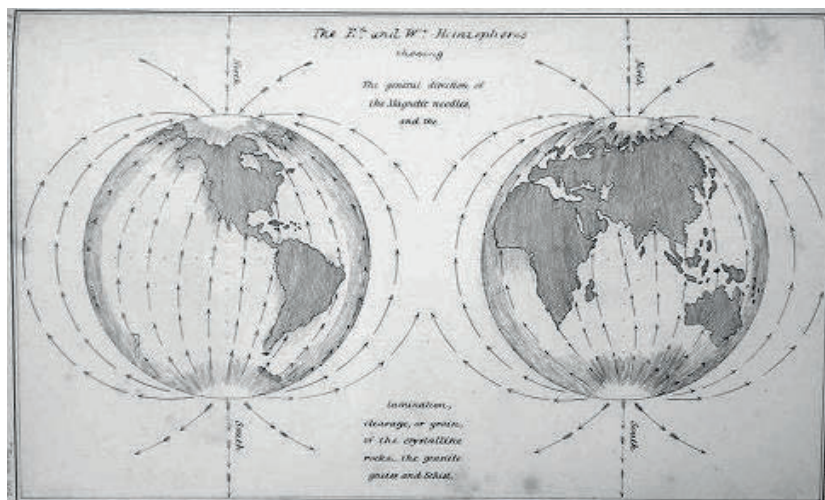


Fig. 11. Esquema de Evan Hopkins (1844) sobre la influencia del campo magnético terrestre en el desplazamiento de los continentes.

Unos años después, el danés Frederik Klee (1808–1864), en una obra sobre el diluvio, sostuvo que Europa, América septentrional y Asia formaban un solo continente antes del cataclismo bíblico (Klee, 1842, cap. x).

Por su parte, el ingeniero de minas británico Evan Hopkins (1810–1867) desarrolló toda una teoría del desplazamiento continental basándose en el magnetismo terrestre, sin considerar en absoluto las semejanzas en los lito-

rales (Hopkins, 1844, cap. XX y XXVII).

El cubano Fernando Valdés y Aguirre (1837–1871), catedrático de química³³ en La Habana, se adelantaría a otras ideas mejor conocidas como las de A. Snider–Pellegrini, en un artículo publicado, en 1856, en *Floresta Cubana*³⁴, donde llama la atención sobre una “cuestión curiosa e importante” al contemplar sobre un mapamundi la correspondencia entre las costas africanas y americanas y la posibilidad de haber estado unidas en el pasado, cuya separación achaca a un “enorme sacudimiento, acompañado de no menor hundimiento”; más tarde abordaría el mismo tema en una obra sobre la Cuba primitiva (Valdés y Aguirre, 1856, 1859, p. 23–37).

El geólogo anglo–norteamericano Richard Owen³⁵ (1810–1890), dentro de sus *claves* para la geología del globo (Owen, 1857, p. 65), relacionaba el origen de los continentes con la fragmentación de la corteza debido a fuerzas internas que expandían la Tierra, y dibujaba de la disposición de los continentes en el pasado (diagrama I, p. 254 y 257), donde África se situaba *bajo* Sudamérica y Australia *sobre* Arabia.

Uno de los más reconocidos precursores de la deriva continental es Antonio Snider–Pellegrini, viajero italoamericano residente en París; en su intento de desvelar los misterios de la creación (1858, p. 304–340), sostenía que, como consecuencia del diluvio, el enfriamiento de la corteza había sido la causa de la rotura de la única masa continental existente; esto provocó la separación entre las Américas y el Viejo Mundo, lo que incluso llegó a expresar gráficamente (láminas 9 y 10, entre las p. 314–315). Estas ideas de Snider–Pellegrini serían divulgadas por John Henry Pepper (1821–1900) en una popular obra sobre los metales³⁶ (Pepper, 1861, p. 8–11).

³³ Hidalgo (1862, p. 125) cita a este autor como “suplente de geografía é historia en la universidad de la Habana” (ortografía original).

³⁴ *Floresta Cubana*, fundado en 1855 por el poeta cubano Felipe López de Briñas (1822–1877), era, según reza en su primera página, un “periódico quincenal, de ciencias, literatura, artes, modas, teatros, &c., dedicado al bello sexo”, editado por el también poeta José Socorro de León (1831–1869).

³⁵ No se debería confundir con su homónimo Sir Richard Owen (1804–1892), eminente biólogo y paleontólogo británico, fundador científico del Natural History Museum de Londres.

³⁶ Se ha señalado que Pepper incluso utilizó en su libro la expresión “teoría de la deriva”, aunque de hecho no se refería a las masas continentales sino a los aspectos teóricos sobre la formación de vetas de carbón a partir de “maderos flotantes” (*driftwood*). Además,

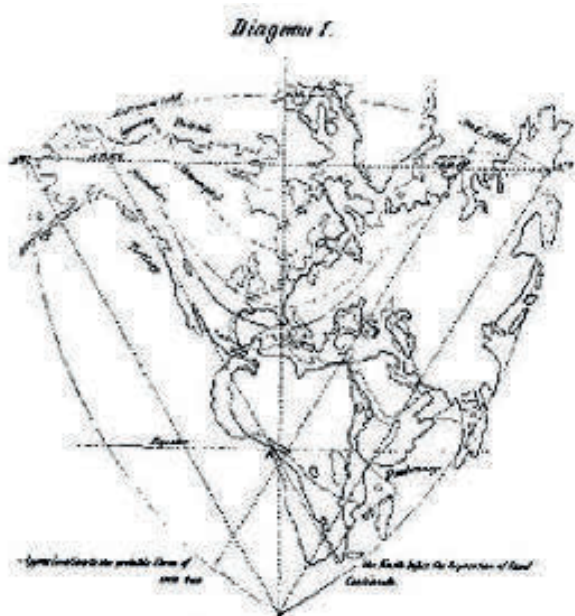


Fig. 12. Richard Owen, y su diagrama con la superposición de los continentes (1857).

Las mismas similitudes y conexiones entre Sudamérica y África fueron sugeridas por el geógrafo francés Elisée Reclus (1820–1905), más conocido por sus ideas libertarias, quien, además, afirmaba que los continentes se movían en círculo en torno al globo (Reclus, 1869, Primera Parte, cap. II, p. 50, Segunda Parte, cap. I, sec. IV). El geólogo y explorador italiano Domenico Lovisato (1842–1916) había observado asimismo el paralelismo en las costas hacia 1874, y achacaba a un cataclismo *cuaternario* la separación de las Américas para formar la Atlántida (Fossa–Mancini, 1924; Lagrange, 1925). Ideas parecidas defendería igualmente el científico aficionado ruso Yevgraf Vasil'evich Bykhanov (1828–1915), algunos años después, en 1877. George H. Darwin (1845–1912), segundo hijo del autor de *El origen de las especies*, con una visión catastrofista, y basándose en su teoría de la separación de la Luna a partir de la cuenca del Pacífico, sostenía la fragmentación de la corteza granítica y el deslizamiento lateral de las masas continentales (Darwin,

este mismo término (*drift*) era de común aplicación en la teoría del desplazamiento de los grandes bloques erráticos de origen glacial durante todo el siglo XIX.

1879). Ese mismo año, el ingeniero de minas catalán Josep Margarit i Coll (1847–1908), en un breve artículo sobre el origen de las erupciones volcánicas, había sugerido que la corteza terrestre no constituye *un todo compacto*, es decir, se compone de *masas prismáticas yuxtapuestas* entre las que existen grietas o fisuras, lo que significaba que estaba sujeta a los movimientos de la piro-esfera que le provocaba fracturas y dislocaciones (Margarit, 1879); ideas muy parecidas sería defendidas años después por el misionero alemán Damian Kreichgauer (1859–1911), en un tratado sobre el papel del ecuador en geología, llegando a considerar que la corteza no era un todo coherente, sino que estaba compuesta por un mosaico de numerosos témpanos a modo de balsas flotantes (Kreichgauer, 1902, II.1, p. 26–27, II.13, p. 42), y que las masas continentales sufrían una cierta distorsión por efecto de la rotación.

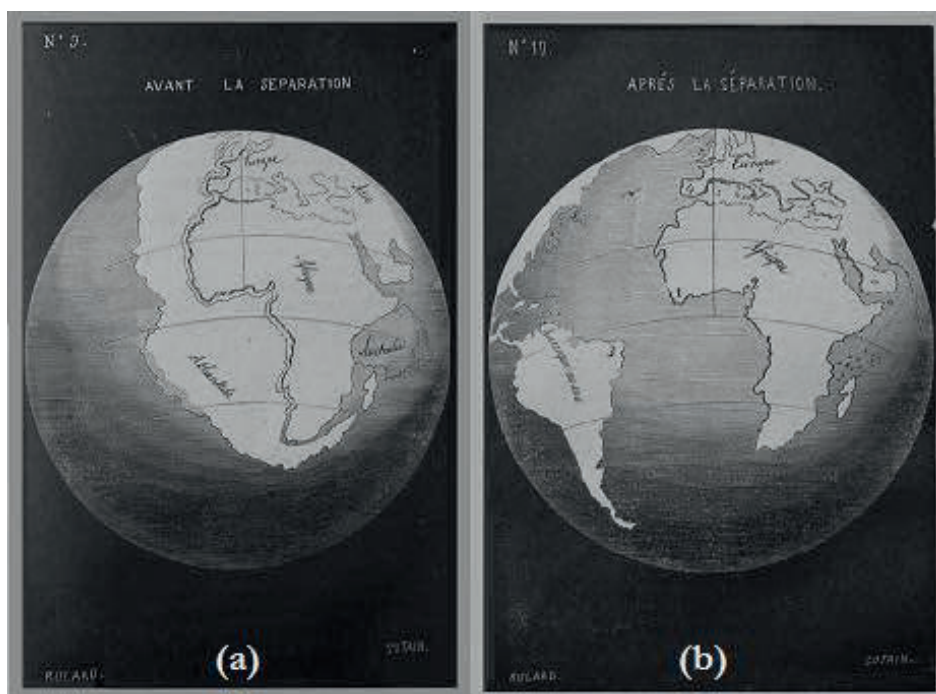


Fig. 13. Mapas de Snider–Pellegrini (1858) de la posición de los continentes: (a) antes, y (b) después, de la separación.

El suizo Heinrich Wettstein (1831–1895) llegó a suponer un deslizamiento de los bloques continentales hacia el oeste debido al efecto gravitacional del Sol (Wettstein, 1880). Una idea semejante la encontramos también en el reverendo Osmond Fisher (1814–1914) en su obra sobre la física de la corteza terrestre (Fisher, 1882, p. 243–244). Por otro lado, se ha llegado a considerar a Eduard Suess (1831–1914) y a Marcel Bertrand (1847–1907) como posibles precursores de las uniones continentales. Estos autores no plantearon las *similitudes* o *acoples*, sino más bien la existencia de grandes *supercontinentes*. Efectivamente, Suess (1885, vol. I, p. 768), al estudiar los escudos orogénicos y la distribución principalmente de la flora de *Glossopteris*, postuló que hasta el Mesozoico había existido una gran masa continental en el hemisferio sur, a la que denominó *Gondwanaland* (conociendo también, aunque erróneamente, como *Gondwana*)³⁷, que comprendía Sudamérica, África y la India, y en la que algunos seguidores del geólogo austriaco incluirían posteriormente Australia y la Antártida (Schwarzbach, 1981b; Şengör, 1983). Asimismo, otro paleocontinente se extendería en el hemisferio norte, formado por Norteamérica y Eurasia, llamado *Atlantis*³⁸. Ambos estaban separados por el mar de Tetis³⁹. La fracturación y hundi-

³⁷ En realidad, ambos términos *no* son sinónimos. En 1885, Suess denominó *Gondwanaland* (literalmente, *tierra o continente de Gondwana*) a un supercontinente que según este geólogo austriaco habría existido hace entre 500–200 Ma, y que incluía Sudamérica, África, Australia, la Antártida, Nueva Guinea, Madagascar, Nueva Zelanda, Arabia y la India (Suess, 1885, tomo I, p. 767–768; Suess, 1885/1923, tomo I, p. 604). Sin embargo, el término *Gondwana* había sido acuñado algunos años antes, en 1872, por el geólogo británico Henry Benedit Medlicott (1829–1905) en un informe sobre la cuenca de Satpura para definir un sistema o serie de rocas de la India continental perteneciente al Paleozoico Superior (Medlicott, 1872). Este término de *Gondwana* apareció publicado por primera vez en 1876 en un estudio del geólogo y paleontólogo checo Ottokar Feistmantel (1848–1891), que trabajaba para el Geological Survey británico, sobre la flora del Jurásico de la India (Feistmantel, 1876); como sistema aparece descrito por primera vez en Medlicott y Blanford, (1879, p. 44). El nombre procede del sanscrito *Gowandawana*, que significa *bosque* o *país de los Gonds*, un pueblo que habita la India meridional, y cuya etimología a su vez no parece estar del todo “clara”: *hombres de ombligo sobresaliente*, según el Oxford English Dictionary (Oxford University Press, Oxford, 2ª edición/2004), u *hombres de testículos de toro*, según Carey (1988, p. 98); para una interesante discusión sobre la utilización de ambos términos, véanse: Leuchs (1943), Schwarzbach (1981), Şengör (1983), Thenius (1981/1982), Sorkhabi (1996).

³⁸ Staub (1928, p. 121) denominó *Laurasia* al paleocontinente septentrional.

³⁹ Este término fue acuñado por Suess (1893, p. 183) en referencia a la diosa griega *Tethys* (Τηθύς), hermana y consorte de *Océano* (Ὠκεανός); sobre el uso de este término, véan-

miento de algunas partes de estas masas habrían originado los océanos y los continentes actuales. Las mismas ideas sobre un paleocontinente septentrional serían expuestas por Bertrand (1887) al comparar las similitudes existentes entre las cadenas montañosas europeas y norteamericanas, que le sugerían una cierta continuidad o prolongación.



Fig. 14. (a) Elisée Reclus; (b) Domenico Lovisato; (c) Yevgrav V. Bykhanov; (d) George H. Darwin.



Fig. 15. (a) Damian Kreichgauer; (b) Heinrich Wettstein; (c) Osmond Fisher.

Ese mismo año, el norteamericano Charles Bartlett Warring (1825–1907), en un artículo sobre la evolución de los continentes, criticaba las ideas de Humboldt sobre el origen catastrofista para el océano Atlántico; al mismo tiempo, analizaba el paralelismo entre las costas de diferentes partes del planeta, y proponía una ruptura de la corteza siálica original esencial-

se Metcalfe (1999), Tozer (1989).

mente mediante la actividad sísmica como origen de dichas similitudes (Warring, 1887, p. 265).



Fig. 16. Acople de las masas continentales según Warring (1887).

Un año después, Alexander Petrovich Karpinsky (1847–1936), considerado como el *padre de la geología rusa*, publicó un interesante trabajo sobre la regularidad de los perfiles de los continentes, así como de su distribución y estructura (Karpinsky, 1888). Para el científico ruso, esta similitud no era accidental, por lo que debían existir asimismo analogías en relación con otros caracteres dentro de los continentes. En dicho artículo comparaba también las diferentes cordilleras de la tierra en sus aspectos direccionales y orogénicos. Aunque no planteó ni la unión ni la posterior fragmentación y desplazamiento de una masa continental única, para Romanovsky (2003) el trabajo de Karpinsky abrió el camino para las generalizaciones de la teoría de Wegener.

Por otro lado, el músico y científico italiano Roberto Mantovani (1854–1933), durante su estancia como cónsul en la Isla de La Reunion a finales del siglo XIX, analizó las similitudes de los continentes meridionales, agrupados en principio en torno al polo Sur, y propuso que se habían separado igual que se abre un abanico (Mantovani, 1889, 1909, 1924). Sobre esta ba-

se, contribuyó al desarrollo de una teoría sobre la *expansión* de la tierra (Mantovani, 1924; Scalera, 1995, 1997, 2003; Scalera y Meloni, 1991, p. 151). Mantuvo, además, correspondencia con Wegener y defendió la idea de la deriva continental (Scalera, 2006).

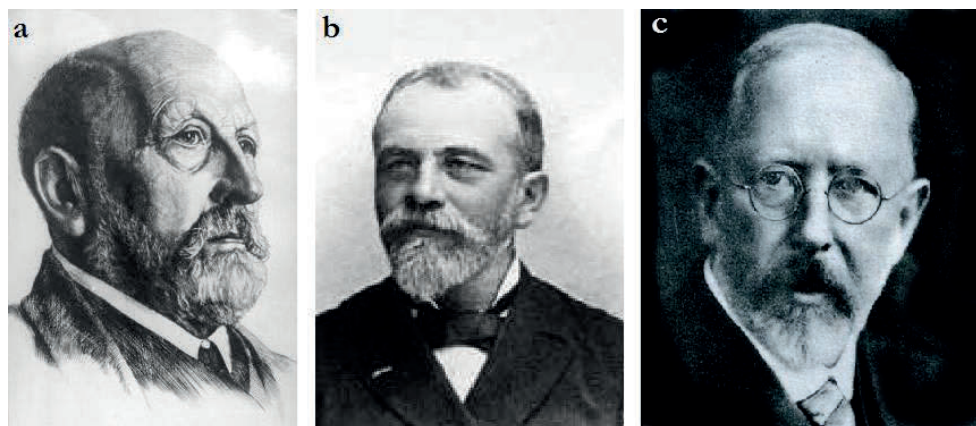


Fig. 17. (a) Eduard Suess; (b) Marcel Bertrand; (c) Ernest H.L. Schwarz.



Fig. 18. Alexander P. Karpinsky, y sus representaciones sobre la regularidad de los perfiles continentales y distribución de las orogenias (1888).

A partir del siglo XX nos encontramos con otras ideas, algunas recurrentes pero mucho más desarrolladas y mejor argumentadas, aunque siguen caracterizándose por su naturaleza catastrofista.

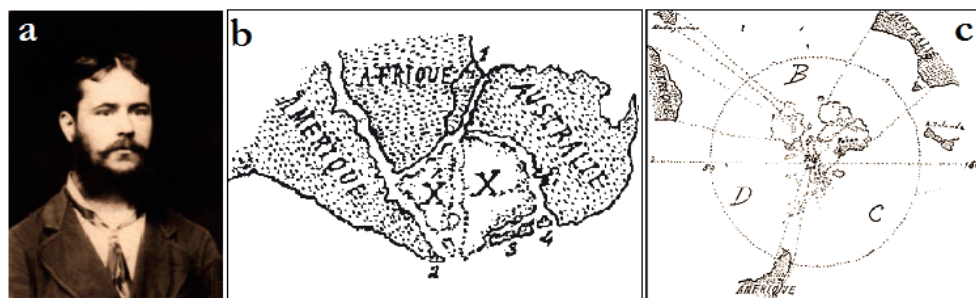


Fig. 19. (a) Roberto Mantovani; (b) acople continental; (c) modelo de desplazamiento de los continentes en forma de abanico (1909).

Federico Sacco (1864–1948), profesor de geología de la Universidad de Turín, llegó a plantear formalmente, en 1906, algunas ideas adelantadas en 1895 según las cuales los fragmentos dispersos de los continentes separados en la actualidad podían agruparse como las piezas de un rompecabezas para formar un supercontinente perfectamente homogéneo, e incluso estableció algunas correlaciones geológicas entre distintos continentes (Sacco, 1906, p. 10–11). Sin embargo, años después criticaría violentamente la teoría de Wegener (Sacco, 1929).

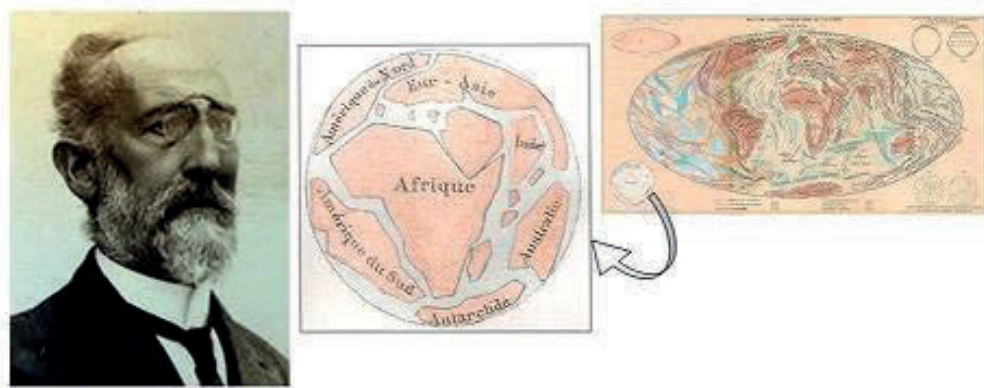


Fig. 20. Federico Sacco, y su mapa de los acoples continentales (1906).

También en esos años, el geólogo sudafricano Ernest Hubert Lewis Schwarz (1873–1928), en una obra sobre las causas en geología, había observado la concordancia entre las costas de Sudamérica y África y su acople en el pasado geológico, en contra consecuentemente del permanentismo

(Schwarz, 1910, p. 8–9; 1912), a pesar de que algunos años antes se había mostrado partidario de los puentes intercontinentales.

En el caso de los norteamericanos William H. Pickering (1858–1938) y Howard B. Baker (1872–1957), asociaban el desarrollo de las cuencas oceánicas y los desplazamientos continentales con el origen cataclísmico de la Luna (Pickering, 1907, 1924; Baker, 1911, 1912, 1913a, 1913b, 1914).

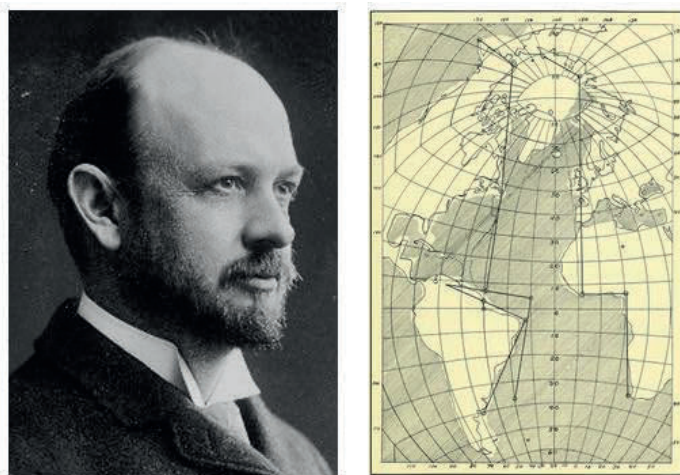


Fig. 21. William H. Pickering, y su esquema con las líneas de semejanza litoral entre Sudamérica y África (1907).

Baker, partiendo de algunas ideas desarrolladas en 1902 por el zoólogo germano–norteamericano Arnold E. Ortmann (1863–1927) sobre los invertebrados del Terciario de la Patagonia, trazó unos acoples continentales entre las Américas y África semejantes a las que postularía Wegener en los años siguientes (Baker, 1913b).

Pero, sin duda, el más notable de todos los precursores de la deriva continental fue el geólogo y geógrafo norteamericano Frank B. Taylor⁴⁰ (1860–1938). En 1898, en un breve estudio astronómico, había considerado la cap-

⁴⁰ Wegener reconoció la anticipación de las ideas de Taylor en 1912, aunque sostuvo siempre que ambos habían elaborado sus hipótesis de forma independiente (Wegener, 1912e; 1929a, p. 15). Sin embargo, se ha planteado una seria duda a favor de Taylor, quien en una carta al editor de *Popular Science Monthly* (vol. 119, N° 6) publicada el 4 de diciembre de 1931, afirma tener la confianza de que el autor alemán estaba al tanto de su trabajo, algo que Wegener jamás reconoció; véanse Totten (1980, 1981), Cohen (1985, p. 401, nota 1).

tura de la Luna por la Tierra como causa de la aparición de una fuerza mareal que aumentó la velocidad de rotación del planeta.

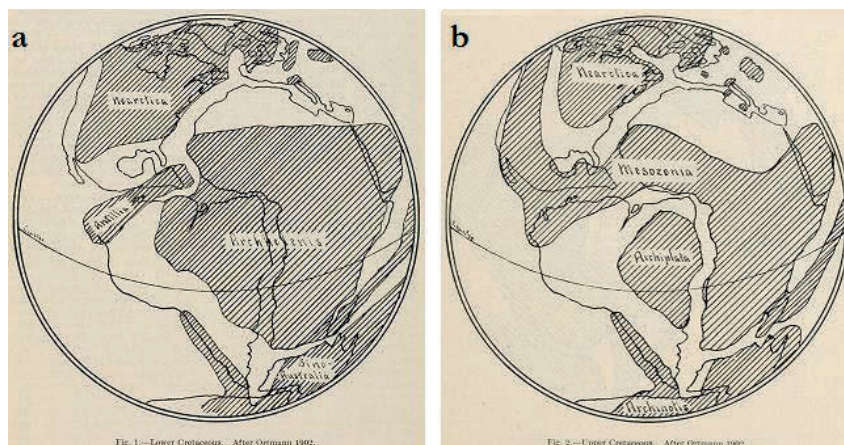


Fig. 22. Esquema de Baker (1913) de la distribución de las primitivas masas continentales durante el Cretácico inferior (a) y el Cretácico superior (b), basándose en las ideas paleontológicas de A.E. Ortmann (1902).

La conjunción de ambas fuerzas, mareal y rotacional, provocó el empuje de los continentes hacia el ecuador a partir del polo Norte. Esta era la base de su hipótesis orogénica⁴¹ según la cual las montañas se habrían formado como consecuencia de este desplazamiento de las masas continentales en dirección sur. Esta idea aparecería publicada en 1910, aunque la había anticipado dos años antes en la convención de la American Geological Society (diciembre/1908), y seguiría años después abundando en ella⁴².

⁴¹ Laudan (1985) ha analizado la hipótesis de Taylor; véanse también Aldrich (1970), Baker (1913a), Black (1979), Leverett (1939), Wood (1985), Baclawski (2007).

⁴² Véanse, por ejemplo, Taylor (1921a,b, 1923, 1925, 1926, 1928a,b, 1930, 1932); la última referencia trata fundamentalmente sobre su discrepancia con las ideas de Wegener.



Fig. 23. Frank B. Taylor. Representación del empuje de los continentes hacia el ecuador a partir del polo Norte (1910).

Por último, en 1911, el revolucionario, físico y geólogo polaco Józef Łukaszewicz (1863–1928), en el tercer volumen de su obra *Vida inorgánica de la Tierra*, refutaba la permanencia de las masas continentales, y consecuentemente defendía la distinta distribución de los continentes y océanos a lo largo de la historia de la Tierra, a partir de diferentes mapas paleogeográficos sobre la base de sus propios estudios, así como de la teoría de la contracción y de la isostasia, y de trabajos previos de Suess y Karpinsky, entre otros (Łukaszewicz, 1911). Para Łukaszewicz, los continentes se habrían desplazado horizontalmente sobre un *substratum* (manto) subcortical plástico.

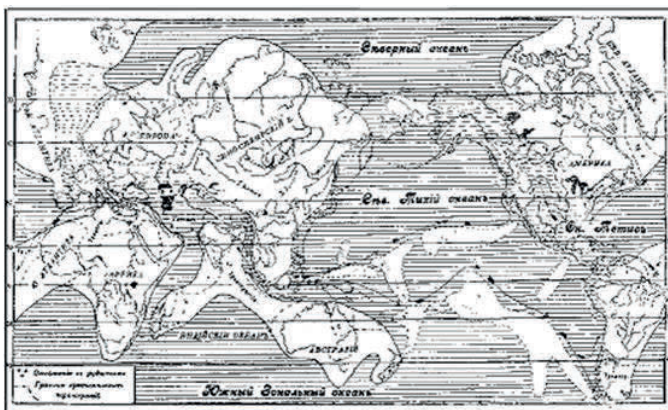


Fig. 24. Józef Łukaszewicz (1863–1928). Esquema de la distribución de los continentes durante el Cretácico (1911).

De cualquier forma, frente a un marco teórico tremendamente complejo⁴³, donde la idea que predominaba era el permanentismo, fue Alfred Wegener quien desarrolló la hipótesis movlista con mayor amplitud, con una aportación ingente de argumentos basados en datos geológicos, geofísicos, geodésicos, paleoclimáticos, y paleontológicos y biológicos, a lo largo de casi veinte años, en las sucesivas ediciones revisadas de su obra. Esto le ha dado al científico alemán un mayor reconocimiento en cuanto a la autoría, y al mismo tiempo le hizo objetivo de las críticas más severas.

La transformación de una idea científica

A principios de los años 1960, en su conocida obra sobre las revoluciones científicas, Thomas S. Kuhn (1922–1996) apuntaba una característica muy frecuente en el desarrollo de las *primeras etapas* de una ciencia. Según Kuhn (1962, p. 45), ante un mismo fenómeno, analizando los mismos hechos, datos, acontecimientos o lugares, diferentes científicos extraen conclusiones muy distintas. Es evidente que cuando realizó esta generalización, no debía estar pensando también en la Geología –por otro lado, la gran *olvidada* de los filósofos de la ciencia durante décadas–, puesto que, en esta disciplina en concreto, independientemente de su nivel de desarrollo, es bastante habitual planteamientos como el mencionado. En realidad, se trata de la conocida metodología de las *hipótesis múltiples* de trabajo, indispensable para llegar a interpretar la realidad geológica.

Dentro de los aspectos que diferencian la metodología geológica de la de otras disciplinas científicas, es posible destacar tres bastante relevantes. Por un lado, la imposibilidad de ser testigo presencial de la gran mayoría de los acontecimientos geológicos, de lo que se deriva el carácter *circunstancial* de los datos que se manejan como consecuencia del *retraso* con que se llega al escenario de los hechos; por otro lado, la dificultad o también la imposibilidad de poder experimentar con ciertos parámetros físicos, como es el caso, por ejemplo, del factor *tiempo*; finalmente, la naturaleza *incompleta* del registro geológico, tanto en lo que se refiere a fósiles como a materiales, lo que dificulta la reconstrucción. Aquí debemos subrayar que las *lagunas* existentes podrían tener a su vez un origen diverso: bien porque los documentos pueden haber sido destruidos o modificados, bien porque los organismos no llegaron a

⁴³ Véase, al respecto, García Cruz (2003).

fosilizar, o porque no existió fase de deposición en un momento y lugar determinados de la historia de la tierra.

Ante un bagaje epistemológico como este, es imprescindible, aconsejable, y hasta deseable en Geología la existencia de las mencionadas *hipótesis múltiples* de trabajo para intentar resolver un problema, con una metodología⁴⁴ muy concreta que ya fuera señalada por Chamberlin (1890).

Evidentemente, esta disparidad de opiniones, en numerosas ocasiones incompatibles entre sí, es la base de toda controversia científica. Con el tiempo, y conforme avanzan las investigaciones en diferentes sentidos, van apareciendo nuevas pruebas y argumentos. Puede ocurrir –aunque no siempre sucede– que se vayan clarificando las distintas ideas, hasta que una de ella llega a ser predominante, mientras que las demás se abandonan; sin embargo, no es extraño que otras pervivan, casi de forma *herética*, en algunos reducidos círculos que con el tiempo pueden volver a aparecer en el escenario.

Tras la aceptación de una idea, esta puede desarrollarse en el seno de la filosofía geológica y convertirse en paradigma imprescindible, fuera del cual no tienen cabida otras explicaciones que ponen en riesgo la estabilidad del propio marco de referencia. En toda controversia científica, dicha aceptación puede traducirse en la correspondiente ruptura epistemológica, y si esta es lo suficientemente profunda y viene a significar un verdadero *cambio de paradigma*, nos vamos a encontrar con la consiguiente revolución kuhniana^{45,46}. Si aplicamos lo dicho a la deriva continental, veremos que las ideas de Wegener, consecuencia de una *visión introspectiva* más que de observaciones directas según Lee y Arriazu (1990), constituían las *demarcaciones* o *cortes intraideológicos* hacia la ruptura epistemológica que representó la gran

⁴⁴ Una discusión sobre este método puede verse en Johnson (1990), Railsback *et al.* (1990) y Kennedy (2006).

⁴⁵ El término *revolución*, aplicado a los grandes cambios que se producen en el avance de una ciencia, es anterior a Kuhn (1962) (véase, por ejemplo, Cohen, 1976). Había sido utilizado también por William Whewell (1837, p. 606–609), aunque existe una diferencia básica entre ambas concepciones: mientras en este último autor suelen pervivir algunas ideas anteriores al cambio, dicha *continuidad conceptual* no ocurre (o no debería ocurrir) en el caso de las revoluciones kuhnianas, donde su produce, teóricamente, la *sustitución* total del viejo paradigma; véase también Schipper (1988).

⁴⁶ Este modelo de cambio kuhniano contrasta con el de las *ramificaciones* (Mulkay, 1975, 1976a), y del que la deriva continental sería un buen ejemplo; véase además Mulkay (1976b).

revolución que estaba pendiente aún en la geología, y que daría lugar a la Tectónica de Placas⁴⁷, que para Oldroyd (1996, p. 272) representa un paradigma *incuestionablemente* kuhniano. Donde Wegener ve transgresiones, acoples glaciales, continuidades tectónicas o semejanzas petroquímicas o biológicas a favor de su teoría, otros ven regresiones, absurdas relaciones y disparidades que contradicen el moviismo geológico. Pero, además, en este caso muy concreto, como se podrá constatar en las actas del Simposio de la AAPG, en algunas ocasiones (más de las esperadas o deseables en la ciencia), los científicos se aferran a conceptos que encajan mejor con sus ideas o formas de *explicar* una serie de hechos, aunque aquellos conceptos hayan sido desacreditados por la evidencia de otros hechos, o por otras teorías más coherentes. Tal es el caso, por ejemplo, de los puentes intercontinentales, “derrumbados” por la isostasia a partir de la cual su probabilidad de viabilidad quedó prácticamente anulada, y, no obstante, los paleontólogos, fundamentalmente, seguían obstinados en ellos. Además, en esta discusión se puso en duda alguna teoría, como la planetesimal, por ejemplo, porque iba en contra de ideas o hechos concretos, aunque no se propusiese otra alternativa o sustituta.

Esto contradice totalmente el modelo de construcción del conocimiento científico por *acumulación de hechos solamente*, modelo defendido por la metodología inductivista. Pero la ciencia no está formada solo por *hechos comprobados*: también posee un componente teórico (*ideas*), a veces, y dependiendo de la disciplina científica, tanto o más importante que los hechos establecidos, sin cuya existencia nunca se lograrían estos hechos. Y solo se llega a ser plenamente consciente de ello cuando se empieza a considerar adecuadamente la historia del pensamiento científico.

Este simplificado mecanismo del desarrollo conceptual de una ciencia nada tiene que ver, pues, ni con la acumulación de hechos comprobados ni con las inferencias inductivas, criticadas desde hace décadas por grandes pensadores como Popper (1934, p. 27–30).

Por el contrario, este proceso se enmarca más correctamente en los postu-

⁴⁷ En el encuentro anual de la American Geophysical Union (San Francisco, diciembre/1998) se presentaron interesantes trabajos sobre la historia de la Tectónica de Placas, con la perspectiva de 30 años después (A.G.U., 1998). Para los aspectos críticos sobre esto, véase Barto-Kyriakidis (1990); véanse, además, Beekhuis (1962), James (1994), Mouël (1991), Pratt (2000), Rezanov (2001), Scalera y Jacob (2003), Storetvedt (1999).

lados de Cohen (1980, p. 177–243) sobre la transformación de las ideas científicas. Este, en síntesis, afirma que “*incluso las ideas más originales tienden a ser transformaciones de otras más antiguas*”. Un planteamiento como este, y en relación precisamente con la Geología, había sido hecho con anterioridad por Gilbert (1896). El efecto máximo de esa transformación se da siempre cuando se produce la *intersección* entre la idea y la mente del genio *en el momento apropiado* (Cohen, 1980, p. 223).

Qué duda cabe de que la obra de Wegener es fruto de esa intersección afortunada, estableciendo una revolucionaria síntesis a partir de ideas anteriores, la mayoría catastrofistas (Rupke, 1970), obteniendo a partir de ellas una transformación gradualista, que llegaría a convertirse en un nuevo paradigma (Moffat, 1982). Esta transformación no menoscaba en absoluto la genialidad del científico alemán, puesto que Wegener fue, en aquel momento, si no el único, sí al menos más que Taylor, capaz de reconocer *perlas en el barro*, utilizando palabras de Cohen (1980, p. 185), debido a que su orientación teórica estaba basada firmemente en hechos y evidencias, lejos de esos planteamientos intuitivos y no racionales que señala Bowler (2000) para la mayoría de los cambios científicos. Y aunque su obra fue el punto de partida de una de las mayores revoluciones científicas que se han producido a lo largo de la historia del pensamiento humano, también es evidente que la deriva continental vio la luz en un momento *inadecuado*, lo que no la hace *singular* en el mundo de la ciencia. Y no precisamente por el carácter prematuro de la teoría y que quedó planteado por Stent (1972, 2002) para muchos descubrimientos científicos, y concretamente para las ciencias de la tierra (Glen, 2002; Oreskes, 2003), ni por la carencia de esos aspectos emocionales y psicológicos necesarios para todo cambio revolucionario a los que alude Bullard (1975), que estaban, en su mayor parte, ausentes. Lo inadecuado del momento se debió a que, cuando se trata de *cambio*, y, en esencia, el problema más crítico de las ideas *heréticas* de Wegener era precisamente esa “*visión de una tierra cambiante*” (Anguita, 1982), todos los momentos son inapropiados frente al conservadurismo científico, dogmático e intransigente. De ahí también su carácter revolucionario.

Sirva como prueba de lo antedicho la *aportación* de uno de los mayores detractores de Wegener: la última frase de la contribución de B. Willis es digna de pasar a la historia del pensamiento científico como ejemplo de lo que no se debería decir nunca en el análisis de una teoría o hipótesis. Refiriéndose a la

deriva continental, Willis (p. 146)⁴⁸ establecía falaz y categórico:

“Importa poco lo que pensemos de ella. El futuro la tratará imparcialmente de acuerdo con el principio de que la verdad sobrevive sola”⁴⁹.

Desgraciadamente para ellos, ni Wegener ni sus mayores detractores en el Simposio llegaron a ver de qué forma el futuro trataba *imparcialmente* al movi-
lismo geológico⁵⁰.

La respuesta de la comunidad científica

La teoría de la deriva continental, especialmente la obra de Wegener, en tanto que daba una visión *movilista* del planeta tierra, como era de esperar provocó una viva y agria polémica en los medios científicos, sobre todo en Norteamérica. Una vez más se verificó un fenómeno sociológico bastante generalizado cual es la gran *resistencia* que ofrecen las escuelas organizadas rígidamente frente a los *cambios sociales*. Además, esta oposición suele ser tanto mayor cuanto más *originales* son las ideas que se pretenden introducir⁵¹.

La controversia sobre los desplazamientos continentales constituye uno de los mejores ejemplos del enfrentamiento entre el pensamiento crítico de las mentes abiertas al cambio, por un lado, y el dogmatismo científico, por otro. Este último viene a estar representado generalmente por las grandes autoridades de la ciencia, bien asentadas y prestigiadas desde los ámbitos institucionales. Tales eran entre otros, en aquella época, el paleontólogo Charles Schu-

⁴⁸ Las páginas que se citan de los trabajos de este Simposio se refieren a la presente traducción.

⁴⁹ Willis, de hecho, nunca cambió su idea sobre la deriva. Décadas después, y poco antes de su fallecimiento, acaecido en 1949 a los 92 años, seguía pensando que no era otra cosa que “un cuento de hadas” (*ein Märchen*, en alemán en el original) (Willis, 1944).

⁵⁰ De todos los participantes en este Simposio, tan solo dos norteamericanos llegaron a conocer las investigaciones paleomagnéticas que respaldarían la deriva continental: Joseph T. Singewald, Jr. (fallecido en 1963, a los 76 años), y Chester R. Longwell (fallecido en 1975, a los 88 años); este último, aunque además fue testigo del desarrollo en sus primeros años de la Tectónica de Placas, siempre consideró el movi-
lismo geológico como una *hipótesis atrevida*, útil en la medida que estimulaba la investigación, pero no como un *principio establecido*.

⁵¹ Diversos autores han analizado los aspectos generales de este interesante problema, entre otros Barber (1961), Laudan (1977, cap. 7), Matthews (1998), y Zilsel (1942); véase, además, Fuchs (1993) para una interesante teoría del cambio sociológico en la ciencia, y Bardsley (1991) en relación con algunas ideas sobre el valor de la aplicación del principio de simplicidad al caso concreto de las ciencias de la tierra.

chert, el geólogo Rollin T. Chamberlin, o el geofísico Sir Harold Jeffreys, *sumos sacerdotes* de la más rígida ortodoxia. El enfrentamiento se centró en el caso de la deriva, además, en factores ajenos a la ciencia, como el intrusismo profesional o la xenofobia: Wegener, además de no ser geólogo⁵², era alemán, y Alemania acababa de salir derrotada en la Primera Guerra Mundial.

Asimismo, la deriva continental iba mucho más allá de su discrepancia abierta frente a una buena parte de las teorías que constituían la filosofía geológica oficial de principios del siglo XX que hemos visto con anterioridad. No era, pues, una simple oposición al inmovilismo geológico, a la permanencia de los océanos y de los continentes, y consecuentemente a la idea de los puentes intercontinentales como vías de dispersión biogeográfica (por otro lado, ya muy desacreditados por la isostasia), así como a las ideas orogénicas de Élie de Beaumont (1829–30) y Dana (1847). La hipótesis entraba de lleno en la vieja polémica entre la herencia cultural de los *fisiógrafos*, representados en este caso por Alfred Wegener, y la de los *mineros*, con Thomas C. Chamberlin como figura destacada de la época (Şengör, 1991).

Además de estos aspectos *meramente geológicos*, las ideas de Wegener serían analizadas también por algunos de sus detractores, y desde un punto de vista filosófico, en relación con los procesos cíclicos del tiempo que se pierden, en su forma más arcaica, en las tradiciones culturales del *mito del eterno retorno*. Según este mito, como ya señalara Eliade (1951, p. 86), todos los acontecimientos son reversibles, es decir, ninguna transformación es definitiva; no existe nada nuevo en el mundo, sino que todo no es más que una mera repetición de los mismos arquetipos primordiales. A finales del siglo XVIII, James Hutton ya había establecido su *versión*⁵³ de este mito para las Ciencias de la Tierra (García Cruz, 2013) tras el descubrimiento del *tiempo profundo*

⁵² Wegener no era tan lego en geología como se le ha querido presentar por parte de sus detractores. Durante su estancia en Innsbruck junto con su hermano Kurt, había tenido un contacto muy estrecho con la alta montaña, se había interesado por la geología alpina y se había instruido ampliamente en ella (también en botánica).

⁵³ Según Hallam (1983, p. 34–35), aunque Hutton parece no adoptar las ideas aristotélicas, en su sistema no se observan indicios de progresión o direccionalidad. Sobre el origen del carácter cíclico de las ideas huttonianas, véanse García Cruz (2001b, 2013). Por otro lado, esta visión ahistórica del tiempo huttoniano es el que, de acuerdo con Hallam (1983, p. 59), impide considerar a Hutton el fundador de la geología moderna tal como hacen algunos autores (entre otros muchos, Bailey, 1967; Dean, 1993; MacGregor, 1947; McIntyre, 1963; Read, 1949).

(Hutton, 1795; Playfair, 1802). La persistencia de estas ideas en el contexto geológico de la época viene ejemplificada por la concreción que hace Rollin T. Chamberlin durante este simposio en pleno debate sobre la deriva continental como un *argumento* más en contra de ella: “*El registro geológico es rítmico, con ciclos que siguen a otros ciclos...*”, y más adelante insiste: “*La historia se ha repetido de manera notable*” (p. 148).

Una vez más nos encontramos aquí con un caso típico de movimiento pendular entre dos concepciones excluyentes, en el que se desarrollan la gran mayoría de las actividades creativas humanas. La ciencia, evidentemente, como construcción social, no queda al margen de esto; por el contrario, a través de sus principios filosóficos, en muchas ocasiones se recrea, implícita o explícitamente, en una controversia sobre dos ideas, no solo muy distintas, sino además incompatibles, del mundo y de la realidad. Y, así, mientras que unos grupos tienden a aproximarse cada vez más a esta realidad para comprenderla, otros se aferran a la inmutabilidad sobre la base de la *autoridad* que supuestamente emana del prestigio de ciertos autores. Esto desemboca, por otro lado, en una falta de esa supuesta *imparcialidad* de la que deben estar provistos los científicos, además de su evidente *competencia*, para el análisis de teorías alternativas en su camino hacia el consenso, tal y como señala Ziman (1968, p. 22–23). Y no es singular la ocasión en la que este último grupo deforma los hechos y las observaciones basándose también en supuestos ecos de recurrencia, en muchas ocasiones de naturaleza moral. De esta forma, para dominar la realidad, *llegan a crear su propia verdad*, siempre dogmática e intransigente. La historia de la geología está llena de ejemplos concretos. Como se verá en las páginas que siguen, el Simposio de Nueva York no fue una excepción: frente a lo apuntado también por Ziman (2000), en el caso del Wegener, la confrontación sí fue dura, y estuvo, asimismo, polarizada en cierta medida por el hecho de que este, además de ser alemán, no pertenecía al selecto club de geólogos profesionales, y por lo tanto no se le reconocía una formación adecuada para proponer hipótesis alternativas que pusieran en cuestión la filosofía geológica oficialmente aceptada por la comunidad científica. Se detectan, así, algunos aspectos sociales que en parte llegaron a ensombrecer los argumentos auténticamente científicos.

El Simposio de la American Association of Petroleum Geologists (Nueva York, 1926)

El foro más importante donde se discutió la teoría de la deriva continental en vida de su autor fue el Simposio de Nueva York celebrado en noviembre de 1926, organizado por la *American Association of Petroleum Geologists* (AAPG) bajo la dirección del geólogo holandés W.A.J.M. van Waterschoot van der Gracht, a la sazón, vicepresidente de la Marland Oil Company.

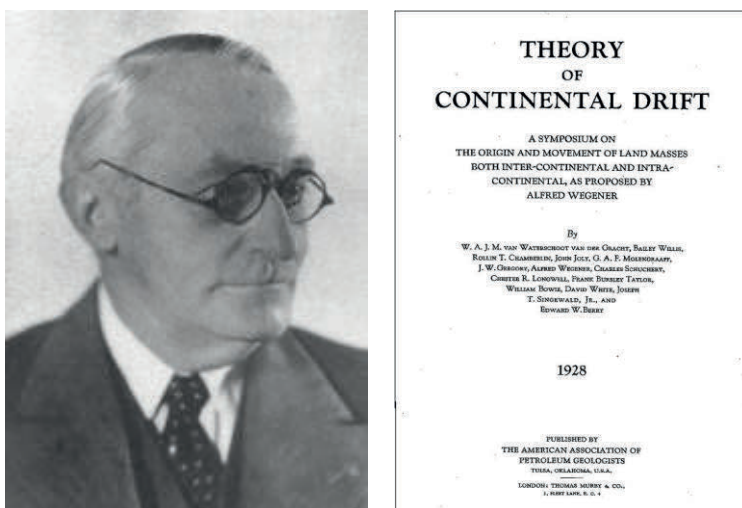


Fig. 25. W.A.J.M. van W. van der Gracht (1873–1943), y primera página de las Actas del simposio de Nueva York/1926.

No es casual el interés por la teoría movilista mostrado por una institución con claros fines económicos si tenemos en cuenta algunos aspectos esenciales. La AAPG se creó en 1917⁵⁴ con el objeto proporcionar ideas y datos científicos y técnicos en el campo de la Geología, en lo que se refiere a la exploración y producción de petróleo y gas natural, puesto que desde principios del siglo XX ya se empezaba a pensar en el carácter bastante limitado de

⁵⁴ Originalmente *Southwestern Association of Petroleum Geologists* (1916), fundada en Oklahoma a partir de dos pequeños grupos de geólogos norteamericanos que se crearon en 1915; cambiaría a su nombre actual a partir de 1917, tiene su sede oficial en Tulsa (Oklahoma, EE.UU.), y en la actualidad posee carácter internacional; véanse Morley (1966), Parker (2009).

las reservas petrolíferas. Por otro lado, se era consciente de la influencia de los procesos tectónicos en el origen de los yacimientos.

Así, pues, si los desplazamientos continentales eran un hecho, indudablemente habrían sido determinantes en la constitución de las grandes estructuras geológicas regionales. Por lo tanto, era necesario enfocar las futuras prospecciones petrolíferas desde un punto de vista de la investigación científica en un marco mucho más amplio que el meramente local, puesto que, además, los datos de superficie eran cada vez más insuficientes para la localización de yacimientos. Como se podrá ver en las actas del Simposio, algunos participantes, en cierto grado favorables al movilismo, hicieron precisamente este tipo de propuestas. Esta visión de futuro ha sido una de las grandes contribuciones de la geología movilista a la prospección de recursos naturales, destacando en este sentido los yacimientos de petróleo.

En este Simposio⁵⁵ de Nueva York/1926⁵⁶ –las actas se publicaron en la sede de la AAPG en Tulsa (OK), en 1928–, participaron catorce científicos norteamericanos y europeos, entre ellos, aunque no personalmente, Alfred Wegener⁵⁷.

⁵⁵ Una recensión de las actas de este Simposio la realizó Holmes (1928a).

⁵⁶ Ese mismo año se celebró en Madrid el XIV Congreso Geológico Internacional, y salvo una breve referencia a la deriva continental por parte del noruego Olaf Holtedahl, no se discutió la teoría de Wegener (Ayala–Carcedo *et al.*, 2005).

⁵⁷ Wegener realmente no estuvo presente en el Simposio. Su participación la realizó enviando “dos notas” sobre su teoría (traducidas al inglés y leídas por Gracht). Con anterioridad se había analizado brevemente la hipótesis de la deriva continental en el encuentro anual de la Geological Society of America (Ann Arbor, Michigan, 1922). Una discusión mucho más profunda tuvo lugar ese mismo año en la British Association for the Advancement of Science (Wright, 1923), y también en los debates organizados en la Société Géologique de Francia (Joleaud, 1923), en la Royal Society de Sudáfrica, y en la Royal Geographical Society de Londres un año después. Una breve discusión se llevó a cabo en el 15º Congreso Geológico Internacional celebrado en Sudáfrica en 1929 (Mazadiego Martínez y Puche Riart, 2013). En ninguna de esas discusiones estuvo presente el científico alemán. Posteriormente, tras la muerte de Wegener en 1930, y a medio camino de la emergencia de la Tectónica de Placas, se analizó la hipótesis movilista en tres reuniones de la Société de Biogéographie de Francia (Furon, 1948), y se celebraron también otros simposios dedicados a la deriva continental (Carey, 1958a; Raasch, 1958; Munyan, 1963; Blackett *et al.*, 1965; Garland, 1966; Wilson, 1969; A.P.S., 1968; Johnson y Gilliland, 1968; Johnson y Smith, 1970; Kay, 1969). Por otro lado, la revista *Geologische Rundschau* [vol. 70, Nº 1 y 2 (1981)] recoge las actas de los Simposios *Alfred Wegener I–II*, con numerosos trabajos sobre deriva continental y Tectónica de Placas, tanto históricos como geológicos,

W.A.J.M. van Waterschoot van der Gracht (1873–1943), además de llevar a cabo la coordinación del encuentro, inició la sesión (“*Introducción: El problema de la deriva continental*”, p. 73–140) con una revisión general del tema. Entre otras ideas básicas, destacó las dificultades para comprender el comportamiento de los factores físico-químicos que reinan en el interior de la tierra, e hizo hincapié en la confusión que subsistía en algunos conceptos, como por ejemplo entre *rigidez* y *resistencia*, confusión esta que había conducido a refutar algunas de las ideas de Wegener a partir de errores conceptuales. Por otro lado, tuvo también una serie de intuiciones que llegarían a confirmarse algunas décadas después, como la *renovación del fondo oceánico*, o la relación entre las anomalías gravimétricas positivas y el abombamiento mesoatlántico con efusiones de basalto.

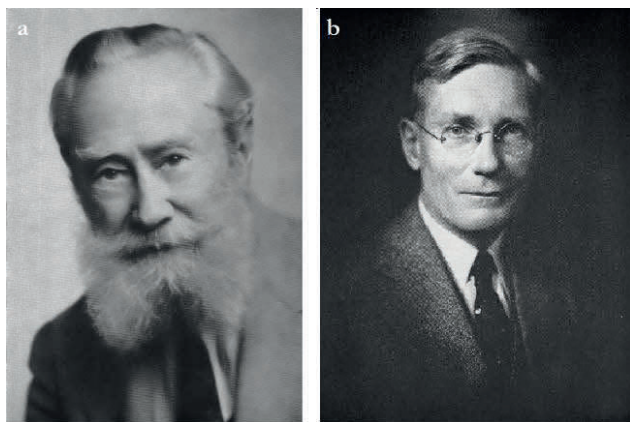


Fig. 26. (a) Bailey Willis; (b) Rollin T. Chamberlin.

Asimismo, y esto debe reconocérsele actualmente, intuyó el hecho de que la apertura del rift atlántico *no tiene por qué haber ocurrido una sola vez, puede haberse repetido*. Se trata, por lo tanto, de un claro precursor de lo que luego se llamaría Ciclo de Wilson. El aspecto más *singular* de la notable intervención de Gracht es que lo sitúa como un claro exponente de mente abierta hacia las nuevas ideas, anteponiendo a las afirmaciones categóricas y dogmáticas, la objetividad e imparcialidad en la consideración de la hipótesis movilita. Por este motivo, Gracht se muestra en el Simposio como el máximo defen-

algunos de los cuales son citados como referencias en este *Prefacio* y en algunas *Notas de la traducción*, y que figuran en el *Suplemento Bibliográfico* (p. 297–381).

sor de la deriva continental, aunque con claras reservas y algunas discrepancias, e insistió en que dicha hipótesis debía ser considerada con mentalidad abierta para no caer en la intransigencia y en el rechazo fácil.

Uno de los grandes detractores de Wegener fue el norteamericano Bailey Willis (1857–1949), especialista en la geología de los Apalaches. En su contribución (“*La deriva continental*”, p. 141–146), rechazó la teoría basándose en que, al partir de la similitud de costas entre África y Sudamérica, de existir dicha semejanza, no se podrían haber dado las consecuencias estructurales expuestas por Wegener, y de existir estas, no habría podido tener lugar el desplazamiento continental. Además, arremetió también contra el método utilizado, más propio según él de un *abogado* que de un científico.

Otro norteamericano, Rollin T. Chamberlin (1881–1948) (“*Algunas de las objeciones a la teoría de Wegener*”, p. 147–151) acusó a Wegener de dogmático, de carecer de código de conducta mientras se tomaba muchas libertades con nuestro globo. Chamberlin, como parte integrante de la filosofía geológica global, defendía que la estructura de los continentes había quedado establecida ya desde el Precámbrico, explicación acorde con la teoría de la contracción y con la hipótesis planetesimal; además, como glaciólogo, planteaba el carácter absurdo del acoplamiento de las morrenas expuesto por Wegener, y rechazaba la deriva continental puesto que no había sitio para un *gran acontecimiento sencillo* como el que se proponía, puesto que los procesos geológicos tenían carácter *cíclico*.

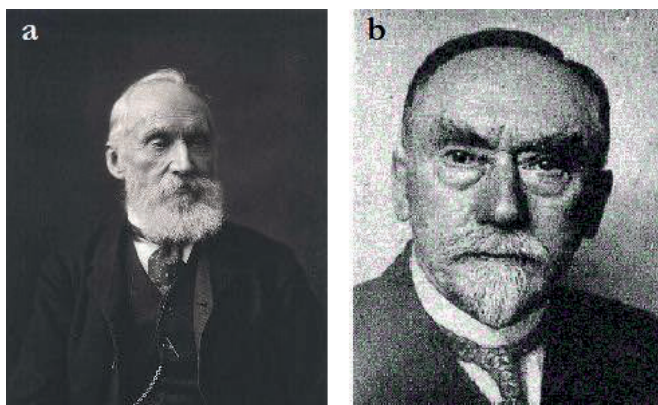


Fig. 27. (a) John Joly; (b) G.A.F. Molengraaff.

Por otro lado, el geólogo y físico irlandés John Joly (1857–1933) (*“El movimiento continental”*, p. 152–153) se mostró favorable al desplazamiento continental durante los períodos de fluidez del sustrato por los que había pasado la tierra, de acuerdo con su hipótesis de la convención térmica para explicar la estructura de la corteza terrestre.

El holandés G.A.F. Molengraaff (1860–1942) (*“La deriva continental de Wegener”*, p. 154–156) apoyó la hipótesis movilista, aunque discrepaba de Wegener en cuanto a una deriva *solo* hacia el oeste: África debía haberse desplazado hacia el este, a partir de la dorsal mesoatlántica, que debía estar formada por material basáltico, *extruido al separarse las masas continentales*.

El británico John Walter Gregory (1864–1932) (*“La hipótesis de Wegener”*, p. 157–159) era un buen conocedor de la obra⁵⁸ de Wegener, y no se oponía del todo a la teoría de la deriva continental, aunque consideraba que la distribución de tierras y mares se podía explicar perfectamente mediante movimientos verticales, fruto del ajuste cortical que se produce como consecuencia del enfriamiento de la tierra.

Alfred Wegener (1880–1930) envió al simposio una contribución (*“Dos notas relativas a mi teoría de la deriva continental”*, p. 160–165) que fue leída por Gracht. En ella, por un lado, discutía algunas cuestiones paleoclimáticas relativas a Norteamérica, y, por otro, insistía en que su hipótesis podría comprobarse a través de mediciones inalámbricas de la longitud y de la latitud, hecho este en el que ha intervenido en diversas ocasiones, y de forma decisiva, la Unión Astronómica Internacional.

El eminente especialista norteamericano en geología histórica Charles Schuchert (1856–1942) (*“La hipótesis del desplazamiento continental”*, p. 166–205) fue otro de los grandes detractores de la deriva. Su rígida oposición a Wegener probablemente se viera influida además por dos hechos relevantes: la obcecación propia de personas que, como él, a pesar de sus grandes conocimientos, carecen de formación académica⁵⁹, y por otro lado, su procedencia

⁵⁸ Había realizado con anterioridad la recensión para *Nature* de la traducción inglesa de 1924 (Gregory, 1925).

⁵⁹ Charles Schuchert fue uno de los últimos geólogos “profesionales” norteamericanos que no había recibido educación académica o formal en ninguna rama de la ciencia. Su erudición era fruto de una formación totalmente autodidacta. Fue profesor de paleontología en la Universidad de Yale, y, paradójicamente, llegó a ocupar los más altos cargos de diversas instituciones científicas de Estados Unidos que promovían exclusivamente la *profesionalización* de la ciencia (Oreskes, 1999, p. 180).

de una intransigente familia católica bávara del más ortodoxo dogmatismo. Schuchert era defensor a ultranza de los puentes intercontinentales, y como tal llegaría a plantear la escasa proporción de identidades y semejanzas biológicas existente entre continentes, lo que contradecía la teoría del desplazamiento. Acusó, por otro lado, a Wegener de apoyarse en la isostasia, hipótesis incompatible con las conexiones terrestres. Además, no comprendía el porqué de una fracturación de la Pangea tan tardía como en el Paleozoico, y mediante modelos de plastilina intentó probar sobre un globo terráqueo que los acoples geográficos de hecho no eran tan perfectos como suponía Wegener. Discutió asimismo la migración de los polos y la validez de los mapas paleogeográficos, estableciendo las escasas semejanzas que existían a ambos lados del Atlántico.

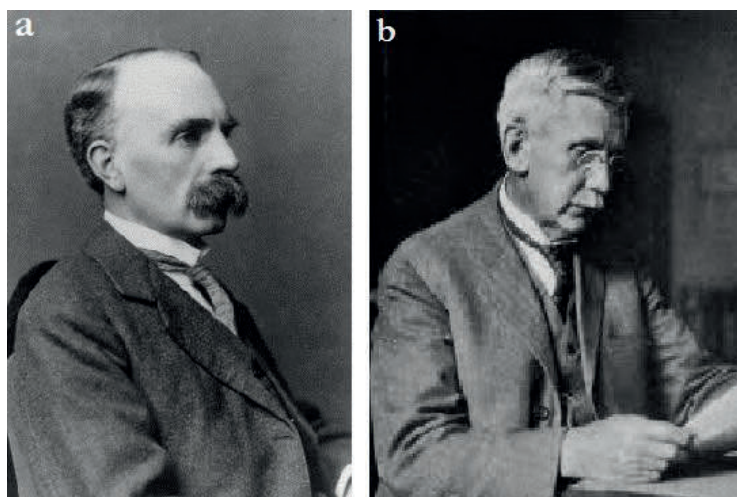


Fig. 28. (a) John W. Gregory; (b) Charles Schuchert.

Chester R. Longwell (1887–1975) (“*Algunas pruebas físicas de la hipótesis del desplazamiento*”, p. 206–217), de la Universidad de Yale, discutió esencialmente los mecanismos de la deriva, reconociendo que, aunque no eran concluyentes, los resultados del examen geofísico eran desfavorables a la hipótesis. Por este motivo, no la rechazaba por completo, aunque subrayó que una idea que afectaba a los principios fundamentales de la geología debería tener unas bases más sólidas que la *imaginación*⁶⁰. Pero si se aceptaba la deriva co-

⁶⁰ En contra de lo planteado aquí por Longwell y por otros participantes en el simposio más adelante (véase el apartado *La metodología*), la propia filosofía neopositivista dejaría

mo una hipótesis de trabajo, podría proporcionar resultados evaluables.

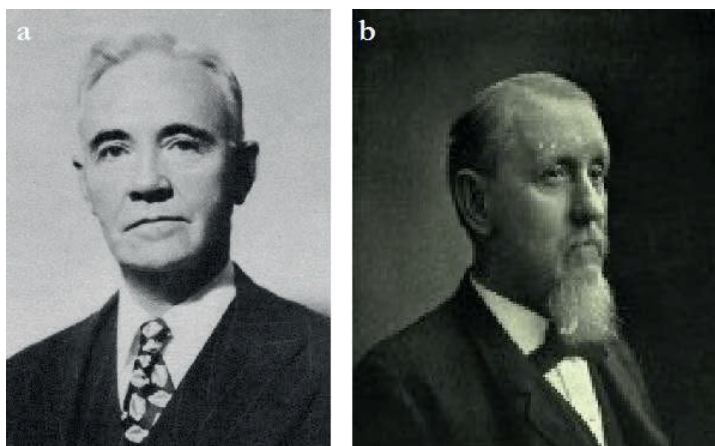


Fig. 29. (a) Chester R. Longwell; (b) Frank B. Taylor.

El norteamericano Frank B. Taylor (1860–1938) también participó en el simposio, e insistió en su idea del desplazamiento hacia el sur. Analizó en su trabajo (*“Deslizamiento continental y fuerzas mareales y rotacionales”*, p. 218–236) el origen de los plegamientos montañosos y comparó los mantos de hielo y los mantos corticales. Para Taylor, el cinturón terciario era de origen continental, no oceánico. Además, insistía en que las fuerzas necesarias para los movimientos continentales residían en los fenómenos mareales y rotacionales, dudando de la hipótesis planetesimal en tanto que dificultaba el origen de la Luna por *captura*, idea esta que encajaba mejor en sus esquemas de la dinámica cortical.

El geofísico norteamericano William Bowie (1872–1940) (*“Comentarios sobre la hipótesis de Wegener”*, p. 237–244), aunque no la rechazaba directamente, planteó serias dudas sobre la deriva continental, de acuerdo esencialmente con el principio de la isostasia, analizando cuestiones derivadas del grosor de las capas corticales y discrepando sobre la deriva polar en las proporciones expuestas por Wegener.

claro algunas décadas después que el paso de los datos a las teorías requiere *imaginación inventiva* (Hempel, 1966, p. 33).

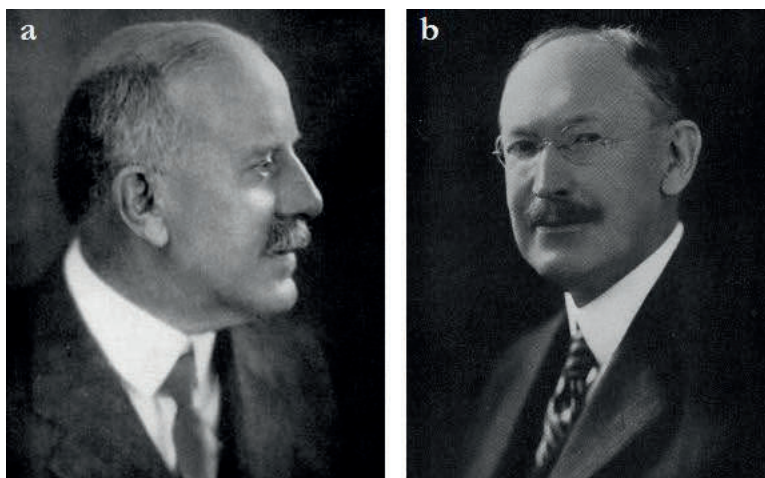


Fig. 30. (a) William Bowie; (b) David White.

David White (1862–1935) (“*Discusión de los continentes flotantes*”, p. 245–246), del National Research Council de Estados Unidos, planteó una vez más una seria crítica sobre la rotura tan tardía y posterior migración de los fragmentos de la Pangea, a finales del Cretácico, mientras existieron otros períodos de grandes perturbaciones corticales. Insistió, también, en que los geólogos no deberían ignorar el principio de la isostasia al considerar la deriva continental.

Otro norteamericano Joseph T. Singewald, Jr. (1887–1963) (“*Discusión de la teoría de Wegener*”, p. 247–251) reconoció que la hipótesis movilista tenía un alto grado de probabilidad y que poseía numerosas evidencias a su favor. A pesar de esto, comparó nuevamente a Wegener con un abogado que más que probar su teoría, intentaba defenderla, cuyos alegatos se basaban esencialmente en evidencias circunstanciales, y que la mayoría de los hechos contradecían los presupuestos iniciales, como, por ejemplo, al indicar que el sima y el sial no podían elevarse más de lo que podían ser compensados isostáticamente.

Por último, el paleontólogo norteamericano Edward W. Berry (1875–1945) (“*Comentarios sobre la hipótesis de Wegener*”, p. 252–254) atacó duramente el método hipotético–deductivo de Wegener al que acusó de no ser científico, recalcando que la deriva continental creaba más problemas de los

que intentaba resolver.



Fig. 31. (a) Joseph T. Singewald, Jr.; (b) Edward W. Berry.

El simposio finalizó con una nueva aportación de W.A.J.M. van Waterschoot van der Gracht (*“Observaciones sobre los trabajos presentados por los demás participantes en el Simposio”*, p. 255–282). Revisó especialmente las objeciones expresadas por los participantes, más que para expresar su apoyo a la deriva, para hacer ver que existían otros puntos de vista distintos y que merecían en ambos casos el mismo tipo de consideración. Insistió en que era necesario examinar la hipótesis movilista con mente abierta, y que este tipo de encuentros era bastante fructífero en cuanto que ayudaba a aproximarnos a la verdad a partir de nuestra ignorancia sobre muchos de los puntos tratados a lo largo del debate, porque esta ignorancia era la que estimulaba para seguir investigando.

Quedó claro en el Simposio de la *AAPG* la existencia de dos *grupos* bien diferenciados: por un lado, los científicos europeos, básicamente a favor del movilismo geológico, aunque discrepantes en algunos aspectos concretos, y, por otro, los norteamericanos (exceptuando a Taylor), muy críticos en general con la hipótesis de la deriva continental, aunque algunos de ellos (Singewald y Longwell), no la rechazan del todo. En última instancia, ambos grupos representan también lo que señalara algunos años antes J.W. Gregory en su obra sobre la geología del África Oriental: aquéllos que escogen entre la precipitación

al usar pruebas imperfectas y los que prefieren la esterilidad de hechos sin correlación ni explicación (Gregory, 1921, *Preface*).

Una de las claves de esta división la podemos encontrar en una de las contribuciones al Simposio: según Schuchert, en Norteamérica hacía muchos años que se había entablado una batalla sobre la teoría de la permanencia de los caracteres más relevantes de la tierra, introducida por J.D. Dana, “y *ganaron los americanos*” (?), mientras que en Europa, existían geólogos que “*aún siguen a Lyell [!] y creen en la mutabilidad de los continentes y océanos*”, y que para explicar simples peculiaridades en cuanto a flora y fauna “*no vacilan en empujar los polos de la tierra hacia cualquier sitio*”.

Se pone, pues, en evidencia un enfrentamiento entre estabilidad *versus* inestabilidad de los grandes caracteres de la tierra. Entre estos, la distribución de masas continentales y oceánicas, que se habrían visto afectadas exclusivamente por movimientos verticales según la geología más ortodoxa. No obstante, y quizás esto pueda sorprender, en el mismo párrafo, Schuchert, inmediatamente antes, afirma: “*Solo estamos en terreno seguro con tal que sigamos la enseñanza de la ley de la uniformidad en la actuación de las leyes de la naturaleza*”.

Se podría ver aquí una contradicción en el planteamiento de la dualidad entre seguir a Lyell o al uniformitarismo. Pero aquélla es solo aparente si tenemos en cuenta que, de acuerdo con Gould (1984, p. 10–12; 1987, p. 136–145), existen diferentes visiones uniformitaristas en Lyell. Mientras que, por un lado, Schuchert considera positivamente la uniformidad de la *ley* (ya que garantiza las *inferencias inductivas* en los tiempos pasados), por otro lado rechaza la uniformidad de los *procesos*, es decir, el verdadero *actualismo*, puesto que de aceptarlo, y de tener que considerar mínimamente la hipótesis de la deriva continental, se vería obligado a replantear, entre otras ideas, la de los puentes intercontinentales, muy arraigados entre los paleontólogos (Schuchert lo era), y se pondría en evidencia que fueron *inventados innecesariamente* para explicar unos hechos biogeográficos que la movilidad continental, como proceso geológico *actual*, explicaría “perfectamente”. A este respecto, y ante uno de los grandes “enigmas” geológicos de la época, Schuchert expresaba su confianza en que la Geofísica algún día hallaría la forma en que se produjo el derrumbe de los puentes intercontinentales, a lo que replica Gracht, confiando en que también pudiesen encontrar la forma en que se produjo la deriva continental. El dogmatismo de Schuchert le impedía ver que la “causa” del derrumbe de los puentes intercontinentales no fue otra que el “establecimiento” de la teo-

ría de la isostasia durante el siglo XIX, y que hacía imposible su existencia⁶¹.

Vamos a analizar brevemente dos ideas básicas que se expresaron en el Simposio y contribuyeron al rechazo⁶² de la teoría movilista:

La metodología. Por un lado, se ataca el *método* utilizado por Wegener, del que se dice varias veces que es más propio de un abogado que de un científico, en el sentido de que tiene *una causa que defender*, más que *una idea que demostrar*, puesto que los hechos no solo no concuerdan con la teoría, sino que, además, se “oponen” básicamente a ella. No hay que olvidar que, varios siglos antes, se había venido produciendo una ruptura con la lógica aristotélica, ruptura que se establece de forma definitiva hacia 1620 con Francis Bacon a partir del empirismo inductivista. No se podían seguir admitiendo como científicos los productos de la *imaginación* y por lo tanto las especulaciones, acusaciones estas hechas en más de una ocasión a la hipótesis movilista (sobre todo Schuchert, p. 188 y 189 [citando a Termier, p. 148]; Longwell, p. 210; Berry, p. 256); así, pues, los hechos debían de estar comprobados, y mejor aún demostrados matemáticamente, como herencia misma de la revolución astronómica del siglo XVII⁶³.

Sin embargo, Wegener (1929a, p. 150) afirma que ha utilizado el método inductivo, al que, según él, se ven *forzadas* en la mayoría de los casos las Ciencias Naturales. Esto resulta sorprendente, puesto que su trabajo es un claro ejemplo de metodología hipotético–deductiva. Quizás Wegener confundiese los términos, aunque cita a Newton bajo un aspecto deductivo⁶⁴, y en este sen-

⁶¹ Véase Bell (1959) sobre la deriva continental y el principio de uniformidad.

⁶² Dentro de estas causas, Rupke (1996) incluye el *continentalismo eurocéntrico* de la teoría de Wegener, y Oreskes (1988, 1999) su incompatibilidad con el uniformitarismo.

⁶³ Sobre la opinión que se tenía acerca de la naturaleza y metodología de la geología en las primeras décadas del siglo XX, véase Chamberlin (1904).

⁶⁴ Isaac Newton es un insigne representante del *nuevo instrumento* baconiano y por lo tanto del empirismo inductivista, lo que ya ha sido considerado, entre otros, por Cohen (1980, p. 24–27). El propio Newton lo expresó claramente cuando, respecto de su método de análisis, afirma en su *Óptica* (1707, p. 349) sostenía que “*las hipótesis no han de ser tenidas en cuenta en la filosofía experimental*”. También está implícito en las sucesivas ediciones de los *Principia* al sustituir el término “hipótesis” por “fenómeno” (Newton, 1728, p. 615–616). Por otro lado, y con evidentes *intenciones* inductivistas, se expresaba casi un siglo antes Kepler (1619, p. 178–179) cuando da a conocer en el *Proæmium* del *Liber V* de su *Harmonices Mundi*, que su tercera ley, que había venido *imaginando y profetizando* desde muy joven, había llegado a demostrarla, es decir, a aceptarla, después de ¡veintidós años! de cálculos astronómicos. Es evidente que E.W. Berry desconocía esta y

tido resulta paradójico. Quizás pudo pensar que, invirtiendo el concepto, la polémica y el rechazo no serían tan agudos como, estaba seguro, podría suceder, y de hecho ocurrió. O tal vez, considerando la influencia del neopositivismo del Círculo de Viena sobre la ciencia germanoparlante, no quisiera enfrentarse a ella.

Las causas de la deriva. En segundo lugar, la teoría adolece de una falta de concreción *verosímil* en cuanto a las causas que motivaron el desplazamiento de las masas continentales. En este sentido, es evidente que el debate se centra básicamente en el rechazo rotundo de las ideas *de* Wegener, puesto que los detractores de la hipótesis solo mencionan a Taylor una vez, en el trabajo de Schuchert, dentro de una cita del libro *Our Mobile Earth* de R. Daly (1926, p. 263).

Wegener había dedicado todo el capítulo 9 de su libro para hablar de las causas de la deriva, indicando que por el momento no había aparecido “*el Newton de la teoría de los desplazamientos*” (edición de 1929a, p. 151). Se había resuelto solo un aspecto (la fuerza de la fuga polar que hacía derivar los continentes hacia el ecuador, de acuerdo con los datos obtenidos del Eötvös en 1913)⁶⁵ y se habían avanzado unas cuantas conjeturas sobre el resto. Tales conjeturas no eran otras que las fuerzas del Sol y de la Luna sobre la Tierra viscosa.

Contra estas causas aducidas por Wegener destacaron las réplicas de Willis, para el que dichas fuerzas serían más efectivas si actuaran sobre el sima (más denso) que sobre el sial (más ligero), pero Wegener proponía justo lo contrario. Chamberlin, por otro lado, citando a Lambert, indicó que estas fuerzas eran inadecuadas, puesto que representaban solo una millonésima de las requeridas, insistiendo Longwell en su pequeñez, y mostrando al mismo tiempo que el efecto precesional de Schweydar, que podría ayudar a explicar la

quizás otras muchas *anécdotas* de la historia de la ciencia cuando afirmaba en su contribución al Simposio que “*la imaginación, por sí misma, nunca ha ensanchado los límites del conocimiento*”, cuando, además y por otro lado, en relación precisamente con la geología, se había reconocido que la imaginación era *necesaria para sus intereses* (Parks, 1925).

⁶⁵ Esta fuerza se debe al achatamiento del planeta como consecuencia de la rotación. Localizada inicialmente entre la corteza y el manto, fue establecida por primera vez por Eötvös (1913). Actualmente se sitúa entre la litosfera y la astenosfera, y presenta un grado de magnitud superior a los valores obtenidos con anterioridad a la tectónica de placas, disminuyendo hasta la actualidad. Ha sido considerada en la reconstrucción a gran escala del desplazamiento continental; véanse Gasperini y Chierici (1996), Goedecke y Ni (1991).

deriva, solo era efectivo en el cinturón ecuatorial.

Para Taylor la fuerza que movía la corteza estaba indiscutiblemente relacionada con la latitud y con los hemisferios; la distribución de los continentes no se ajustaba a un proceso de contracción por enfriamiento o consolidación de planetesimales. Por este motivo, la fuerza debía ser de origen *externo*, siendo las fuerzas mareales y rotacionales las únicas existentes en este sentido, o al menos más prometedoras que una posible fuerza de origen magnético. Más adelante, argumentó a favor del elemento causal de su teoría el hecho de que los movimientos corticales del Terciario comenzaran en un época *muy definida* (Cretácico tardío), y no antes, asociando esto con un *aumento repentino y permanente en el valor de la fuerza motriz de la corteza*. Para ello dio una *explicación simple y racional* (adelantada ya en el encuentro anual de la Geological Society of America en diciembre de 1925)⁶⁶: la *captura* de la Luna como satélite en esa época, hecho este que relacionó, en defensa de esa idea, con el origen de la gran transgresión del Cretácico.

Estas causas habían sido analizadas con anterioridad por algunos autores, en especial por H. Jeffreys (1924), y se había opuesto⁶⁷ a ellas por dos motivos fundamentales: si la Luna había sido capturada a finales del Cretácico, por un lado quedaban sin explicar los ciclos orogénicos anteriores a este período, y por otro, la traslación de los continentes habría producido tal fricción que el movimiento de rotación de la tierra se hubiese detenido en muy poco tiempo, según Jeffreys aproximadamente en un año (*en* Holmes, 1965, p. 478–479). A pesar de todo, en ningún momento se expresan en el Simposio opiniones contrarias a las ideas de Taylor, ni siquiera se hace alusión manifiesta a ellas: siempre son las ideas *de* Wegener las que hay que atacar. Al fin y al cabo, para los detractores del movilismo geológico, Taylor era compatriota, y además colega, aunque pudiese estar equivocado. Lo que no sucedía con Wegener.

⁶⁶ Véase *Nature* (1926), 13 de febrero, p. 246–247.

⁶⁷ Jeffreys, sin duda, es a la deriva continental lo que Lord Kelvin a la edad de la tierra: el mejor ejemplo de dogmatismo intransigente basado en su prestigio. No participó en el Simposio de 1926, pero siempre se mostró crítico con esta teoría desde el principio (Jeffreys, 1923, 1924, p. 261). Jamás fue favorable al movilismo geológico, aunque *tuvo tiempo suficiente* para modificar su forma de pensar ante las evidencias (falleció en 1989 ¡a los 98 años!). En los años 1970 seguía buscando aspectos en su contra (Jeffreys, 1970), y se reafirmaba, incluso, sobre la *imposibilidad* de la tectónica de placas (Jeffreys, 1976).

A modo de epílogo

En el prefacio de la edición francesa de la obra cumbre de Eduard Suess, *La face de la terre* [Das Antlitz der Erde], Marcel Bertrand escribía que esta obra “señalaba el final del primer día, el día en que se hizo la luz” (Bertrand, 1897, p. xv). Es incuestionable que lo mismo se podría decir para *El Origen de los Continentes y Océanos* de Alfred Wegener. Porque en la ciencia, y en especial para una ciencia histórica como es la Geología, no ha existido *un solo* primer día, sino muchos días en los que se ha hecho la luz. A pesar de esto, como se puede ver a lo largo de la historia de las ciencias de la tierra, y en esta ocasión a través de las páginas de las Actas del Simposio de la AAPG, muchos científicos, debido a su *inmovilismo* (y no precisamente continental) no llegasen a contemplar nunca esa luz, y para otros haya tardado en ser contemplada más de medio siglo⁶⁸; incluso algunos, en los inicios de la Tectónica de Placas⁶⁹, o casi en las postrimerías del siglo XX, como el geólogo ruso Vladimir V. Beloussov⁷⁰ (1979), por ejemplo, se hayan negado a verla⁷¹.

Nota de la presente traducción.

Dentro de la historia de las ciencias en general, y de la geología en particular, las Actas del Simposio de la AAPG (Nueva York, 1926) se considera un documento de primer orden tanto por su trascendencia científica como por su importancia histórica. Por eso, y sin pretender ser una traducción crítica, se acompaña de anotaciones (señaladas entre corchetes para diferenciarlas de las debidas a los propios autores), con aclaraciones en las que se ha procurado

⁶⁸ Resulta interesante señalar que uno de los grandes críticos de la deriva continental en los años 1950, como fue el alemán M. Schwarzbach, posteriormente se convirtiese en uno de los mejores biógrafos de Wegener (Schwarzbach, 1954, 1980).

⁶⁹ Como buenos ejemplos de lo que significaron las críticas a la deriva continental ya en los comienzos de la Tectónica de Placas, véanse Beloussov (1967), Beloussov y Wilson (1968), Dietz y Holden (1973), Mantura (1972a,b, 1973), Meyerhoff (1970a,b), Meyerhoff y Teichert (1971), Meyerhoff *et al.* (1972), Meyerhoff y Meyerhoff (1972a,b), Patwardham *et al.* (1974), y Wesson (1970, 1972).

⁷⁰ Este autor había calificado las ideas de Wegener de *osadas y fantásticas* (Beloussov, 1962, p. 794–798).

⁷¹ Sobre el desarrollo de las ideas movelistas en Rusia véanse Khain (1995), Khain y Ryabukhin (2002), Udintsev (1995), y Wood (1980b); véase también Rich (1981).

remitir a una serie de citas bibliográficas, tanto de interés histórico (por su antigüedad) como científico, sobre algunos de los temas tratados (en especial, hipótesis o teorías clásicas en el desarrollo de las Ciencias de la Tierra, como son, por ejemplo, *los mantos de corrimiento*, *las corrientes subcorticales*, o *la teoría planetesimal*). De esta forma se proporcionan las referencias originales, muchas veces difíciles de localizar, puesto que se van perdiendo conforme se modernizan los textos, generales o especializados, y desgraciadamente no abundan las obras históricas que las aporten. Esto nos ha llevado a una búsqueda bibliográfica exhaustiva, obligándonos a recurrir en algunos casos a manuales clásicos, totalmente desfasados en muchos o en algunos de los temas. Solo en esta clase de obras se pueden encontrar párrafos dedicados a buena parte de los aspectos considerados o a las teorías tectónicas que se citan en el Simposio. Los libros modernos, salvo muy raras excepciones, no suelen dar una dimensión histórica del conocimiento científico, y, cuando lo hacen, a veces es bastante superficial. Siempre que ha sido conveniente, y posible, junto a las citas clásicas se proporcionan otras actualizadas o complementarias. Estas referencias se agrupan en el *Suplemento Bibliográfico*, al que se remite también desde este *Prefacio*.

Agradecimientos

Agradezco la atención prestada por K.M. Wolgemuth (*AAPG*, Tulsa, Oklahoma). David R. Oldroyd (1936–2014) (INHIGEO, Sidney), y Antonio Praturlon (1933–2021) (Istituto di Geologia e Paleontologia, Università degli Studi di Roma), me hicieron interesantes observaciones y comentarios. Una mención especial va David G. Francisco, que colaboró desde Turín en la localización de relevantes documentos bibliográficos. También estoy en deuda por su ayuda con Ana Régulo y Elsa González (Biblioteca Municipal, Santa Cruz de Tenerife), Jutta Voss–Diestelkamp (Alfred Wegener–Stiftung für Polar– und Meeresforschung, Bremerhaven), Julie Carrington (Royal Geographical Society, Londres), Giancarlo Scalera (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma), y Kurt Stüber (Max Planck Institut für Züchtungsforschung, Colonia). Finalmente, estoy en deuda una vez más con Alejandro G. Francisco, por su buen hacer, como siempre.

C.M. GARCÍA CRUZ (INHIGEO)
La Laguna (Santa Cruz de Tenerife)

LA TEORÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL

SIMPOSIO SOBRE
EL ORIGEN Y MOVIMIENTO DE LAS MASAS TERRESTRES
TANTO INTERCONTINENTALES COMO INTRACONTINENTALES,
SEGÚN PROPONE
ALFRED WEGENER

por

W.A.J.M. van Waterschoot van der Gracht, Bailey Willis,
Rollin T. Chamberlin, John Joly, G.A.F. Molengraaff,
J.W. Gregory, Alfred Wegener, Charles Schuchert,
Chester R. Longwell, Frank Bursley Taylor,
William Bowie, David White, Joseph
T. Singewald, Jr., y
Edward W. Berry

Nueva York
(1926)

Publicado originalmente por
THE AMERICAN ASSOCIATION OF
PETROLEUM GEOLOGISTS
Tulsa, Oklahoma
(1928)

Traducción, [notas] y suplemento bibliográfico de
Cándido Manuel García Cruz
INHIGEO

NOTA PRELIMINAR

Poco hay en el reino de la geología que carezca de importancia o lo sea únicamente de interés académico para el geólogo económico de hoy en día. Este es el pionero moderno de las industrias mineras —el explorador, si se prefiere, para aquellos materiales que forman la base de nuestra civilización actual. Cualquier teoría de un alcance tan amplio y con una importancia tan fundamental como la teoría de la Deriva Continental debe ser de su consideración.

Esto es particularmente cierto para el geólogo del petróleo. Su alta especialización dentro de la extensa ciencia de la geología está basada en un reconocimiento del control estructural común de la existencia de los depósitos de petróleo y su técnica se ha prolongado y ampliado por la introducción de métodos cada vez más especializados de búsqueda a través de la estructura. Ha solicitado la colaboración de fisiógrafos, topógrafos, paleontólogos y especialmente micropaleontólogos, químicos, físicos, y otros expertos en campos muy específicos. El origen de la estructura es tan importante para él como el origen del petróleo mismo. Su área de interés geográfico no es menos extensa que su campo científico. Donde aparecen rocas sedimentarias, puede encontrarse petróleo y en la última década se ha visto que la investigación de los geólogos del petróleo se ha ampliado a las más remotas zonas de la Tierra.

Así, pues, ha sido con gran placer y orgullo que el comité para el encuentro en Nueva York de la *American Association of Petroleum Geologists* pudiera presentar una revisión del Dr. Van der Gracht de la Teoría de la Deriva Continental, con una discusión de la misma de muchos geólogos especialistas americanos y foráneos. Nos complace, asimismo, con el apoyo generoso de varias compañías petrolíferas que tienen sus sedes en Nueva York, poder contribuir a la presentación de este simposio en su forma impresa que estará disponible para todos los geólogos, así como para nuestros propios miembros.

E. DEGOLYER^[1]
Nueva York, N.Y.
febrero, 1928

CONTENIDO

Lista de figuras.....	71
Introducción: El problema de la deriva continental, por <i>W.A. J.M. van Waterschoot van der Gracht</i>	73
La deriva continental, por <i>Bailey Willis</i>	142
Algunas objeciones a la teoría de Wegener, por <i>Rollin T. Chamberlin</i>	148
El movimiento continental, por <i>John Joly</i>	153
La deriva continental de Wegener, por <i>G.A.F. Molengraaff</i>	155
La hipótesis de Wegener, por <i>J.W. Gregory</i>	158
Dos notas en relación con mi teoría de la deriva continental, por <i>Alfred Wegener</i>	161
La hipótesis del desplazamiento continental, por <i>Charles Schuchert</i>	168
Algunas pruebas físicas de la hipótesis del desplazamiento, por <i>Chester R. Longwell</i>	210
Deslizamiento continental y fuerzas rotacionales y mareales, por <i>Frank Bursley Taylor</i>	222
Comentarios sobre la hipótesis de Wegener, por <i>William Bowie</i>	241
Discusión de los continentes flotantes, por <i>David White</i>	249
Discusión de la teoría de Wegener, por <i>Joseph T. Singewald, Jr.</i>	251

Comentarios sobre la hipótesis de Wegener, por <i>Edward W. Berry</i>	256
Observaciones sobre los trabajos presentados por los demás participantes en el simposio, por <i>W.A.J.M. van Waterschoot van der Gracht</i>	259

LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1. Zonas climáticas actuales de la Tierra.
- Fig. 2. Hielo, Depósitos de Carbón y regiones áridas durante el Carbonífero.
- Fig. 3. Hielo, Depósitos de carbón y regiones áridas durante el Pérmico.
- Fig. 4. Distribución de floras durante el Carbonífero y el Pérmico.
- Fig. 5. Depósitos de Carbón y regiones áridas durante el Triásico.
- Fig. 6. Depósitos de Carbón y regiones áridas durante el Jurásico.
- Fig. 7. Depósitos de Carbón y regiones áridas durante el Cretácico.
- Fig. 8. Distribución de los *Rudistae* durante el Cretácico.
- Fig. 9. Depósitos de Carbón y regiones áridas durante el Eoceno.
- Fig. 10. Hielo, Depósitos de Carbón y regiones áridas durante el Mioceno.
- Fig. 11. Hielo, ciénagas de turba y regiones áridas durante del Plioceno y el Pleistoceno primitivo.
- Fig. 12. Migración de los polos con relación a África.
- Fig. 13. Fracturación y migración de la Pangea.
- Fig. 14. Globo geográfico de la Tierra de ocho pulgadas con Norteamérica empujada contra Euro-África, de tal forma que Terranova está adyacente a Irlanda.
- Fig. 15. El globo de ocho pulgadas anterior, donde se muestra el desacople ecuatorial.
- Fig. 16. El globo de ocho pulgadas anterior, con Sudamérica empujada contra África.
- Fig. 17. La Pangea occidental ilustrada por Behm en *Entwicklungsgeschichte*, 1924.
- Fig. 18. La Pangea occidental sobre la misma base que la Fig. 17.
- Fig. 19. La Pangea del Carbonífero ilustrada por Köppen y Wegener en 1924.
- Fig. 20. Paleogeografía del período Pérmico primitivo.
- Fig. 21. Mapa que muestra la torsión en el sentido de las agujas del reloj de Sudamérica con relación a la costa africana.
- Fig. 22. Sección meridional a través del polo (P) y del ecuador (E).
- Fig. 23. Sección a través del margen de un continente.
- Fig. 24. Mapa del Mar Árábigo y tierras circundantes.
- Fig. 25. Mapa del acople de Australia y Nueva Guinea en el Mar Árábigo.
- Fig. 26. Diagrama que ilustra el flujo de las corrientes subcorticales de la Tierra en la construcción de las sierras montañosas arqueadas de Asia.

- Fig. 27. Mapa esquemático que muestra los rumbos de las principales cadenas montañosas terciarias para todo el globo.
- Fig. 28. Esfera terrestre con los movimientos de dispersión radial de los mantos corticales septentrionales desde la región del polo Norte.
- Fig. 29. Esquema de la región del polo Norte donde se muestran los valles de rift.

EL PROBLEMA DE LA DERIVA CONTINENTAL⁷²

W.A.J.M. van Waterschoot van der Gracht⁷³

Ponca City, Oklahoma

RESUMEN

Se expone brevemente nuestro conocimiento actual sobre la constitución del interior de la Tierra y de los estados físicos de la materia, que hemos de tener presentes. Se muestra la insuficiencia de la teoría de la contracción para explicar la historia de la superficie terrestre, en particular el problema de las principales cadenas montañosas. Las teorías de la deriva continental de F.B. Taylor, A. Wegener y R.A. Joly se esquematizan en su aspecto más avanzado. Las opiniones personales de Wegener han sido publicadas con mayor amplitud y se han desarrollado con más detalle. A continuación se discuten los principales argumentos que se han propuesto en apoyo de las teorías de la deriva, así como de algunas de las principales objeciones. La más seria de estas últimas es la carencia de una explicación suficiente para el mecanismo de una deriva de la magnitud de la corteza continental ácida (“sial”) sobre un substrato *sólido* básico (“sima”).

Una discusión de la teoría presentada por John Joly (1923–25), llega a la conclusión de una periodicidad de la fluidez y solidificación del substrato básico (sima), causado por la generación de calor a través de cambios radiactivos en los átomos. Este calor se acumula con mayor rapidez de lo que puede disiparse en el espacio, y por un período estimado aproximadamente en 30 millones de años podrá causar la conversión de la esfera de sima en un fluido bajo la corteza externa de sial. Esto aumentaría enormemente las fuerzas que tienden a producir una deriva hacia el oeste localmente diferenciada de la corteza externa, y, como consecuencia de ella, la deriva verdadera. En realidad, si la teoría térmica de Joly es correcta, parece que dicha deriva es el único medio por el cual se podría relevar suficientemente el calor acumulado y disiparse en el espacio. Con una deriva suficiente, se calcula que bastaría un período de 5 millones de años para resolidificar el substrato básico.

Estos períodos alternos de fusión y resolidificación están relacionados casualmente con los principales diastrofismos a escala mundial, es decir, con las “revoluciones” de Joly.

⁷² Introducción a una discusión sobre la deriva continental en el encuentro de Nueva York de la American Association of Petroleum Geologists, el 15 de noviembre de 1926. Esta conferencia fue pronunciada en una forma más abreviada que el artículo que se ofrece aquí. Sin embargo, se resaltaron todos los puntos relevantes, aunque se dio menos tiempo para explicar con detalle los argumentos, lo que se pospuso para la publicación.

⁷³ Vicepresidente, Marland Oil Company.

Si el razonamiento de Joly es correcto, se hace necesaria una deriva general hacia el oeste, y una deriva localmente diferenciada más probable. Esto apoyaría las teorías de la deriva y eliminaría la peor objeción hacia ellas. Sin embargo, existen inconvenientes en relación con algunos de los puntos de vista de Joly.

Esto se desarrolla hasta el más mínimo detalle; añadimos algunas conclusiones propias, y se discuten las causas de la deriva *relativamente diferenciada*, no solo entre los grandes continentes, sino también la deriva intracontinental más local, su relación con la isostasia, y la deformación continental general que esto debe causar. Si cambiamos los polos de la Tierra, solo se precisa que sea relativa, y no implica necesariamente cambios mayores en la situación del eje de rotación de la Tierra en el espacio, por lo que se elimina otra objeción contra la verosimilitud de la teoría de Köppen–Wegener de los climas geológicos. No hay necesidad de dislocar el eje de la Tierra.

Nuestra posición es la siguiente: estimamos que la teoría de la deriva intercontinental merece una consideración muy seria, y poco a poco hemos llegado a tenerla en cuenta incluso de una forma muy favorable, puesto que ofrece una explicación plausible para diversos problemas que no han sido explicados con anterioridad satisfactoriamente. Los últimos resultados de las ideas e investigaciones geológicas parecen apoyar cada vez más esta teoría, más que oponerse a ella. Estudios recientes llegan incluso a cuestionarse las objeciones más serias. Con este propósito se presenta la teoría para una discusión formal aquí en América, donde, hasta ahora, ha encontrado un apoyo más bien escaso. Somos conscientes de que dicha teoría no es aún un producto acabado o perfecto; lo enfocamos con mentalidad abierta y daremos la bienvenida a cualquier argumento que nos aproxime a la verdad. Ofrecemos nuestras propias ideas y aportaciones con el mismo espíritu.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN:.....	76
Complejidad del problema, muchas teorías más o menos verdaderas. Sabemos muy poco sobre las fuerzas teóricas y las condiciones con las que estamos tratando. El problema debe enfocarse con una mente abierta.....	76
EL PROBLEMA DE LAS PRINCIPALES CADENAS DE LA TIERRA NO EXPLICABLES POR LA TEORÍA DE LA CONTRACCIÓN:.....	77
Se necesita una enorme compresión. ¿Por qué la compresión posterior al Proterozoico está limitada a zonas alrededor de y entre escudos más rígidos? La deriva es la única explicación razonable ofrecida hasta ahora.....	79
CONSTITUCIÓN DEL INTERIOR DE LA TIERRA, MÁS EN CONCRETO DE LA CAPA EXTERNA.....	82

Sial y sima.....	82
Isostasia.....	83
Pruebas sismológicas y anomalías gravimétrica.....	84
Capas de la Tierra.....	86
Diferenciación del manto de silicato.....	87
El fondo oceánico.....	88

ESTADOS FÍSICOS DE LA MATERIA Y ALGUNAS DE SUS

PROPIEDADES DEFINIDAS:.....	92
Gas—líquido—sólido.....	92
Punto crítico, punto de fusión, punto de fusión máxima.....	92
Sólidos amorfos, vidrios.....	93
Rigidez y viscosidad, plasticidad.....	94
Coeficiente de rigidez para varias rocas y capas de la Tierra.....	94

APLICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA MATERIA AL

INTERIOR DE LA TIERRA:.....	97
Substrato de silicato no fluido en la actualidad.....	98
Temperatura en el interior de la Tierra.....	99

LAS DIVERSAS TEORÍAS DE LA DERIVA:.....	102
Hipótesis de Taylor, Wegener, Daly y Joly.....	104
Teoría de Taylor de la deriva hacia el ecuador.....	104
Observaciones sobre la Teoría de Taylor.....	104
La teoría de Wegener de la deriva intercontinental.....	105
Teoría de Daly del deslizamiento continental.....	106
Observaciones sobre la teoría de Daly.....	106
Nuestros propios puntos de vista.....	107
La hipótesis de Joly.....	110
Calor generado por la radiactividad en la Tierra.....	110
Pérdida de calor por conductividad.....	113
Efecto térmico en el interior de la Tierra.....	114
Periodicidad de las “revoluciones” bajo la hipótesis de Joly.....	116

ALGUNOS DE LOS PRINCIPALES HECHOS GEOLÓGICOS EN

FAVOR DE LA DERIVA CONTINENTAL:.....	120
Argumentos estructurales.....	124
Plegamiento andino.....	124

Argumentos climatológicos.....	125
Distribución de la vida. Puentes continentales.....	132
CONSECUENCIAS IMPRESCINDIBLES DE LA DERIVA INTER- E INTRACONTINENTAL DE LA HIPÓTESIS DE JOLY:.....	134
Si es cierta, ofrecería una explicación verosímil.....	135
CONCLUSIÓN.....	141

BIBLIOGRAFÍA MÁS IMPORTANTE

1. A. Wegener, *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, última edición, Braunschweig, 1922. (*Edición inglesa*, traducida por J. G. A. Skerk, *The origin of Continents and Oceans*, Londres, 1924).
2. KöppenWegener, *Die Klimate der geologischen Vorzeit*, Gebrüder Borntraeger, Berlín, 1924.
3. John Joly, *The Surface History of the Earth*, Oxford, 1925.
4. Émile Argand. "La Tectonique de l'Asie", *Intercontinental Geological Congress*, Bruselas, 1922.
5. Reginal A. Daly, *Our Mobile Earth*, Charles Scribner's Sons, Nueva York, 1926.

INTRODUCCIÓN

Antes de comenzar a disertar con esta introducción sobre lo que espero vaya a ser una discusión viva y fructífera del problema general de la deriva continental, quiero hacer unas cuantas declaraciones preliminares.

El problema de la deriva continental ha levantado una polémica importante y enérgica en círculos geológicos. Muchos especialistas, que merecen todo respeto, la defienden; otros están indecisos, pero se inclinan a su favor; incluso otros no la apoyan, y algunos se oponen acaloradamente. Toda esta controversia me recuerda de una forma muy real las discusiones durante mis días de estudiante sobre el problema de los mantos de corrimiento^[2] en los Alpes. Igual que ahora en la discusión de la deriva continental, entonces existía una gran oposición, en la que tomó parte activa nada menos que una eminencia como Albert Heim antes de su conversión a la nueva idea. Su mera posibilidad fue negada entonces con tanta firmeza como lo es ahora la posibilidad de la deriva continental. Los hechos han

probado desde entonces, más allá de cualquier duda, que estos mantos existen, no solo en los Alpes, sino en todo el planeta. Su mecanismo pormenorizado, su “posibilidad”, aún permanece casi tan enigmática como entonces. La posibilidad solo se ha demostrado de hecho, pero no se ha explicado.

Personalmente trato el tema de esta noche con una mente totalmente abierta. Estoy fuertemente impresionado por la concurrencia de hechos relevantes, que apuntan de un modo favorable a la existencia de algún tipo de deriva continental a gran escala, pero también admito muchas dificultades de detalle, y soy completamente consciente de las graves objeciones que habrá que vencer en la *explicación* de cómo podría “lograrse” dicha deriva, y cuáles son las fuerzas que la causaron. Pensando en los Alpes, Émile Argand incluso se niega a explicar la deriva, aunque la defiende acaloradamente. Es posible que esto vaya mucho más lejos; al menos tendríamos que intentar ver si es completamente imposible o no.

Ciertamente no se podrá resolver este problema, ni siquiera discutirlo con minuciosidad, en una sola noche. Pero quiero moderar esta discusión con el propósito, si es posible, de aproximar un poco más los dos campos. No nos perdamos en detalles menores; no los resolveremos durante generaciones. Intentemos ponernos de acuerdo un poco en los principios más importantes. ¿Es posible la deriva hasta un cierto punto apreciable? ¿Existen pruebas de ella? ¿Da una respuesta plausible a muchos problemas que, hasta ahora, nunca han sido explicados adecuadamente? Sería aconsejable que colaborásemos un poco, y no nos negásemos por más tiempo a considerar, incluso, la hipótesis de la deriva intercontinental; si la tenemos en cuenta seriamente como una posibilidad, cooperaremos así mucho mejor en el intento de resolver el problema de la evolución de la faz de la Tierra.

El problema que tenemos que afrontar y los hechos que estamos intentando explicar son tremendamente complejos. Se han avanzado y se han discutido muchas teorías durante las últimas décadas de la historia del pensamiento geológico. Probablemente ninguna lo explica todo, o es aplicable a todo lo que ha sucedido, pero es muy verosímil que exista bastante certeza en muchas de ellas. En parte, cada teoría está sujeta a objeciones, y algunas pueden contener imposibilidades aparentes. En particular, las explicaciones que pueden ser perfectamente válidas para ciertos lugares y determinados caracteres menores, deben rechazarse si se aplican a problemas regionales de otro orden de magnitud. El problema de muchos “teóricos” es que echan a perder su loable esfuerzo cuando intentan explicarlo todo, en cualquier lugar, mediante su propia teoría particular. Esta es la razón por la que debemos tratar estos problemas con una mente abierta.

Otra dificultad reside en que estamos discutiendo sobre muchas cosas de las que conocemos muy poco, y cuanto más indagemos en estos enigmas, más nos daremos cuenta de lo poco que sabemos. Hemos de enfrentarnos con las condiciones de la materia en las profundidades de la Tierra, que ni podemos observarlas directamente, ni reproducirlas en nuestros laboratorios. Las profundidades máximas a las que podemos penetrar bajo la superficie terrestre no son sino simples rasguños en la piel externa del globo. Las condiciones a profundidades de solo unas pocas decenas de km solamente pueden aproximarse por extrapolación y por razonamiento teórico, y, allí donde se ha intentado esto, también observamos una gran divergencia de opinión. Intervienen muchas otras ciencias, en las que los geólogos no están especializados, agobiados por muchos problemas directamente relacionados con sus propios campos de investigación, y necesitan de la asistencia y de la cooperación de otros especialistas, más versados en la físico-química, la geodesia y la astronomía. Esta es otra de las razones de por qué los geólogos han tratado este tema con una mente abierta y sin prejuicios, que se aplica igualmente a los otros especialistas que quizás están menos familiarizados con la geología.

Nosotros, los geólogos del petróleo, deberíamos sentir un vivo interés por esta controversia. Somos conscientes de que la exploración petrolífera se hace cada vez más difícil, y buscamos ahora depósitos de petróleo de los que existen muy pocos indicios en superficie, si es que hay algunos. Con toda seguridad, los días en los que la investigación se basaba simplemente en la estructura han pasado ya para este país, aunque estemos convencidos de que existen muchos yacimientos ocultos que esperan nuestra prospección. A menos que dejemos su descubrimiento en manos del azar, hemos de enfocar el problema de la exploración siempre más desde un punto de vista de la investigación científica dentro de los fundamentos de la geología estructural regional y de la sedimentación resultante. Este es el porqué del problema, en relación con la cuestión, de interés práctico para nosotros, de si ha tenido lugar o no una deriva considerable en la capa externa de la Tierra, y si todavía continúa. Si es cierta, debe haber afectado a la sedimentación y a la deformación de los estratos. La teoría de la deriva se relaciona muy estrechamente con la determinación del clima que debe haber afectado a diversas partes de la Tierra en los períodos geológicos. El clima, los vientos dominantes (los alisios o deriva de los vientos del oeste), y las probables corrientes oceánicas, son los factores que deben haber influido de una forma adecuada en el carácter de los sedimentos y su valor como fuente de yacimientos o reservas de petróleo. Tales consideraciones deberían tenerse en cuenta seriamente cuando se planifican las

exploraciones en territorios más o menos vírgenes. Esto es de particular interés para el estudio de los campos petrolíferos de otros países y de las posibilidades en regiones remotas de nuestro globo, poco conocidas.

PROBLEMAS DE LAS PRINCIPALES CADENAS MONTAÑOSAS DE LA TIERRA NO EXPLICABLES POR LA TEORÍA DE LA CONTRACCIÓN

Numerosos problemas geológicos, tales como la formación de montañas, la distribución de las condiciones climáticas actuales y pasadas, la distribución sobre la Tierra de la vida en evolución, la correlación de las principales estructuras regionales, y la secuencia estratigráfica de los diferentes continentes, requieren una respuesta que hasta la fecha no ofrece teoría alguna, excepto la que acepta una deriva importante en la capa externa.

Generalmente la génesis de las cadenas montañosas^[3] de la Tierra se explicaba en el pasado por la teoría de la contracción^[4], que todavía tiene un gran número de adeptos. Fue en 1829, cuando De Beaumont explicó por primera vez la génesis de los pliegues montañosos por la contracción de la Tierra, y el plegamiento de las rocas por compresión, como si estuvieran entre los dientes de un torno. Esta idea la siguió planteando durante toda su vida. En la actualidad, numerosos geólogos estructurales o geofísicos de reputación internacional todavía defienden de una forma u otra la teoría de la contracción como causa mayor de la orogenia. Solo necesito nombrar a Hans Stille, Rollin T. Chamberlin, William H. Hobbs, e incluso, en cierta medida, John Joly.

Sin embargo, la teoría de la contracción no debería satisfacernos. Esto no solo se aplica a la antigua forma de la teoría, según la cual la contracción está causada por el enfriamiento de la Tierra, sino también a la concepción más moderna de la acreción progresiva en un agregado meteorítico (en concreto, la teoría planetesimal)^[5].

Las dificultades en la teoría de la contracción son numerosas, y parecen insuperables, si se considera como la única explicación, o la más relevante, de la orogenia.

Conforme vamos conociendo la estructura interna de las cadenas montañosas más importantes, se hace todavía más evidente que son el resultado de una *enorme* compresión. Ya en 1908 Heim tuvo que admitir que debía revisarse su relación original de dos a uno para el acortamiento de la corteza en los Alpes, y que se requería cuatro, si no ocho, a uno. Esto significaría que los estratos que están ahora comprimidos dentro del cinturón alpino plegado, con una anchura de

120–150 km, originalmente se habían depositado sobre una zona de 600, quizás 1.200 km de ancho. Si queremos explicar esto por el simple arrugamiento del interior de la Tierra, se necesitaría una compresión de ocho en uno, solo para los Alpes, un acortamiento del radio terrestre de 190 km, ¡y todo eso en el Terciario!^[6] Incluso la teoría planetesimal no lo explicaría *durante el Terciario*. ¿Cómo pudo ocurrir una compresión *repentina* hasta tal punto tan tardía en la historia de la Tierra? Pero los Alpes son solo uno, e incluso no el más grande, de los muchos cinturones montañosos plegados en la corteza terrestre que se formaron durante el Terciario, mientras que durante las orogenias anteriores había continuado el mismo progreso, y evidentemente en un aumento de escala conforme retrocedemos en la historia geológica.

Cuando explicamos la contracción totalmente o en parte por pérdida de calor, ¿estamos seguros de que la Tierra pierde calor? ¿No es más probable que, sin considerar el grado en que esto ocurre, la Tierra también genere calor a través de los procesos radiactivos?^[7] Volveremos a este problema cuando revisemos las ideas de Joly.

Otra gran objeción a la teoría de la contracción, que también se aplica a las ideas que se basan en ella, y en concreto las que forman parte de las teorías de Hobbs y Chamberlin, es la existencia sobre toda la Tierra de regiones que aparentemente son de una mayor rigidez relativa, y parecen afectadas, en poco o en nada, por plegamientos montañosos tardíos. Estos son los escudos continentales, que encontramos como columnas vertebrales de cada continente. Solo alrededor de tales escudos, y en los carriles que los separan, hallamos las orogenias postproterozoicas.

Estos cinturones plegados disminuyen en anchura conforme en el tiempo geológico, los escudos crecen, y los núcleos más pequeños raramente no llegan a cementarse con las orogenias más antiguas dentro de una unidad rígida mayor. Sin embargo, es física y mecánicamente imposible que estos grandes escudos conjuntamente pudieran transmitir las fuerzas de contracción, ni el fondo del océano puede hacer esto globalmente. Sé que Hobbs, Chamberlin, y otros muchos autores defienden esto, pero a mí me parece imposible, y confío que a ellos también si dibujasen sus diagramas a escala real, tanto en dirección vertical como horizontal. La corteza externa de la Tierra aparece entonces como una simple película, cuyos segmentos no tienen la capacidad de transmitir dichas fuerzas *conjuntamente* a sus márgenes externos, sino que se desmenuzarían totalmente ellos mismos. Esto sucedió en realidad en las viejas rocas proterozoicas y arcaicas, pero no se ha vuelto a repetir desde finales del Proterozoico. Estas unidades más rígidas no ejercerían presión sobre su periferia como una cúpula contra sus lin-

deros, porque un arco no se construye de un material que tenga la capacidad para oponer resistencia. A los que quieran profundizar en este problema, quiero remitirlos a los trabajos de Ampferer (1906), Reyer (1907), Rudzki (1911), Andrée (1914), y Koszmat (1921). Ya en 1885, H. Hergesell refutó esta idea, debido a que la isostasia parece ser la prueba última y definitiva de que no es posible mecánicamente la tensión en cúpula de las unidades rígidas contra sus linderos.

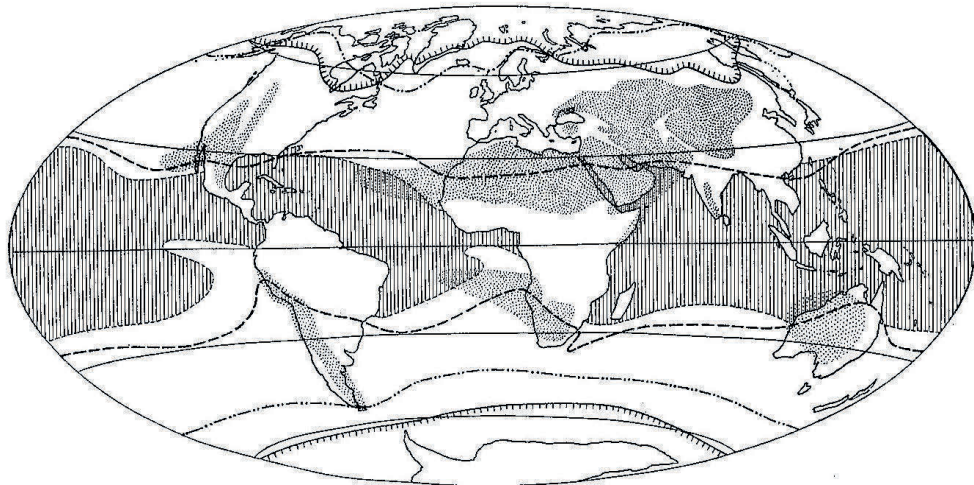


FIG. 1.— Zonas climáticas actuales de la Tierra^[8].

Temperatura media anual, -2° .

Temperatura media del mes más cálido, 10° a nivel del mar.

Temperatura media del mes más frío, 18° a nivel del mar.

Sombreado vertical, temperatura de la superficie del agua en el mes más frío, al menos 22° . Área punteada, regiones áridas, incluyendo las tierras altas áridas. Reproducido de Köppen–Wegener, *Die Klimate der geologischen Vorzeit*, con el permiso de Alfred Wegener y Borntraeger Brothers. Berlín.

Quiring, aunque acepta la pérdida de calor por radiación al espacio, ataca la idea fundamental de que el núcleo de la Tierra se pudiera contraer más que la corteza externa. Tammann arguye que los silicatos no pierden un volumen apreciable en el proceso de solidificación bajo una presión considerable como la que debe existir ya a una profundidad de solo 150 km (40.000 atmósferas). Si esto es correcto, parece ser la respuesta última a la cuestión de por qué sería totalmente insuficiente la pérdida de temperatura para producir el arrugamiento adecuado y la contracción de la corteza externa. Recientemente H. Jeffreys (1925) defiende

que a profundidades por debajo de los 600 km el descenso de la temperatura de la Tierra por conducción hacia el exterior se haría tan pequeño que puede despreciarse.

La contracción por compactación de materia planetesimal también es posible, aunque está contrarrestada por el calor generado. Si la Tierra se originó *exclusivamente* por agregación planetesimal, se habría arrugado de una forma considerable por una compactación más firme, concretamente en las épocas más primitivas de su historia. ¿Pero incluso esto no nos da una explicación adecuada para un *repentino* diastrofismo mundial de primerísima magnitud *aun en el Terciario*?

Las objeciones anteriores en cuanto a la *suficiencia* de la teoría de la contracción no implican que esta no existiese, así como los efectos debidos a la misma. No tengo una teoría concreta, y creo firmemente que los cambios en la faz de la Tierra son debidos a *multitud* de causas, de las que la contracción es una de ellas.

CONSTITUCIÓN DEL INTERIOR DE LA TIERRA, EN ESPECIAL DE LA CAPA EXTERNA.

¿Qué podemos aceptar ahora sobre la constitución de la Tierra, y en concreto para unos pocos cientos de km de la capa externa de esta gran esfera de 6.378 km de radio?

Sial y sima.— Suess defendía la existencia de una capa externa de un material, que denominó “sial” (“sal”)^[9], constituido de silicatos, en los que predominan aluminio, sodio y potasio. El granito y el ortogneis son rocas tipo de este material, o posiblemente mejor aún, la “opdalita” de V.M. Goldschmidt.

Bajo esta corteza de sial yace una capa de un espesor mucho mayor, el “sima”, formada por silicatos, de magnesio y calcio predominantemente, mientras que son raros el aluminio, potasio y sodio. El basalto y el gabro, las llamadas rocas ígneas básicas, son materiales tipo. Joly considera “concluyente” la prueba de que el substrato^[10] de sima sea prácticamente idéntico a las lavas o intrusiones de las mesetas basálticas. Recientemente, V.M. Goldschmidt y Peutti Escola⁷⁴ defendieron la eclogita como el material tipo del sima. Es una mezcla de onfanita y granate, que tiene estabilidad solo bajo altas presiones, pero cambia a anfibolita y filita al disminuir la presión.

La presión de las rocas siálicas es considerablemente más baja que la del material del sima. A bajas presiones, si existen en superficie y cerca de ella, la

⁷⁴ “The Mineral Facies of Rocks”, *Norsk Geol. Tidsskrift*, 1920.

densidad de las rocas siálicas varía de 2,5 a 2,7; las rocas del sima de 2,9 a 3,0 (de acuerdo con Peutti Escola, 3,6).

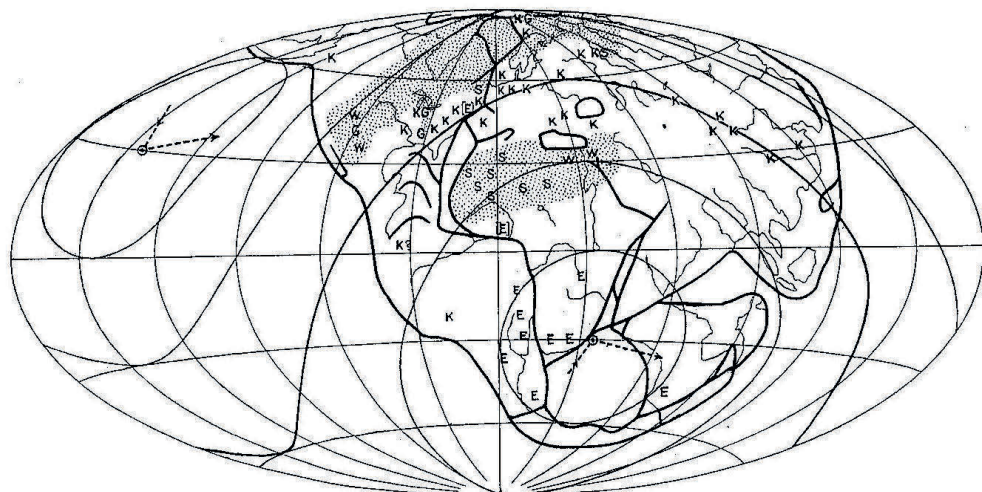


FIG. 2.— Hielo, Depósitos de Carbón^[11] y zonas áridas durante el Carbonífero. E, prueba de hielo; K, carbón; S, sal; G, yeso; W, arenisca de desierto; área punteada, regiones áridas. Reproducido de Köppen–Wegener, *Die Klimate der geologischen Vorzeit*, con permiso de Alfred Wegener y Borntraeger Brothers, Berlín.

La densidad de los silicatos aumenta un poco bajo grandes presiones.

Isostasia.— La menor densidad de las rocas de sial permite considerar que la corteza externa flota en equilibrio hidrostático sobre la capa de sima subyacente de mayor densidad. Este equilibrio es la explicación fundamental del fenómeno de la *isostasia*^[12]. Implica que, para estar en equilibrio, la parte sumergida de un bloque de sial flotante debe ser unas 8,09 veces su parte emergida. En términos náuticos, deberíamos decir que el “calado” de dicha masa flotante sería 8,09 veces su “obra muerta”. En consecuencia, si la erosión de un continente reduce su obra muerta, todo el bloque tendrá que elevarse para restablecer el equilibrio. Si, por el contrario, la superficie llega a cargarse con más material, que deben ser sedimentos, o una posible capa de hielo, el bloque tenderá a hundirse a mayor profundidad. El valor de la atracción gravitatoria de la Tierra sobre dichas masas flotantes, y la desviación de la plomada de su dirección sobre su margen externo, indicará si la masa está o no en equilibrio isostático.

Ya no se discute seriamente la existencia de la isostasia. John Joly considera “probado de manera concluyente y no algo más que una teoría” que las masas continentales, compuestas del sial de Suess, en realidad *flotan* sobre el magma basal del sima de este autor; como hielo en flotación sobre el agua, las masas más ligeras de sial se mantienen en equilibrio por el desplazamiento de una masa igual del substrato básico más pesado. Esto implica que la corteza superior, menos densa, debe ser más gruesa bajo las grandes elevaciones de la superficie, ya sean cadenas montañosas o altiplanicies. Heim fue el primero en señalar con claridad esta necesidad. Yo contemplo aquí la isostasia en el sentido de Airy; existe otro concepto defendido por Pratt y desarrollado mejor por Hayford. Creo que estoy en lo cierto cuando afirmo que los geólogos generalmente están a favor de la explicación de Airy⁷⁵.

Pruebas sismológicas y anomalías gravimétricas.— La sismología ha corroborado el concepto precedente sobre las capas externas de la Tierra.

La mayoría de las especialistas coinciden en que el espesor medio de la corteza externa de sial, excepto para las compensaciones en las grandes elevaciones superficiales, es comparativamente pequeño. En detalle, las opiniones sobre su espesor difieren considerablemente. Muchos sismólogos, en particular B. Gutenberg, aceptan un espesor medio de 60 km para los continentes. Por otros medios, por ejemplo por desviaciones de la plomada, Hayford encontró una profundidad para su “nivel de compensación” (nivel de presión uniforme, que *puede* ser coincidente o no con el límite más bajo del sial continental), de 114 km para los Estados Unidos. Por un método similar, mediante mediciones gravimétricas con el péndulo, Helmert encontró 120 km. Wegener (1924) acepta de 50 a 300 km (este último bajo las montañas, de acuerdo con Hayden); W. Heiskanen (1924) defiende una media de 50 km para los Estados Unidos. Recientemente existe la tendencia a aceptar profundidades más superficiales: Joly (1925), solo 30 km; H. Jeffreys (1924), 15; H.S. Washington (1924), 15–20; y J.W. Evans (1926), unos 40 km. La estimación de la profundidad depende en gran parte de suposiciones

⁷⁵ Sidney Powers llama mi atención sobre las primitivas expresiones de W. Lo[w]thian Green, *Vestiges of the Molten Globe* (1875), en el que se contienen las ideas de sima y sial, aunque los términos solo fueron usados por Suess. Ya en 1857 Green hablaba de “una corteza del globo sólida en colapso por gravedad sobre el interior fluido que se contraía”, y de “segmentos de la corteza terrestre que flotan sobre el núcleo fluido”. Incluso Green hace flotar los continentes y explica cómo dicha flotación levantó las cordilleras en el hemisferio sur y el arco japonés en el norte. “The Causes of the Pyramidal Form of the Outline of the Southern Extremities of the Great Continents and Peninsulas of the Globe”, *Edinburgh New Philosophical Journal*, Vol. 6, n.s., 1857.

variables para las densidades medias de las masas flotantes de sial y del sima sustituido.

El espesor requerido para el equilibrio isostático depende, desde luego, de la densidad media de toda la masa involucrada, que diferirá de la encontrada para especímenes superficiales; la densidad aumenta con la presión y también a causa de cierta cantidad de mezcla más íntima, que ciertamente existe entre el sial y el sima expulsado, concretamente en las porciones basales de los bloques continentales. La densidad también está afectada enormemente por el estado del material, ya sea holocristalino, vítreo o fluido. La materia reacciona de forma diferente a la presión en sus distintos estados. Los componentes gaseosos también afectarán a la densidad de un magma.

La superficie continental media es de 820 m sobre el nivel del mar, la profundidad media del océano es de 3.800 m; en consecuencia, la obra muerta media de las masas continentales que flotan en el sima es de 4,62 km.

Los continentes son muy desiguales en términos de su elevación media: Europa tiene 300 m, Asia 950, Australia 350, Norteamérica 700, Sudamérica 580, la Antártida 2.000 m sobre el nivel del mar. De esto deben resultar diferentes espesores medios de sial para estos continentes. Las elevaciones locales aisladas de la superficie continental, de menores dimensiones laterales, no pueden compensarse individualmente, debido a la rigidez de la corteza de sial, que la soporta elásticamente. La compensación se aplica solo a estructuras de gran extensión regional. El equilibrio más o menos completo se encuentra para las tierras altas que miden cien km o más. Las que miden solamente decenas de km están compensadas solo parcialmente. Incluso los caracteres más pequeños no están compensados del todo. El espesor del sial continental debe ser mayor bajo los enormes macizos montañosos regionales o las altiplanicies. Por ejemplo, la altura media de la Meseta Tibetana es de 4.575 m (15.000 pies) sobre el nivel del mar, o su exceso de altura, sobre la superficie continental media de 0,82 km sobre el nivel del mar, es 3.755 m, que requiere una “compensación” de $8(4,575 - 0,820) = 30,04$ km. Hayden calculó 330 km para los Himalayas.

Así, las mayores elevaciones regionales deben estar más o menos compensadas de una forma perfecta por las grandes raíces de material siálico dentro del sima que las sustenta. La enorme viscosidad de los medios involucrados produce la compensación del desplazamiento del sima que requiere un tiempo muy largo; consecuentemente, el equilibrio se retrasa más. De esto se deriva una compensación mucho más imperfecta bajo la Tierra cuya altitud media ha sido materialmente modificada en época geológica reciente. Está establecido que los Hima-

layas están compensados en un 80 por cien. La elevación de estas montañas hasta su gran altura actual es un suceso comparativamente reciente. A menudo puede ser un rejuvenecimiento reciente de estructuras mucho más antiguas (las Montañas Rocosas se elevaron en el Plioceno). Algunas veces dicho rejuvenecimiento puede estar producido por un equilibrio isostático destruido, otras veces por un amplio retorcimiento estructural de la corteza continental.

Capas de la Tierra.— Puesto que la densidad total de la Tierra es aproximadamente 5,52, es necesario que existan densidades mucho mayores a gran profundidad que en las capas superficiales.

La velocidad, la refracción y la reflexión de las ondas sísmicas de un hipocentro distante nos dan la oportunidad de aproximarnos a este problema. Existen ciertos niveles en las profundidades de la Tierra, llamados “planos de anomalía”, en los que cambia el comportamiento de las ondas sísmicas más o menos de forma brusca.

En la actualidad existe un cierto consenso sobre el siguiente esquema para la constitución del interior de la Tierra⁷⁶:

1. *Corteza externa de sial*: O, Si, Al, K, Na, Mg, Fe.

Densidad: 2,75–2,90.

Espesor: 60 km medio bajo los continentes, ± 20 km bajo el Atlántico, 0 km bajo el Pacífico.

2. *Manto silicatado interno*: parcialmente = *sima*. O, Si, Mg, Fe, Ca; (más raros Al, K, Na). Esta zona continúa hasta una profundidad de 1.200 km.

Densidades: 3,1 a 60 km, aumentando hasta 4,75 a 1.200 km.

3. *Zona “Palasita”*: O, Si, Mg, Fe+Fe metálico y Ni; (Ca, Al, K, Na, ausentes). Esta zona continúa hasta una profundidad de 2.900 km (anomalía principal; anomalías menores a 1.700 y 2.450 km).

Densidades: 4,75–5,0.

4. *Núcleo* (“*Nijē*”): Fe metálico, Ni, etc. por debajo de los 2.900 km hasta el centro (6.378 km).

Densidad: 11,00. (Densidad del Fe en superficie: 7,8).

Diferenciación de silicatos en el manto.— Muchos creen que la capa de sima se hace más básica así como más densa con la profundidad, y se convierte pronto en rocas ultrabásicas, por ejemplo peridotita. J. Joly cree que la sismología indica que el

⁷⁶ G. Linck, 1924; Gutenberg, 1925.

sima normalmente basáltico persiste a 250–300 km bajo la base del sial continental de espesor medio normal. H. Holmes (1925–26) cree que la verdadera capa basáltica es fina, y que la capa ultrabásica de peridotita empieza a los 40 km.

Existe tal coincidencia entre la constitución de los diferentes meteoritos, y los requisitos de la sismología para el material terrestre, que muchos geofísicos creen que los meteoritos son verdaderas muestras del material interno de cuerpos planetarios. No solo encontramos meteoritos que son muy similares a las rocas del sima, sino que también son comparables a lo que debe aceptarse como componentes de la capa inferior de silicatos y la “palasita” (término derivado de los meteoritos), que consisten en una mezcla de silicatos de magnesio y hierro, con níquel–hierro “nativo” metálico, pero carecen de silicatos de calcio, aluminio, sodio y potasio. Incluso, como esto difiere en los meteoritos, se supone que la cantidad de metales nativos en la Tierra aumenta con la profundidad, y por debajo de los 2.900 km tenemos el núcleo terrestre interno puramente metálico, el “Nife” de Suess. A 2.900 km existe el plano de anomalía más importante para las ondas sísmicas. Por debajo de este, la velocidad de las ondas longitudinales parece disminuir repentinamente a los dos tercios, mientras las ondas transversales aparentemente se detienen por completo (como en un fluido)⁷⁷.

V.M. Goldschmidt⁷⁸ da una imagen algo distinta de lo anterior. Sus deducciones se basan en su mayor parte en observaciones metalúrgicas y en lo que ocurre cuando se funden las rocas. Sus zonas son las siguientes:

- (1) *Corteza de sial externa*: densidad 2,8; 120 km.
- (2) *Esfera de eclogita* (silicatos comprimidos) = sima: densidad 3,6–4,0; 120–1.200 km.
- (3) *Esfera de óxido–sulfuro*: densidad 5–6; 1.200–2.900 km (más o menos equivalente a la triolita de los meteoritos).
- (4) *Núcleo de Fe nativo + 6–10% de Ni*: densidad +8–11,5; por debajo de los 2.900 km.

⁷⁷ R.D. Oldham, 1906, también C.G. Knott y S.W. Visser.

⁷⁸ Videnskaps Selskaps Skrifter, 1922 y 1923.

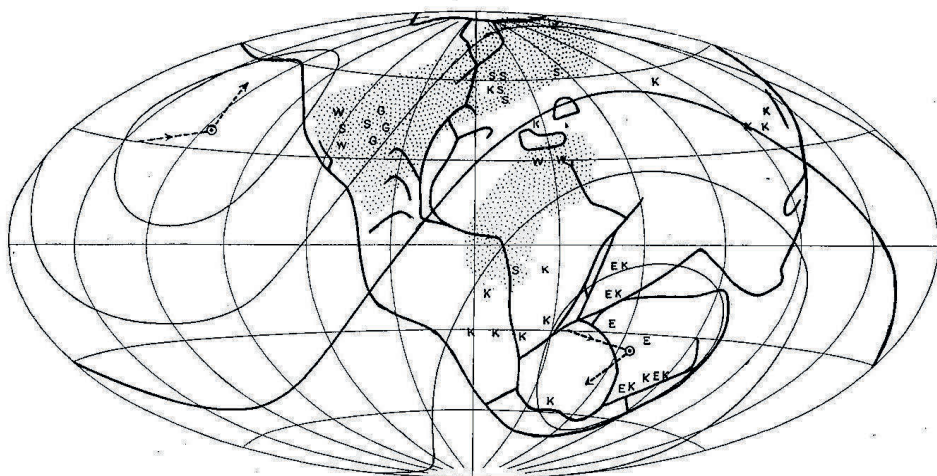


FIG. 3.— Hielo, Depósitos de Carbón y regiones áridas durante el Pérmico. E, prueba de hielo; K, carbón; S, sal; G, yeso; W, arenisca de desierto; área punteada, regiones áridas. Reproducido de Köppen–Wegener, *Die Klimate der geologischen Vorzeit*, con permiso de Alfred Wegener y Borntraeger Brothers, Berlín.

W. Haalck cree que la densidad media para la corteza de sial por encima de los 60 km es 2,70, y que para el sima a 60 kilómetros es 3,1–3,50. Gutenberg calcula una densidad de 4,75–5,00 para el manto inferior de silicatos y la zona de “palasita” sobre el principal plano de anomalía, y 11,00 para el núcleo por debajo de 2.900 km. (La densidad específica del hierro en la superficie es 7,8).

Generalmente se acepta que el material del verdadero fondo oceánico es preponderantemente sima. Esto es válido, en concreto, para los océanos Pacífico e Índico oriental; en otros lugares, como en el Atlántico, es muy probable que exista una capa de sial externa, quizás irregular, más reducida en espesor, sobre la mayoría del fondo. Además, existen masas de material siálico aislado más delgado. Incluso dichos bloques siálicos aislados se dan en varias zonas en el centro de los océanos Pacífico e Índico (donde forman islas que no son meros conos volcánicos).

La veracidad de esto está ante todo demostrada por las ondas sísmicas; de acuerdo con G. Angenheister (1921), las ondas longitudinales (P) muestran una velocidad entre 21–26 por cien mayor bajo los océanos que bajo los continentes; las ondas transversales (S) son un 18 por cien más rápidas. En 1925 B. Gutenberg resumió los resultados de todas las investigaciones previas de la siguiente forma:

En Eurasia, América, las regiones árticas y también en el Atlántico, tenemos una corteza externa superpuesta a un material diferente de mayor rigidez, y menos compresible que la capa externa. En Eurasia y América esta corteza externa tiene un espesor que varía de 55 a 66 km, en el Ártico 50 km, en el Atlántico 20–30 km. En el Pacífico esta corteza externa es muy fina, si existe en todo el océano, y la esfera inferior probablemente constituye la mayoría del fondo. Para el Pacífico la diferenciación entre el material oceánico y continental es más nítida, pero para el Atlántico es de una lenta gradación.

Sin embargo, no todas las conclusiones de Gutenberg por lo general se aceptan. Muchos no creen que el sial continental sea tan grueso: otros dudan de la existencia de una corteza siálica tan grande en los océanos Atlántico y Ártico. No obstante, existe un consenso aparente de que los fondos marinos del Atlántico y del Pacífico son diferentes, de que este último prácticamente es sima desnudo, y de que, en consecuencia, las rocas corticales siálicas más ligeras están ausentes en el Pacífico.

Ya en la última década casi todos los geofísicos coincidieron en que las ondas sísmicas proporcionan una clara prueba de que la corteza continental solo es delgada de forma comparada. A menudo se cita una profundidad de 50–60 km como el máximo al que podemos buscar los materiales que tengan propiedades físicas similares a los de la superficie. Por debajo de esta profundidad todavía existe la elasticidad de cizalla, pero el material cede por completo a tensiones que operan lentamente, que a efectos prácticos debe aceptarse que la corteza externa flota como si estuviera sobre un substrato líquido. Sin embargo, este substrato no es en la actualidad un líquido *móvil*; no obstante, puede concebirse como un “líquido”, cuya fricción interna (viscosidad) puede aceptarse que es suficiente para no ceder por plasticidad a las tensiones de corta duración, como las sacudidas de los terremotos o las mareas diarias. Frente a estos, el material es elástico, y su escasa cesión, demostrada ante los impulsos mareales, es puramente por la elasticidad. Aunque la corteza esencialmente es sólida (holocristalina), no sabemos en qué medida se mantiene esta condición a mayores profundidades. En gran parte es una cuestión de temperatura y de presión, pero incluso a temperaturas por debajo del punto de fusión (a la presión existente), no es preciso que el material sea holocristalino a gran profundidad. R.A. Daly, por ejemplo, cree que el sima está en su mayor parte en un estado elástico–viscoso, y puede compararse con el de un cristal, que en muchos aspectos podría considerarse como un líquido subenfriado más que como un sólido, y piensa además que la corteza externa es holocristalina, incluyendo probablemente las capas superiores del sima. Este material tendría

entonces una mayor elasticidad en cuanto a la forma, que las capas más profundas del sima.

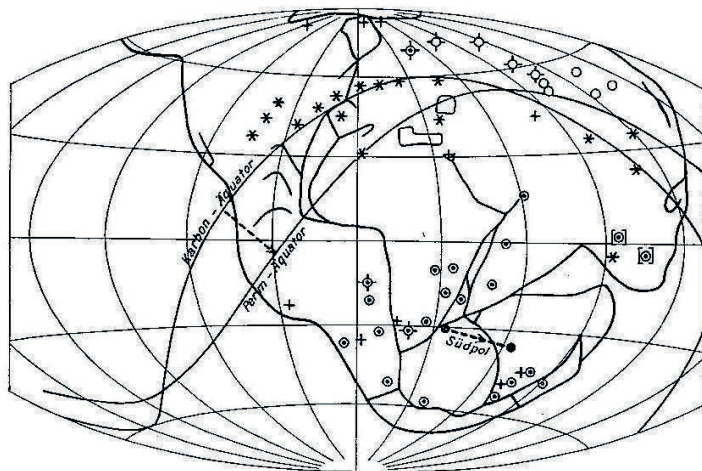


FIG. 4.— Distribución de las floras durante el Carbonífero y el Pérmico. * Flora de *Pecopteris*; + flora de *Lepidodendros*; O flora de *Glossopteris* sin *Glossopteris*; ⊙ flora de *Glossopteris*; ⊗ O flora mixta. Reproducido de Köppen–Wegener, *Die Klimate der geologischen Vorzeit*, con permiso de Alfred Wegener y Borntraeger Brothers, Berlín.

La diferencia entre los continentes y los océanos está mejor definida por la isostasia. El relieve continental está en su mayor parte compensado y en equilibrio. Existen anomalías gravimétricas, pero solo son negativas⁷⁹, si se comparan con las del océano y a lo largo de las costas del Pacífico, concretamente las costas orientales de Asia y Nueva Zelanda, y la costa este de África, y sobre todo, las grandes profundidades del Pacífico, y las pequeñas islas o los picos sumergidos evidentemente solo son conos volcánicos de material básico que descansan en el fondo del océano. El defecto en compensación con los Alpes, en comparación recientes, alcanza un máximo de solo -100 . A. Borro (1923) menciona para el Pacífico cifras del orden de $180+$ a $670+$ para las islas volcánicas, y de -270 para la profundidad de Tonga.

⁷⁹ La densidad del material cercano afecta con intensidad los instrumentos usados para medir la gravedad (tanto como el cuadrado de su distancia). Consecuentemente, las anomalías *negativas* se deben en su mayor parte a tales causas, y toda la masa debe estar en completo equilibrio, sin tener en cuenta las pequeñas anomalías causadas por los instrumentos.

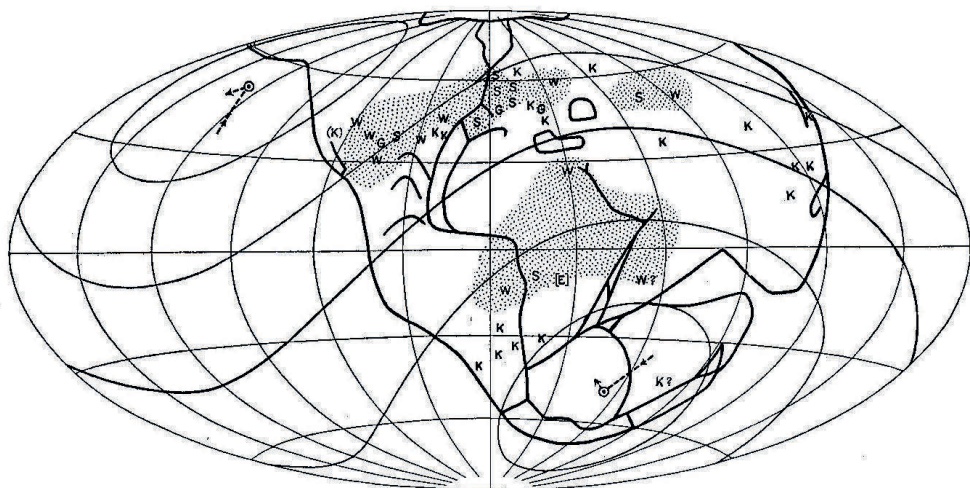


FIG. 5.— Depósitos de Carbón y regiones áridas durante el Triásico. E, prueba de hielo; K, carbón; S, sal; G, yeso; W, arenisca de desierto; área punteada, regiones áridas. Reproducido de Köppen–Wegener, *Die Klimate der geologischen Vorzeit*, con permiso de Alfred Wegener y Borntraeger Brothers, Berlín.

Mi compatriota, Vening Meinesz, está trabajando actualmente en medidas gravimétricas más fiables con el péndulo en el mar, desde un submarino, y es seguro que nos proporcionará un buen número de datos muy interesantes^[13]. Sin embargo, las cifras existentes indican fuertemente que hay poca compensación o ninguna en el fondo del Pacífico. Si esto es así, el relieve suboceánico no puede mantenerse indefinidamente y los caracteres existentes deben ser de origen reciente^[14] (excepto cuando están causados por bloques aislados de sial).

Los continentes, por tanto, difieren del océano en el tema de la isostasia. A pesar de esto, el Océano Atlántico es diferente del Pacífico y toma una posición intermedia; los márgenes del Atlántico están bien compensados; sus anomalías gravimétricas son mucho menores. Solo el abombamiento centroatlántico muestra una seria anomalía positiva (150+) y este debe contener mucho sima descompensado (¿efusiones de basalto?)^[15].

ESTADOS FÍSICOS DE LA MATERIA Y DEFINICIÓN DE ALGUNAS DE SUS PROPIEDADES

Esta discusión se enlaza íntimamente con el intrincado problema de los estados de la materia, fuente de muchos errores de comprensión en conexión con los asuntos tratados aquí. Esta constante confusión obliga a profundizar en este tema con más detalle.

Líquido.— Hablamos de líquido cuando las fuerzas atractivas de una sustancia son algo mayores, y los efectos del movimiento menores, por lo que las moléculas se adhieren unas con otras, *permaneciendo siempre en contacto*, aunque cambian de pareja continuamente.

Sólido.— En el caso de que las fuerzas atractivas predominen completamente, los enlaces entre las moléculas se hacen más numerosos, cada molécula llega a estar ligada a sus vecinas en más de un punto, y están empaquetadas estrechamente y remachadas unas con otras de acuerdo con estructuras espaciales permanentes (cristales): en este caso tenemos un sólido.

La temperatura y la presión afectan a las fuerzas del movimiento; por tanto, manteniendo constante la atracción, determinan si la sustancia está en estado gaseoso, líquido o sólido; en otras palabras, determinan los *puntos de ebullición y de fusión*.

Punto crítico.— Si la presión y la temperatura aumentan, se alcanza un punto donde, para una sustancia dada, no existe diferencia entre el estado gaseoso y el fluido: este es el punto crítico para esa sustancia; su temperatura es la *temperatura crítica*; su presión la *presión crítica*. En este punto no hay diferencia alguna entre un líquido y un gas. A las profundidades con las que tratamos en geofísica, a menudo estamos más allá del punto crítico de las sustancias; en consecuencia, no importa si hablamos de gas o de líquido, ya que no hay diferencia entre ellos. Esto se aplica al agua en las profundidades oceánicas. Su presión crítica se alcanza aproximadamente a los 2.000 m; por tanto, no existe ebullición si más allá de esta profundidad el agua del mar entra en contacto con lava incandescente.

El punto de fusión es independiente del punto crítico, que determina solo los límites entre el estado líquido y el gaseoso. Los sólidos (cristales) existen a temperaturas superiores a la temperatura crítica, si se proporciona la presión suficiente.

Algunos físicos afirman que debería existir un punto de fusión *máximo*; este se alcanzaría a una presión a la que el cambio de volumen del estado sólido al líquido se hace *ceró*. Casi todas las sustancias, con las notables excepciones del agua y el bismuto, aumentan de volumen y disminuyen su densidad cuando se funden.

G. Tammann afirma que los silicatos dejan de expandirse en el proceso de licuefacción bajo presiones próximas a las 40.000 atmósferas. Esto nos llevaría a la conclusión de que a una profundidad de 150 km bajo la superficie terrestre, no habría diferencia intrínseca entre un líquido y un sólido, *a pesar de la rigidez o viscosidad*. Existen serias dudas sobre la veracidad de esto. Los experimentos que se han realizado últimamente parecen indicar que siempre permanece una cierta diferencia entre el estado sólido y el líquido. En todas las condiciones a las que nos podemos aproximar en nuestros laboratorios, parecen indicar una mayor compresibilidad del último. Por lo tanto, podría pensarse que, incluso bajo ciertas condiciones estrictas, las moléculas permanecen compactadas en estructura cristalina, en otras palabras, la roca permanece holocristalina, y no se convierte en amorfa (similar a un vidrio)⁸⁰. Si la simple presión hiciera a una sustancia amorfa, su aumento de la densidad por efecto de la presión seguiría las leyes para los líquidos, que son más condensables por presión que los sólidos. Desde luego desconocemos si todo esto es cierto indefinidamente; sin embargo, da la impresión de que los estados sólido y líquido pudieran estar cada vez más estrechamente próximos a presiones muy altas, pero no se confundirían del todo. Esto está más allá de lo experimentalmente⁸¹ posible.

Los sólidos amorfos (vidrios) no tienen curvas de punto de fusión. Al aumentar la temperatura solo se reduce su viscosidad (fricción interior). Bajo esta consideración, un vidrio a temperatura y presión ambiente no debe considerarse como un sólido, sino como un líquido subenfriado de viscosidad muy alta. El criterio real, si en verdad tiene lugar algún grado de “fusión” en una sustancia, es la manifestación del calor latente en ciertos puntos. El reciente trabajo en la Bureau of Standards parece indicar que en parte existen pequeñas anomalías para ciertos vidrios que apuntan al calor latente, pero son de un orden de magnitud muy diferente del que se requeriría para un cambio de estado de sólido a líquido, y no son de importancia práctica para nuestro propósito.

La rigidez (forma-elasticidad) es una propiedad de la materia en estado sólido. Es la resistencia de una sustancia sólida contra la deformación. Podríamos también definirla como la resistencia instantánea elástica del material contra la deformación. Existe una gradación de la misma y solo por encima de ciertos límites

⁸⁰ Comunicación oral del Dr. L.A. Adams.

⁸¹ Existe bastante discrepancia al considerar la tasa a la que se eleva el punto de fusión de los silicatos como consecuencia de la presión en profundidad. H. Jeffreys (1925) afirma 3°C por unidad de presión equivalente a 1 km de profundidad. J. Vogt (1914) defiende solo 1,45°C; W. Trabert (1911), como mucho, 8,7°C.

de temperatura y presión. Puede ser muy pequeña en algunos sólidos (por ejemplo, la cera de abeja).

La *viscosidad* de los fluidos está relacionada con la rigidez de los sólidos: es la resistencia similar a la deformación por la fricción interior. También existe una gradación de ella y está influida por la temperatura y la presión.

La *plasticidad* es algo diferente. Un cuerpo plástico mantiene su forma modificada, mientras un cuerpo que no lo es retorna a su forma original cuando cesa la tensión. Un cuerpo típicamente plástico, aunque no perceptiblemente rígido, es el caucho⁸².

La mayoría de los sólidos se vuelven plásticos si se excede de un cierto máximo de tensión para ciertas temperaturas. Este punto es el máximo de elasticidad. Si lo deformamos por encima de este punto, no retornan a su forma anterior; en consecuencia, eran plásticos por debajo de ese exceso de tensión.

Resistencia.— Para ilustrar esto, supongamos un cuerpo que está fluido en el sentido físico pero que tiene una alta fricción interior, es decir, una alta viscosidad; dicho cuerpo resistirá grandes tensiones de *corta* duración elásticamente, teniendo la *aparencia* de un sólido rígido, pero cederá incluso ante pequeñas tensiones de *larga* duración. El lacre y el betún son buenos ejemplos de esto. Ante grandes presiones de corta duración, por ejemplo el golpe de un martillo, actúan como un sólido rígido y se dispersan en astillas, pero incluso su propio peso es suficiente para que una pequeña masa de esta composición fluya y cambie de forma permanentemente después de un período de tiempo apreciable. La *habilidad para mantener la forma permanente ante largas presiones se llama “resistencia”*. Así, la “resistencia” del lacre y del betún a temperatura ambiente es casi *nula*, mientras que para la misma temperatura la “resistencia” de la cera de abeja, mucho más suave, es bastante más elevada; las figuras modeladas a partir de cera de abeja han resistido experimentalmente durante muchos siglos sin cambio alguno de forma, debido a la fluencia bajo su propio peso. Una figura similar modelada en betún no resistirá más de unos pocos meses, aunque el betún tiene una aparente rigidez (en realidad viscosidad) mucho mayor.

⁸² El caucho es una sustancia curiosa. ¿Es un sólido como podríamos esperar de su gran viscosidad? El profesor G.L. Clark dice que sí. Este cita que el Dr. E. Hauser (Frankfurt) ha visto en realidad, con su asistencia, un modelo de cristal producido por rayos X sobre una pantalla luminosa. (*Science News*, 22 de octubre de 1922). El Dr. P. Katz establece que tanto el estado cristalino como el amorfo se dan en el caucho y lo más curioso es que, cuando el caucho se estira, el espectrógrafo de rayos X muestra que se comporta como si fuera cristalino, pero retorna al estado amorfo cuando se colapsa. (*Science News*, 5 de noviembre de 1926).

Como aplicación de esto, si colocamos un pastel de cera de abeja en lo alto de una capa de betún, más denso y mucho más rígido, quedará compensado isostáticamente. El betún tiene mucha mayor rigidez que la cera de abeja, incluso esta última *con el tiempo* se hundirá en el betún *lo suficiente* como para flotar hidrostáticamente. Eso es lo que ocurre exactamente entre el sial y el sima, mucho más denso y más rígido. La cera y el sial tienen mayor “resistencia” que el betún y el sima, respectivamente. Las observaciones prueban esto para la cera y el betún, pero la isostasia demuestra que debe existir la misma relación entre el sial y el sima.

La rigidez se mide por el *coeficiente de rigidez*, (o de elasticidad): μ

$$\mu = T = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{D}{\phi} \cdot \frac{l}{r^4} \times 10^{11} \text{ dinas/cm}^2$$

donde

T = coeficiente de torsión en un alambre

D = momento de torsión

ϕ = ángulo de torsión

l = longitud del alambre

r = radio del alambre

Esto último también demuestra que la rigidez es una propiedad de la materia totalmente relativa. Un cuerpo perfectamente rígido *nunca* puede cambiar de forma. Si comparamos el coeficiente de rigidez μ de diferentes rocas con el hierro y el acero, obtenemos las siguientes cifras en dinas/cm² (multiplicadas por 10¹¹):

Hierro a temperatura ambiente	5,1 (Gutenberg)	
Acero a temperatura ambiente	8,0 (Gutenberg)	
Granito a temperatura ambiente	1,9–2,4 (Adams & Croker)	
Cuarzo a temperatura ambiente	2,5–3,0 (Gutenberg)	
Corteza de <i>siak</i> en superficie, promedio	2,8 (Gutenberg)	}
Corteza de <i>siak</i> a 20 km profundidad	3,1 (Gutenberg)	
Corteza de <i>siak</i> a 50 km profundidad	3,4 (Gutenberg)	
<i>Sima</i> (Pacífico) en superficie	4,05 (Gutenberg)	
<i>Sima</i> (diabasa de Sudbury)	3,7 (Adams & Coker)	
<i>Sima</i> (gabro de Nueva Glasgow)	4,4 (Adams & Coker)	
<i>Sima</i> a 20 km bajo la superficie	5,0 (Gutenberg)	
<i>Sima</i> a 50 km bajo la superficie	6,0 (Gutenberg)	
<i>Sima</i> a 80 km bajo la superficie	6,2 (Gutenberg)	
<i>Manto de silicato</i> entre 60–1.200 km	20,0–23,0 (Gutenberg)	
<i>Palasita</i> de 1.200–2.900 km	25,0–26,0 (Gutenberg)	
¿ <i>Núcleo</i> ? posiblemente muy pequeño, si en realidad las ondas transversales se detienen		
Promedio de toda la Tierra	18,0	

*Deducción a partir de las ondas sísmicas.

La presión y la temperatura influyen claramente en las propiedades de la materia que hemos definido aquí.

Si la *temperatura* aumenta, permaneciendo la presión constante, la plasticidad aumenta y la rigidez generalmente disminuye, pero más lentamente.

Si la *presión* aumenta, la plasticidad disminuye.

Para muchas sustancias, concretamente para los silicatos, la plasticidad se hace muy grande solo antes de que se pierda el estado sólido (estructura cristalina). A grandes presiones, la fricción interior (viscosidad) en el estado líquido puede hacerse tan grande como la rigidez en el estado cristalino. No existiría, pues, *en apariencia*, diferencia entre sólido y líquido.

APLICACIÓN DE ESTAS PROPIEDADES DE LA MATERIA AL INTERIOR DE LA TIERRA

Si queremos llegar a un entendimiento en la discusión que sigue sobre la posibilidad física de la deriva continental, hemos de tener muy presentes las definiciones anteriores, porque estos términos se usarán continuamente. La experiencia muestra que estas propiedades de la materia se confunden frecuentemente; en consecuencia, la gente discute sin entenderse, sin comprender lo que la otra parte dice realmente al respecto.

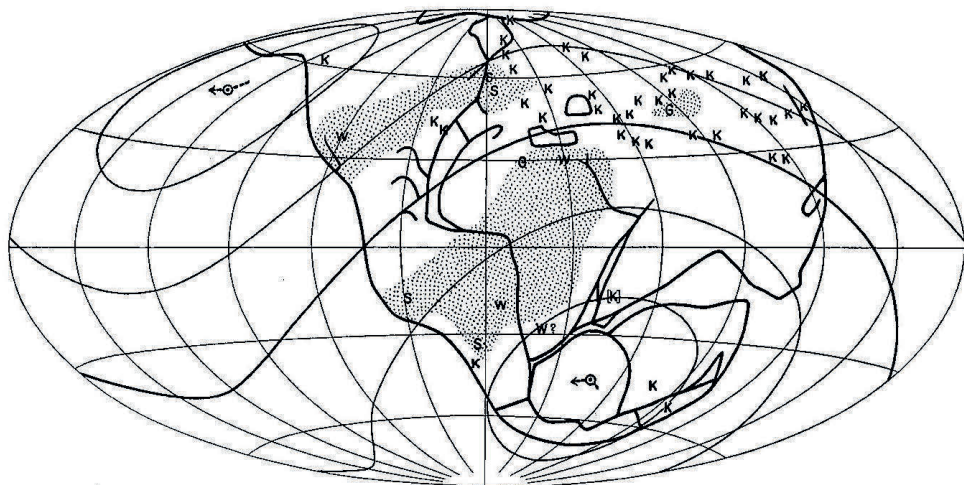


FIG. 6.— Depósitos de Carbón y regiones áridas durante el Jurásico. K, carbón; S, sal; G, yeso; W, arenisca de desierto; área punteada, regiones áridas. Reproducido de Köppen-Wegener, *Die Klimate der geologischen Vorzeit*, con permiso de Alfred Wegener y Borntraeger Brothers, Berlín.

Una conclusión de particular importancia es que un fluido, bajo altas presiones, o si es subenfriado muy por debajo del punto de fusión, puede parecer extremadamente viscoso y en apariencia bastante rígido, y pese a todo ceder a tensiones muy pequeñas, con tal que se dé el *tiempo* suficiente. Así, un corcho, situado en el fondo de un recipiente, relleno con betún a temperatura ambiente, flotará gradualmente hasta la superficie, a través del betún aparentemente “rígido”, por la débil fuerza de su propia flotabilidad. Al mismo tiempo, podemos construir un diapasón de betún, que punteará bastante, pero no podremos conservarlo (R.A. Daly).

Los sólidos presionados más allá de su límite de elasticidad fluyen, pero conservan su estado sólido a lo largo de planos de cizalla proporcionados por su estructura cristalina. En la práctica actúan como un líquido viscoso. La isostasia prueba sin lugar a dudas que algo de esta naturaleza tiene lugar en el substrato del sima, incluso si lo consideramos como un sólido físicamente, es decir, holocristalino. La isostasia no significa otra cosa que las fuerzas molares predominantes sobre la atracción molecular (Loukaschewitsch, 1910). El sima se comporta *como* el lacre o el betún, aunque es 10.000 veces más viscoso que el lacre a temperatura ambiente: esto solo significa que necesita 10.000 veces más tiempo para su deformación, con tal que, *si el sima está en el verdadero estado sólido*, sufra una tensión más allá de su límite de elasticidad.

En toda esta cuestión nos movemos todavía con mucha incertidumbre, y sabemos muy poco.

No poseemos información precisa en cuanto a las propiedades físicas de los magmas, y todavía menos en relación a las variaciones de estas propiedades bajo cambios extremos de temperatura y presión. Mientras tanto, muchos de los problemas que se presentan por sí solos en la investigación geofísica no pueden resolverse con una mínima aproximación a la realidad⁸³.

Tenemos que ser cuidadosos al sacar conclusiones definitivas a partir de nuestro conocimiento muy limitado de estas cuestiones, y decidir definitivamente sobre las bases físicas a favor o en contra de ciertas hipótesis de la deformación de la Tierra, especialmente si otros hechos geológicos, como la isostasia, apuntan hacia una explicación tan plausible.

El substrato no es un fluido en la actualidad.- Tenemos razones muy poderosas para creer que el substrato isostático no puede estar fluido en esta época, a no ser con una viscosidad extremadamente alta. Una capa de fluido móvil de baja viscosidad, bajo una corteza externa sólida, tendría el efecto casi de obliterar las mareas oceánicas observadas. La fuerte onda mareal, levantada inevitablemente en la capa del fluido móvil por todo el planeta, o al menos en una gran extensión, arrastraría toda la corteza externa levantándola y hundiéndola, y los movimientos verticales del agua del mar con relación a la Tierra serían muy pequeños y existirían simplemente como un efecto residual. Nuestras mareas oceánicas actuales son de una magnitud que excluye un substrato fluido de este tipo.

Aunque rígido en un grado apreciable, el substrato también es plástico e incluso cede muy lentamente a las fuerzas deformantes. *De lo contrario, no se daría el*

⁸³ J.W. Evans, Londres, 1926.

ajuste isostático. Es un hecho el que este ajuste continúa todavía (existen regiones que se están levantando y otras hundiendo). La deformación mareal de la corteza de la Tierra existe incluso en pequeño grado; no obstante, esta no es plástica sino elástica.

Las ondas sísmicas transversales, que alcanzan nuestros instrumentos, no pueden haberse transmitido en un medio líquido. Estas prueban que han penetrado a una profundidad de más de 100 km; la mayoría probablemente atraviesan todo el interior de la Tierra, posiblemente con la única excepción del núcleo, por debajo de los 2.900 km. Deben haberse separado de las ondas primarias en un medio homogéneo, *comportándose como un sólido elástico*. Se considera que muchos terremotos se han originado a profundidades de más de 100 km, pero menos de 200.

¿Está el sima en estado holocristalino o vítreo en profundidad?.— Esto, como ya hemos observado, no se sabe con certeza. El hecho de que elásticamente resista fuerzas de *corta* duración como las sacudidas de los terremotos y las mareas diarias, no es una prueba. Daly cree que la mayor parte del sima es vítreo; Vogy piensa que el sima no puede ser holocristalino por debajo de los 40 km; para Jeffreys, el sima es cristalino hasta los 600 km.

Esto depende en parte del gradiente térmico, y en parte de la circunscripción del sima y de la presencia de gases, concretamente de vapor de agua, incluso en cantidades muy pequeñas.

La temperatura en el interior de la Tierra.— Las temperaturas a una profundidad importante bajo la superficie son todavía un gran enigma. El consenso de opinión parece ser que no es admisible la mera extrapolación de los gradientes de temperatura superficial. La extrapolación lineal nos daría 2.500°C para 100 km, ¡y 190.000° en el núcleo!

Gutenberg (1925) cree que la temperatura aumenta mucho más lentamente a gran profundidad que cerca de la superficie, y que posiblemente pronto se estabiliza, por lo que piensa que sería menos de 8.000° en el núcleo, y es posible que solo unos 2.000°. Esto se basa en la suposición de que el calor generado por la radioactividad no desequilibra la pérdida de calor por conductividad y radiación al espacio.

R.A. Daly, por el contrario, cree que la extrapolación de los gradientes superficiales es posible, al menos hasta una profundidad de 40 km. El trabajo de Van Orstrand indica que el gradiente de temperatura se acelera, aparentemente por todo el planeta, a profundidades por debajo de los 800 pies. Con toda probabilidad la curva retorna a un gradiente normal aún más bajo y la aceleración dis-

minuye o se desvanece. La causa puede ser el reconocido descenso de la conductividad de los minerales de las rocas con el aumento de temperatura, que descendería la difusividad de la corteza. Si aplicásemos la extrapolación lineal a una profundidad de 40 km, significaría que para Europa occidental, donde el gradiente es de 1°C cada 32 m, el sima no sería holocristalino a esa profundidad. Para Norteamérica, donde el gradiente es algo más grande (1°C cada 42 m) la profundidad de fusión estaría ligeramente más abajo. Daly cree que a 100 km la temperatura estaría entre 1.575° y 1.950°C.

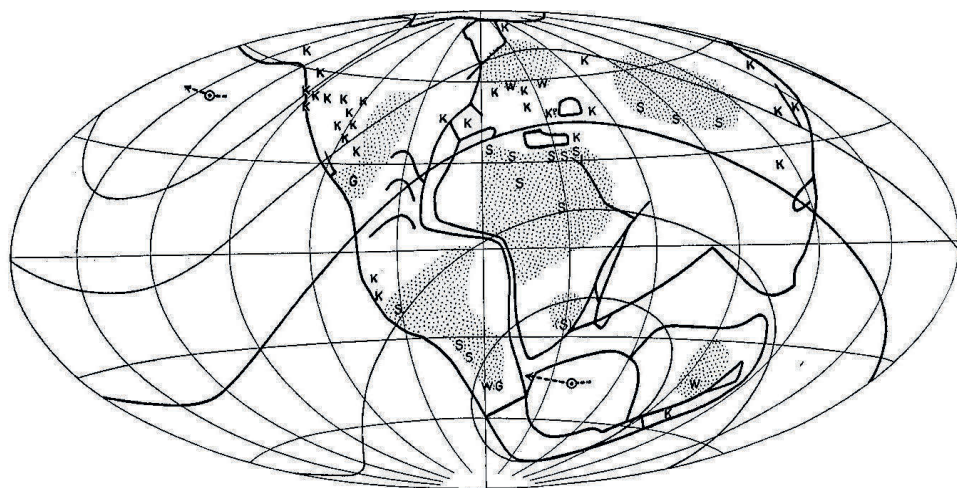


FIG. 7.— Depósitos de Carbón y regiones áridas durante el Cretácico. K, carbón; S, sal; G, yeso, W, arenisca de desierto; área punteada, regiones áridas. Reproducido de Köppen–Wegener, *Die Klimate der Geologischen Vorzeit*, con permiso de Alfred Wegener y Borntraeger Brothers, Berlín.

Debo admitir que encuentro esto difícil de creer, porque en este caso incluso las compensaciones del sial estarían fundidas, y no soportarían las elevaciones más altas de la superficie actual del globo. Además, considerando en particular lo que sigue, a dichas temperaturas la viscosidad del vidrio de sima debería haberse hecho tan baja, que podría esperarse respondiese mejor a las mareas diarias y transmitiese las ondas sísmicas de una forma diferente a la que observamos.

Además, parecen improbables temperaturas muy altas en el substrato, a partir de la siguiente consideración: la temperatura del magma de sima no necesita ser muy alta para hacer que pierda su estado holocristalino, e incluso para proporcio-

narle una viscosidad comparativamente baja, si tenemos presente que, con toda probabilidad, los silicatos están mezclados con grandes cantidades de gases, y la mayoría probablemente con vapor de agua. Los vidrios magmáticos (obsidiana) del Krakatoa, cuando se calientan a solo 880°, liberan violentamente una cantidad tan grande de gases ocluidos, que se transforman totalmente en una masa voluminosa de piedra pómez. Todas las erupciones volcánicas están acompañadas de grandes cantidades de gases, generalmente con abundante vapor de agua. Incluso cantidades muy pequeñas de agua bastarían para descender de una forma muy considerable el punto de fusión de los silicatos bajo el efecto de la presión: si solo estuviera presente el 0,1 por cien de agua, los silicatos fundirían a 800° en lugar de a 1.150–1.400°. De forma similar, pequeñas cantidades de agua tienen aparentemente un gran efecto sobre la viscosidad del fundido. Se ha encontrado que solo trazas de agua bastan para descender la viscosidad suficientemente para permitir que un fundido de silicatos cristalice, en lugar de enfriarlo como un vidrio, siempre que transcurra un tiempo moderado para el proceso⁸⁴.

Sé que algunos vulcanólogos niegan la presencia de vapor de agua en los gases de las erupciones. Esto puede ocurrir en algunos casos raros, pero ciertamente se ha demostrado que por lo general está presente, incluso en cantidades tan grandes como el 90 por cien. El agua es una sustancia distribuida de una forma tan general, que parecería natural debiera estar presente siempre al menos en trazas, y, como se dijo antes, bastan pequeñas cantidades. Si el volumen es mayor, el punto de fusión está mucho más abajo, incluso para los granitos. Cloos afirma que en Sudáfrica, las isotermas de fusión para el granito local a veces pueden alcanzarse casi en superficie. Las lavas del Kilauea, que han perdido ya numerosos gases, permanecen fluidas a 750°C, y originalmente deberían haber tenido un punto de fusión todavía más bajo.

La opinión general de los geólogos y los geofísicos, que han considerado estos temas, parece ser que, en la base de la corteza de sial, la temperatura está cerca, aunque no lo suficiente, del punto de fusión del basalto, que para la roca seca, desprovista de gases, es de unos 1.150 °C. El punto de fusión se eleva solo lentamente con la presión. De acuerdo con Vogt, el punto de fusión para las rocas del sima seco no excedería de 1.200° a una presión equivalente a 40 ó 50 km. Por lo tanto, en este caso, el sima no necesita ser vítreo, sino que debe ser holocristalino bajo las condiciones actuales, pero en cualquier caso, conocemos su gran rigidez, y también conocemos experimentalmente que la rigidez de los vidrios basálticos aumenta muy rápidamente con la presión. De acuerdo con

⁸⁴ Comunicación oral del Dr. L.A. Adams.

Schweydar, las velocidades de las ondas sísmicas apuntan hacia una viscosidad de 10^{12} – 10^{14} , bajo la corteza a una profundidad de 600 km. A una profundidad de 100 km, el material tendría ya la misma rigidez que el acero y el níquel en la superficie, pero esto no excluye el hecho de que debería ser un “líquido” con la misma viscosidad que tendría el vidrio bajo la presión dominante. Bajo una fuerte compresión, el vidrio rocoso aumentaría su rigidez más rápidamente que el granito o la diabasa en el estado holocristalino, siempre que la temperatura (*que actúa con mayor rapidez en el sentido opuesto*) no lo impida.

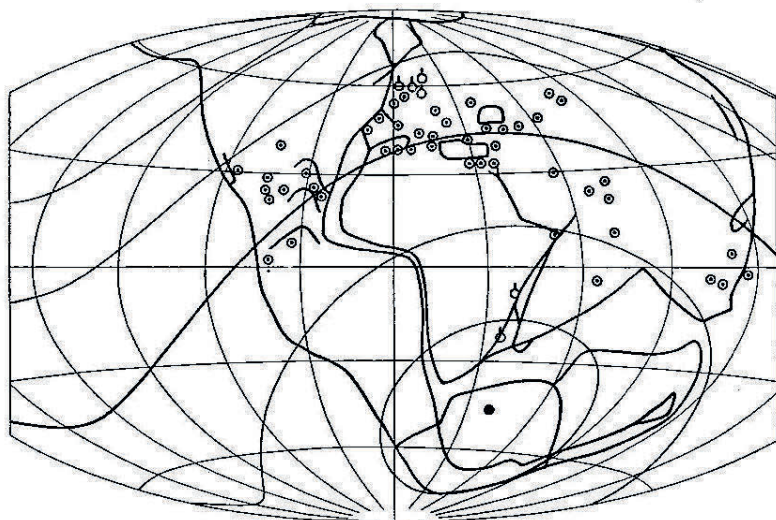


FIG. 8.— Distribución de los *Rudistae* durante el Cretácico (según Dacqué). ● Tropicales; ○ formas degeneradas. Reproducido de Köppen–Wegener, *Die Klimate der geologischen Vorzeit*, con permiso de Alfred Wegener y Borntraeger Brothers, Berlín.

LAS TEORÍAS DE LA DERIVA: HIPÓTESIS DE TAYLOR, WEGENER, DALY Y JOLY

Podemos proceder ahora a resumir brevemente las principales teorías de la deriva.

La consideración más importante es que si los bloques de la corteza siálica pueden desplazarse verticalmente, como se requiere para el ajuste isostático, y si en consecuencia el sima subyacente puede moverse en la horizontal, también de-

bemos aceptar la teoría de que el sial, por sí mismo, puede desplazarse horizontalmente.

*La prioridad para esta idea debería concederse a F.B. Taylor, que fue el primero en defender específicamente la deriva real en 1910. Alfred Wegener mencionó por primera vez su propia teoría en una conferencia en Frankfurt en 1912. R.A. Daly publicó inicialmente su teoría de los continentes deslizantes en el *American Journal of Science* en 1923.*

John Joly también defiende una deriva periódica hacia el oeste en toda la corteza externa de la Tierra, tanto de sial continental como en la corteza suboceánica de sima, sobre el manto interior de silicato, pero parece que Joly no se muestra favorable hacia un cambio relativo de la posición de los continentes. Sus ideas fueron pronunciadas por primera vez en una conferencia ante la Geological Society de Londres en 1923.

Otros autores han expresado con anterioridad ideas relacionadas con la deriva^[16], concretamente con una flotación de toda la corteza terrestre. Menciono, en particular, a C. von Colberg, Múnich, 1886; H. Wettstein, Zúrich, 1880; W. Lowthian Green, Edimburgo, 1875, 1857⁸⁵; J. Evans, Londres, 1866.

Taylor aboga por una deriva de los continentes desde los polos hacia el ecuador, específicamente en el Terciario. Wegener defiende una deriva desde los polos y también una deriva hacia el oeste. Ambos autores están de acuerdo en que los continentes se han desplazado a lo largo de distancias muy superiores a las 1.000 millas. Debería mencionarse también que ya en 1902 D. Kreichgauer expresó ciertas ideas en las que se relacionaba una deriva desde los polos hacia el ecuador.

Además de una deriva ecuatorial y meridiana, Wegener defiende un cambio importante en la situación geográfica de los polos^[17], *en relación al continente africano*, que se supone fijo sobre el globo. Sin embargo, esto es una mera suposición. No tenemos medios de conocer la dirección y extensión de la deriva absoluta respecto a las coordenadas del planeta. Solo podemos determinar las cantidades relativas. Algunas veces la deriva absoluta puede llegar a conocerse por determinaciones más precisas de la latitud, y concretamente de la longitud sobre un intervalo de tiempo lo suficientemente largo. Aunque Wegener realiza enormes esfuerzos en el intento de probar que el cambio del eje de rotación terrestre en el espacio es físicamente posible, nunca debemos olvidar que esto no es del todo ne-

⁸⁵ *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Vol. 6, n.s. 1857 (compárese con la nota 75 de pie de página, p. 84).

cesario. Creo que Wegener se confundió considerablemente respecto de este tema. Basta con permitir que el continente africano derive en dirección contraria, y la posición del eje terrestre en el espacio permanezca donde estaba.

TEORÍA DE TAYLOR: DERIVA HACIA EL ECUADOR

Taylor insiste en concreto sobre el hecho, discutido con anterioridad, de que los movimientos corticales del Terciario no pueden explicarse adecuadamente por la presión ejercida fuera del océano, y los interpreta mediante la presión desarrollada por las masas continentales sobre la corteza externa, en su deriva desde los polos sobre el manto de silicatos. Las grandes masas terrestres del hemisferio norte presionaron hacia el sur con mucha más energía que las áreas terrestres meridionales, mucho menores, en dirección norte.

Taylor utiliza exclusivamente las mareas como causa de la deriva. Admite que, en la actualidad, con la Luna a una distancia media de 240.000 millas, el impulso mareal es muy pequeño: solo 0,000.001 de la gravedad. Sin embargo, supone que la Luna fue capturada^[18] por la Tierra como satélite hacia finales del Cretácico. Su excentricidad (ahora 0,055) habría sido entonces mucho mayor. Puesto que la fuerza mareal varía inversamente al cubo de la distancia, esta fuerza podría aumentar hasta 0,001 de la gravedad, si el perigeo de la Luna fue en ese tiempo solo de 24.000 millas.

En su supuesto de que las mareas lunares daten solo desde el Cretácico, las montañas preterciarias no se habrían podido originar por la marea lunar, sino exclusivamente por una marea solar. Taylor también supone que esta última fue mucho más fuerte en el pasado que en la actualidad, con una posición de la Tierra, pues, más cercana al sol.

Observaciones sobre la teoría de Taylor.— En cuanto a esta teoría, debería observarse que, en mi opinión, Taylor tiene razón perfectamente en la defensa de que existen indicios de una deriva hacia el ecuador (en esa época) en las montañas del Terciario, así como en las del Permo—Carbonífero. Sin embargo, creo que hay una seria objeción a la explicación ofrecida: el supuesto de que la Luna hubiera debido llegar a estar asociada con la Tierra solo a partir de una época tan reciente como el Cretácico, y que la excentricidad de la órbita lunar podría así haber cambiado materialmente desde esa fecha, en comparación no muy lejana, especialmente si hablamos en términos cosmogónicos. Tengo una objeción todavía mayor para el supuesto de que la distancia de la Tierra al Sol se pudiera haber modificado tanto desde finales del Paleozoico. Esta última idea tampoco parece acorde con lo que

sabemos sobre el clima de la Tierra anterior al Cretácico. Entraré en esto un poco más adelante, pero quiero solo puntualizar que las condiciones climáticas claramente glaciales de parte de la Tierra durante el Permo–Carbonífero, así como antes de ese período (¡Huroniano!), serían poco compatibles con una distancia de la Tierra al Sol bastante más pequeña, y con el incremento mucho mayor del calor resultante.

TEORÍA DE WEGENER DE LA DERIVA INTERCONTINENTAL⁸⁶

Wegener admite la deriva tanto desde los polos como en dirección oeste. Además acepta, como dijimos, el cambio *geográfico* en la situación de los polos, que en absoluto implica necesariamente un cambio del eje de rotación de la Tierra en el espacio. No obstante, su punto principal es que en el Paleozoico, los continentes actuales estuvieron todos agrupados en una gran masa original, “Pangea”^[19], rodeada por el primitivo Océano Pacífico. Gradualmente, durante el Mesozoico y el Terciario, la Pangea original se fracturó y sus fragmentos se separaron a la deriva, creándose así en el proceso los océanos Atlántico, Ártico e Índico occidental, con lo que se redujo considerablemente el área ocupada por el Pacífico ancestral. Como causa para esta deriva también acepta las mareas.

Admite que la fuerza que retarda la rotación ejercida sobre la corteza externa de la Tierra por las mareas oceánicas, es muy pequeña, apenas más de 0,000.008 de la gravedad. Además, para una fuerza mareal que provoque la deriva de los continentes hacia el ecuador, Wegener supone una fuerza centrífuga resultante de la diferencia de altitud de los centros de gravedad de los bloques siálicos flotantes y la masa reemplazada de sima. Además de la fuerza mareal, explica su deriva hacia el oeste por un impulso precesional en esa dirección, calculado por Schweydar, y causado por la precesión del eje de rotación de importantes masas continentales sobre el eje de rotación de toda la masa de la Tierra. Estos ejes se desvían ligeramente. Esto establece una fuerza retardante considerablemente mayor que la causada por las mareas del océano, que alcanzan un máximo en el ecuador y cesan a latitudes de 36° N y S. Schweydar mencionó estas opiniones personales brevemente en Berlín en 1921. Prometió entonces una discusión matemática más detallada que, según mis conocimientos, no ha sido publicada todavía.

⁸⁶ La última obra de Wegener, *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, fue publicada en Braunschweig en 1922. En 1924 se editó en Londres una versión inglesa de J.G.A. Skerl: *The Origin of Continents and Oceans*.

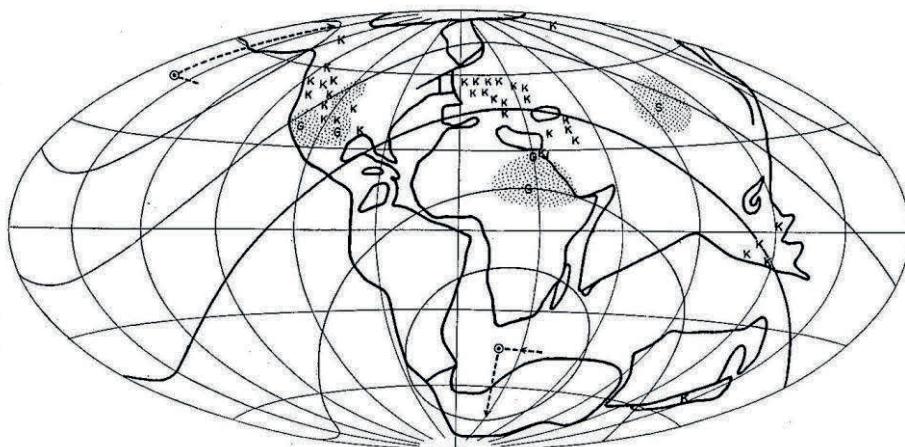


FIG. 9.— Depósitos de Carbón y regiones áridas durante el Eoceno. K, carbón; S, sal; G, yeso; área punteada, regiones áridas. Reproducido de Köppen-Wegener, *Die Klimate der geologischen Vorzeit*, con permiso de Alfred Wegener y Borntraeger Brothers, Berlín.

TEORÍA DE DALY DEL DESLIZAMIENTO CONTINENTAL

Daly, aunque impresionado favorablemente por los argumentos a favor de la deriva basados en hechos geológicos, admite la excepción de las explicaciones causales de Wegener y Taylor, así como la migración polar. Daly subraya el hecho de que los viejos escudos continentales han permanecido casi siempre conspicuamente emergidos sobre los mares epicontinentales, que repetidamente han inundado los continentes, constituyendo las principales protuberancias de la superficie terrestre. Explica este hecho de varias maneras, principalmente por la contracción, por lo que tengo que hacer referencia a sus publicaciones, en especial a su extraordinaria obra más reciente, *Our Mobile Earth* (1926). Daly también cree que los continentes actuales estuvieron una vez agrupados, y acepta la probabilidad de la deriva de los fragmentos de una “Pangea” original, que habría producido, de este modo y en particular, el Océano Atlántico y los ensanchamientos de los Océanos Índico y Antártico entre Sudamérica, Australia y la Antártida. Escribe Daly: “parece que no existe prueba irresistible contra esta hipótesis”. No obstante, tiene que buscar una fuerza más eficiente que las mareas de Wegener y Taylor, y favorece la fuerza de la gravitación.

Parece que los continentes se han deslizado cuesta abajo, hasta derrumbarse, sobre el cuerpo de la Tierra, por simple gravedad; las estructuras montañosas aparentemente son el producto de enormes y lentos deslizamientos de Tierra. Cada cadena se ha plegado al pie de un bloque cortical de dimensiones continentales, que no estaba bastante nivelado, sino ligeramente inclinado⁸⁷.

Este deslizamiento de los bloques continentales tiene lugar sobre un substrato vítreo elástico—viscoso. De esta manera, la vieja Pangea se desliza fragmentada hacia el Pacífico ancestral, con la escisión de los Océanos Atlántico e Índico, y dando lugar a las cadenas montañosas circunpácificas; así, también se explica la diferente estructura del tipo Atlántico de las líneas de costa. Esta teoría es un desarrollo más amplio de un concepto original de Suess, quien, sin embargo, solo aceptaba el arrastre plástico, no el deslizamiento gravitacional cuesta abajo.

Observaciones.— Nosotros podemos estar a favor o no de esta explicación considerada como un avance. Es posible que esta visión sea bastante correcta, una vez que se aplique a los movimientos de amplitudes menores, en lugar de a toda la Pangea globalmente. Por ejemplo, se debería usar como una explicación parcial para los mecanismos de los grandes mantos de corrimiento tal y como los conocemos en los Alpes y los Himalayas, que también son difíciles de explicar mecánicamente. Puede ser la causa para ciertos movimientos de deriva en el interior de los continentes^[20], como el “arrastre de Asia”, que Suess ya aceptaba, y que de nuevo fue expuesto con tanta claridad en 1922 por Émile Argand en su *Tectonics of Eurasia*, que también lo consideró como resultado de la “plasticidad de Asia”.

NUESTRAS PROPIAS OPINIONES

Personalmente creo que es bastante atractiva la idea de que originalmente, en el Arcaico y quizás en el primitivo Proterozoico, la corteza siálica se distribuía más o menos por igual sobre toda la Tierra, siendo una espuma de granito que se había segregado del primitivo magma de silicato, y debido a su menor densidad, flotó en la superficie. Esta corteza estaba cubierta entonces por un océano universal (“Panthalassa”) de una profundidad media de 2.640 m (A. Penck). Gradualmente, esta espuma de granito se amontonó en un antiguo continente, “Pangea”, y cubrió posiblemente algo así como la mitad de la superficie terrestre. Para estos primitivos días de la evolución de la Tierra no tengo objeción para la explicación que ofrece Taylor: las mareas más fuertes, bien por la captura de un satélite (la Luna) o una mayor proximidad al sol. El aumento de espesor de este sial condensado

⁸⁷ R.A. Daly, *Our Mobile Earth*, Charles Scribner's Sons, Nueva York, 1926, p. 263.

provocó la emersión de su superficie y se transformó en un continente. En este continente existían varios núcleos, en los que había comenzado el proceso de acumulación de sial: los viejos escudos arcaicos. Las presiones que existían entre estos escudos provocaron el plegamiento de las cadenas montañosas más antiguas. Estas, a su vez, originaron a menudo los escudos que llegaron a estar considerablemente más consolidados, y cementaron los antiguos núcleos en unidades rígidas de mayor magnitud, las masas de las altiplanicies centrales de los continentes actuales. Este continente se fragmentó de nuevo y fue a la deriva: las porciones mayores flotaron, abriendo los grandes rifts del Océano Índico occidental y el Atlántico. No es necesario que esto haya ocurrido solo una vez; el proceso puede haberse repetido^[21]. Existen indicaciones de un rift atlántico mucho más viejo del que conocemos en la actualidad, que llegó a abrirse a finales del Mesozoico. En parte, estos fragmentos de la Pangea original llegaron a colisionar de nuevo con otros, como la India con Asia meridional. Hay bastantes pruebas a favor de que las situaciones geográficas del ecuador y de los polos del mapa de la Tierra han cambiado; la deriva puede explicar completamente esto, sin necesidad de cambiar el eje de rotación.



FIG. 10.— Hielo, Depósitos de Carbón y regiones áridas durante el Mioceno. E, hielo; K, carbón; G, yeso; W, arenisca de desierto; área punteada, regiones áridas. Reproducido de Köppen-Wegener, *Die Klimate der geologischen Vorzeit*, con permiso de Alfred Wegener y Borntraeger Brothers, Berlín.

Mi opinión personal, e inmediatamente entraré en más detalles sobre esto, es que existen cada vez más pruebas a favor de la deriva continental, que se acumu-

lan de una forma ingente. Sigue siendo muy difícil de explicar el mecanismo de los impulsos que la causaron, y en concreto el determinar cómo fuerzas tan pequeñas que hasta ahora se han expuesto como explicación podrían producir unos efectos tan tremendos en oposición a la enorme resistencia del sima, y concretamente de la corteza sólida del fondo oceánico. Me refiero aquí a nuestra discusión previa de los principios del estado sólido y líquido, de “rigidez”, “viscosidad”, “plasticidad” y “resistencia”. Es probable que el principal factor de control sea el *tiempo*. Aunque el sima es 10.000 veces más viscoso que el lacre y el betún, podrían bastar incluso pequeñas fuerzas para producir su fluidez, siempre que se apliquen durante un período de tiempo lo suficientemente largo. ¡Nos sobra tiempo para usarlo en geología, geofísica y cosmología!

Me permito de nuevo trazar un paralelismo entre esta controversia actual y la antigua sobre los mantos de corrimiento de los Alpes. Esta última también tuvo su violenta oposición, que se basaba concretamente en que dicho fenómeno parecía mecánicamente imposible, y que nadie hasta ahora ha explicado de forma adecuada su posibilidad. A pesar de todo, los hechos continuaron acumulándose, con pruebas tan convincentes de que los geólogos suizos tenían razón en su concepto de la estructura de los Alpes, que ya nadie pone en duda seriamente su exactitud. A pesar de la objeción original, en busca de una explicación mecánica, su realidad no ha sido contestada por medio alguno, y apenas nos hemos acercado a una solución. ¿No puede ser este el caso de la teoría de la deriva? No creo que estemos justificados, en vista de pruebas en sentido contrario, para tomar la actitud de que no debiéramos aún considerar la posibilidad de la deriva continental, porque somos incapaces explicarla. Tampoco podemos explicar los grandes mantos alpinos o himalayos, a pesar de que prácticamente todos los geólogos admiten su existencia.

En relación con esto, permítaseme citar la observación concluyente de Daly en un simposio anterior sobre la deriva continental, celebrado en diciembre de 1923, por la Academia de Ciencias de Washington:

“Por pequeño que pueda ser el suceso inmediato en la búsqueda de la fuerza o fuerzas que pudieran fragmentar un continente, parece eminentemente prudente conservar como una hipótesis de trabajo la atrevida e incluso majestuosa idea de Taylor y Wegener. El debate en Europa es enérgico, y muchos geólogos así como geofísicos están convencidos de que la hipótesis del desplazamiento continental a gran escala no debería rechazarse por completo. Hasta ahora, los geólogos americanos no han hecho su aportación en el desarrollo de las posibilidades y probabilidades al respecto”.

HIPÓTESIS DE JOLY

Joly ha hecho recientemente un extraordinario esfuerzo para explicar al menos el cambio periódico del manto silicatado de la Tierra a partir del aparente estado sólido actual hasta un estado de fusión. Joly no defiende las teorías de la deriva continental relativa; de hecho, en su obra ataca la deriva intercontinental como algo improbable. Incluso, si sus opiniones personales son correctas y pueden verse apoyadas por ulteriores investigaciones, serían una gran ayuda en el intento de determinar, y de explicar de una forma algo más aceptable, los impulsos que requiere la deriva continental en el sentido de Taylor y, en particular, de Wegener.

En una conferencia pronunciada ante la Geological Society de Londres, el 2 de mayo de 1923, y en su consecuente libro, *The Surface History of the Earth*, 1925, Joly detalló su teoría de la fusión periódica^[22] del substrato situado bajo el sial.

Calor generado por radiactividad en la Tierra.— El punto fundamental en la discusión de Joly es *el problema de la generación radiactiva del calor y sus consecuencias inmediatas*.

Los fenómenos de la radiactividad deben considerarse como una causa *constante*, aunque lenta, de la génesis térmica en las rocas. Las partículas alfa (átomos de helio doblemente cargados), emitidas desde los *núcleos* de los átomos en transformación, *tienen masa apreciable*. Son expulsadas con una fuerza enorme, dependiendo de la edad del elemento emisor, aunque su desplazamiento llega a ser detenido pronto por los átomos que le rodean. En las rocas, los rayos alfa más rápidos emitidos por la serie del uranio no van más allá de los 0,03 mm, y los de la serie del torio 0,04 mm (como se demuestra en los halos de biotita). La captura de estas masas nucleares desprende calor, que puede ser calculado. Simultáneamente, el retroceso del átomo original también es detenido y convertido en calor.

Estos fenómenos radiactivos se diferencian totalmente de los fenómenos químicos, especialmente *en que ni el calor ni la presión parecen afectar en nada a la radiactividad*, al menos en los experimentos realizados en los laboratorios, con temperaturas que varían entre -250° y $+2.500^{\circ}\text{C}$, y con la aplicación simultánea de presiones superiores a 2.000 atmósferas.

A una tasa de desintegración conocida, la eliminación de las reservas de uranio en la Tierra tardaría 10.000 millones de años y de torio 26.000 millones de años. En consecuencia, el tiempo geológico incluso puede ser insignificante.

Admitiendo la ventaja de las propiedades físicas que muestran algunos de los elementos, como el que el uranio y el torio cambien durante el proceso de su desintegración, es posible deducir con bastante seguridad las cantidades extremadamente pequeñas en las que se presentan en las rocas los elementos originales.



FIG. 11.— Hielo, ciénagas de turba y regiones áridas durante el Plioceno y el Pleistoceno primitivo. E, hielo; K, carbón; S, sal; G, yeso; L, loess; área punteada, regiones áridas. Reproducido de Köppen-Wegener, *Die Klimate der geologischen Vorzeit*, con permiso de Alfred Wegener y Borntraeger Brothers, Berlín.

Estos aparecen en *todas* las rocas, sedimentarias o primarias, que se encuentran en la superficie terrestre. No obstante, las cantidades varían ampliamente en diferentes localidades. Como media, las rocas ígneas ácidas son las más ricas, las rocas básicas contienen considerablemente menos, y las rocas sedimentarias contienen aproximadamente la mitad de la cantidad de un granito primario. De acuerdo con Rayleigh, la cantidad de *radio* (producido a partir del uranio) es de un promedio de 3×10^{-12} g/g de granito; para los basaltos de Oregón $1,19 \times 10^{-12}$ g; para algunas otras grandes extrusiones (Deccán, Hébridas) es tan solo de $0,77 \times 10^{-12}$. Los contenidos en *torio* son $2,0 \times 10^{-5}$ para el granito, y $0,46-1,52 \times 10^{-5}$ para los basaltos. A. Holmes también da un promedio de $3,1 \times 10^{-12}$ g de radio para el granito; $1,1 \times 10^{-12}$ para rocas básicas ($2,1 \times 10^{-12}$ para formas intermedias), y $0,5 \times 10^{-12}$ para las rocas ultrabásicas. Otras determinaciones dan valores más divergentes. Para los basaltos americanos occidentales, Joly y Poole dan $1,69 \times 10^{-12}$, pero Strutt, Lawson y Joly, en otra zona, obtuvieron la cifra de $5,8 \times 10^{-12}$ para los basaltos de las Hébridas y $4,9 \times 10^{-12}$ para los basaltos del Deccán. Gutenberg (1926) dio $7,7 \times 10^{-12}$ para el granito de Gotthard. Las lavas del Vesubio de 1855 contienen $19,2 \times 10^{-12}$ y la traquita de Flegrei, $10,6 \times 10^{-12}$ g de radio. Los trabajos actuales realizados por Ellsworth (Canadá), Richards (Harvard) y Fenner (Geo-

physical Research Laboratory), indican, no obstante, valores mucho menores para la mayoría de las localidades que los promedios de Rayleigh⁸⁸.

En consecuencia, todavía está bastante oscuro lo que debe aceptarse como *promedios reales* para las rocas del sial y del sima. Sin embargo, esto no afecta a nuestro problema intrínsecamente, pero podría cambiar las conclusiones de Joly en las dimensiones y en el tiempo. El calor desprendido por el radio así como por el torio en las rocas puede calcularse. Si aceptamos que 1 g de radio, en equilibrio, desprende $5,6 \times 10^{-2}$ cal/s, y 1 g de torio $6,6 \times 10^{-5}$ cal/s, podríamos concluir (aceptando los promedios de Rayleigh) que:

1 g de granito medio desprende $30,0 \times 10^{-14}$ cal/s;

1 g de basalto medio desprende $11,0 \times 10^{-14}$ cal/s;

1 g de roca sedimentaria media, $16,6 \times 10^{-14}$ cal/s.

Por lo tanto, a una densidad de 2,7, 1 cc de granito desprende $0,8 \times 10^{-12}$ cal/s.

Un cm^3 de basalto, con una densidad de 3,0, desprendería $0,33 \times 10^{-12}$ cal/s.

Por lo tanto, una columna vertical de granito de 1 cm^2 de sección transversal y 31 km de altura, desprendería por segundo $2,48 \times 10^{-6}$ calorías.

Pérdida de calor por conductividad.— La *conductividad* de las rocas siálicas varía, pero puede aceptarse un promedio de $0,004 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{s}$, por un gradiente unidad de 1°C . (La conductividad en los silicatos disminuye con la temperatura). El basalto tiene casi la misma conductividad. La mezcla eleva la conductividad a unas 0,007 cal.

Por lo tanto, en un gradiente térmico medio de $3,5^\circ$ cada 100 m, la columna de granito de 20 millas de altura, de 1 cm^2 en sección transversal, transmitiría a la superficie $2,45 \times 10^{-6}$ cal/s.

La cantidad media de calor generado en la propia columna (sobre las cifras de Rayleigh) fue de $2,48 \times 10^{-6}$.

En consecuencia, el flujo externo de calor a través de una columna de 31 km podría equilibrar la cantidad generada en la propia columna; por lo tanto (en las cifras de Rayleigh), *una corteza de sial de 31 km de espesor no permite el escape a la superficie del calor generado en el sima subyacente. Si la corteza excede de 31 km de espesor, todo el calor generado en este exceso de grosor puede acumularse o radiar solo hacia abajo* (siempre que exista un gradiente que permita un flujo en esa dirección).

Por lo tanto, el calor generado en el sima bajo los continentes se acumula; no tiene adónde ir.

⁸⁸ Comunicación de Bailey Willis.

Si aceptamos, con Cotter, Joly y otros, que el sima yace inmediatamente bajo el fondo del océano, encontramos de forma parecida que *bajo el océano*, una corteza de 48 km como máximo, impedirá que cualquier calor generado por debajo se disipe en el mar, siempre que la temperatura del fondo del océano sea uniformemente nula. Con este espesor, la base del fondo oceánico alcanzaría el punto de fusión del basalto.

El *agua del océano* no afectaría esta situación. Su radiactividad es extremadamente pequeña: $0,017 \times 10^{-12}$ g de radio/cm³ (Joly). Sin embargo, la de *los sedimentos marinos profundos* es extraordinariamente alta: cieno de radiolarios, $36,7 \times 10^{-12}$ g de radio/g; arcilla roja de aguas profundas, $27,0 \times 10^{-12}$ (Joly). Esta última cubre áreas muy amplias: 51.500.000 millas cuadradas. No obstante, su espesor probablemente es muy pequeño, y por tanto su influencia real podría despreciarse. El hecho de que se hayan dragado dientes de tiburón miocénicos muy encostrados con manganeso, desde lo que debe haber sido la superficie de esta arcilla bastante dura, es un buen indicador de una sedimentación muy lenta y por tanto de su pequeño espesor.

Si las cifras de Rayleigh para la radiactividad son bastante grandes, materialmente no cambia este esquema de una corteza externa laminar. Si aceptamos que los contenidos de uranio—torio son 5 veces más pequeños, una corteza de sial de poco más de 100 km crearía, con todo, una manta aislante perfecta (para la roca seca).

Efecto térmico en el interior de la Tierra.— ¿A qué profundidad el sima genera calor por radiactividad? No lo sabemos. Los meteoritos rocosos (muy parecidos a nuestras rocas ultrabásicas) contienen invariablemente radio, aproximadamente en la cantidad de las peridotitas terrestres, y en consecuencia menos que el basalto. Las rocas terrestres ultrabásicas tienen un promedio de $0,5 \times 10^{-12}$ g de radio/g; la media de los meteoritos rocosos viene dada por $0,74 \times 10^{-12}$ (Strutt, Guirke, Finkelstein). Los meteoritos metálicos contienen solo pequeñas trazas de radio ($0,07 \times 10^{-12}$ o menos). Por tanto, parece como si el calor radiactivo no fuera generado posiblemente en la misma cantidad a profundidades muy grandes, bajo la esfera de sima.

El cálculo muestra que la temperatura en la base de una corteza de sial de 30 km de espesor, causada por su propia radiactividad, y teniendo en cuenta la disipación del calor hacia la superficie, debe ser de unos 960°C. Esto se aproxima al punto de fusión del magma basáltico, que a una profundidad de 40 km debería

ser de unos 1.200^{89} , siempre que no exista vapor de agua u otro gas, que lo haría mucho más bajo. En consecuencia, la temperatura del sima por debajo del témpano de sial promedio está *cerca* de su punto de fusión, siempre que no se acumule allí previamente calor radiactivo, pero debe alcanzar su punto de fusión gradualmente por dicha acumulación.

El substrato de sima tiene ahora prácticamente la rigidez de un sólido, ya sea totalmente holocristalino o no, pero su calor acumulado no puede escapar a la superficie, excepto, posiblemente, en una parte muy pequeña bajo los océanos.

El *calor latente* de los basaltos, requerido para cambiar la roca del estado sólido al líquido, en su punto de fusión, es de unas 90 cal/g; para los silicatos del sial, 100 cal/g. El *calor específico* aumenta con la temperatura, pero para estas rocas permanece constante por encima de los 500°C. Es 0,23 cal/g.°C (necesita este calor para elevar en 1°C la temperatura de 1 g). Por lo tanto, si aceptamos que la temperatura del sima bajo el sial es actualmente 1.050° y que es un sólido holocristalino, se requerirán unos 30 millones de años de acumulación radiactiva para licuarlo. Si las cifras de Rayleigh son bastante altas, ocurrirá lo mismo, pero el tiempo requerido será mucho más largo, tanto como el calor generado sea mayor que el calor perdido por conductividad. Además, J.W. Evans (1926) duda de que toda la energía liberada por radiactividad se convierta en calor; algo debe provocar cambios químico-físicos en las rocas, como indican por ejemplo los halos en la biotita. En todo esto, desafortunadamente, volvemos a discutir aspectos de los que sabemos muy poco.

La fluidez periódica de Joly empieza a los niveles superiores del sima, debido a que el líquido es menos denso que el sólido y flota sobre él. Esto, de nuevo, supone un estado cristalino, no vítreo. En consecuencia, las protuberancias menores de la corteza de sial, las compensaciones, *permanecerán varadas*, pero llegan a debilitarse bastante, hasta que finalmente las capas inferiores del sima también se fun-

⁸⁹ En la fusión, la densidad de los silicatos disminuye, con una pérdida de un 6–7 por cien. Estos se hunden en su propio fundido, pero esto cambia a *grandes profundidades*, debido a que los líquidos son más compresibles que los sólidos.

El gabro a 20° tiene una gravedad específica de 3,00; a 1.000°, 2,92; cuando se funde a 1.100°, solo 2,74. Incluso la densidad del fundido es mayor que para los silicatos del sial sólido; el cuarzo y el feldespato flotan sobre un fundido diabático.

Todo esto es para muestras deshidratadas de roca. Hemos visto antes que los puntos de fusión descienden bastante tan pronto como las rocas se funden bajo la presión y en presencia de cantidades muy pequeñas de agua o de otros gases. Si las rocas se enfrían hasta convertirse en vidrio, en lugar de cristalizar, su densidad es menor que la equivalente a la de un fundido.

den, lo que sitúa el sima oceánico más profundo, y flotando sobre él toda la corteza de sial.

Estará claro ahora, si el razonamiento de Joly es correcto, y *no existiese disipación periódica para el calor radiactivo acumulado, que podrían surgir situaciones imposibles*. La temperatura bajo los continentes, que viene acumulándose desde el período Precámbrico, ¡podría haberse elevado en la actualidad considerablemente a más de 1.000° por encima del punto de fusión de los granitos y gneises del sial (si aceptamos las cifras de Rayleigh)!

En cualquier caso, si el espesor de la corteza, ya sea el sial bajo los continentes, o el sima por debajo de los océanos, excede de un cierto valor, dependiendo de la radiactividad de las rocas, el calor se acumula indefinidamente, y el exceso puede alcanzar finalmente el gradiente donde fluiría hacia arriba y producirá más fusión. Por lo tanto, *no sería posible un espesor estable de la corteza de más de 30–100 km; el sobrecalentamiento y la fusión aparecerían a su debido tiempo, a menos que se diese un cambio en las condiciones de la corteza que produjeran una disipación para el exceso de calor*.

Revoluciones periódicas bajo la hipótesis de Joly.— ¿Qué ocurrirá cuando se funde el substrato de sima, y forma un océano universal de magma líquido bajo todo lo que constituye la superficie del planeta?

En primer lugar, las condiciones anteriores de almacenaje de calor no prevalecerán por más tiempo: tratamos con un líquido, que debe ser muy viscoso, pero lo suficientemente móvil para diferir de un sólido. La circulación y la convección térmica^[23] se añaden ahora a la conductividad, y aumenta la tasa de pérdida de calor.

Joly argumenta que esta circulación se incrementa en gran parte por los *efectos mareales*, a los que está sometido ahora el sima fundido. Vimos que una de las principales pruebas de la actual solidez (o al menos de la viscosidad muy alta) del sima, reside en el hecho de que la existencia de dichas mareas profundas ahora solo tenga un valor insignificante, y dentro de los límites de la deformación elástica. El retraso por fricción de una marea de magma verdaderamente plástico sobre la rotación de la corteza externa de la Tierra llegaría a ser mucho mayor que la de la marea oceánica. Si Joly tiene razón en que la temperatura puede llegar a ser tan alta que la viscosidad de un sima fundido puede hacerse bastante pequeña para ser responsable de un impulso mareal diario, nos daría una excelente explicación al menos para la deriva periódica hacia el oeste de los témpanos de

sial⁹⁰. Consideraremos esto más tarde, pero otro efecto sería el incremento en la circulación de la masa fluida.

La circulación podría verse aumentada más por el hecho de que el líquido, y por tanto el magma menos denso, flota, y las partes debilitadas de la corteza de sima bajo los océanos tienen tendencia a separarse y hundirse.

La fusión disminuiría la flotabilidad de los témpanos siálicos continentales.— La licuefacción del sima, si una vez más fuera previamente holocristalino, reduce su densidad en un 6–7 por cien. Por lo tanto, si un continente de sial de 20 km de espesor flota sobre él, se hunde a 1,2–1,4 km de profundidad en el substrato de sima, cuando este último cambia del estado sólido al fluido. La emersión sobre el fondo medio del mar podría reducirse en un promedio de 4,62 a 3,42–3,22 km. Donde la profundidad media del océano es de 3,80 km el área continental de elevación media llegaría así a sumergirse 380–580 km bajo el nivel del mar. Esto significa que el 75–80 por cien del área continental podría llegar a estar inundada. Esto es mucho más de lo que exige la geología histórica. Quizás el cambio de estado no era así completo, y el efecto podría ser menor aunque todavía suficiente⁹¹.

⁹⁰ La fuerza mareal horizontal es entre ocho millonésimas y once millonésimas partes del peso de las masas afectadas. Esta parece pequeña, pero se hace más insignificante si el océano magmático de sima fluido hubiera alcanzado periódicamente una profundidad 20 veces mayor que la del océano acuoso y 3 veces el peso del agua, y pudiera ser lo suficientemente móvil, al menos en sus capas superiores. La viscosidad puede aumentar inevitablemente con la profundidad. También la velocidad lineal de la marea magmática aumenta hacia el ecuador, y en consecuencia el retraso de la velocidad de rotación de la corteza. A esto puede añadirse el retraso precesional en el ecuador.

De esta forma, la deriva relativa así como la absoluta serán más pronunciadas en las regiones ecuatoriales.

La fuerza mareal horizontal también está en relación con el radio orbital de la luna y de la tierra. Aumenta inversamente con la 6ª potencia del radio orbital de la luna. Así, puede haber sido mayor en el pasado. ¿Podría explicarse la enorme deformación en los estratos anteriores al Cámbrico posiblemente por un cambio *en esa época* de la distancia lunar? ¿Podía un hecho de esta naturaleza explicar que el sima se acumulase en una Pangea en el período Precámbrico?

⁹¹ Este cálculo no tuvo en cuenta los efectos de la presión, que deben disminuir la pérdida de densidad, atendiendo a un cambio de estado del sima. Así, la sumersión podría estar bien limitada a un 50 por cien del área terrestre. Conforme el mar fluye sobre los continentes, su superficie disminuye; pero el nivel del mar también se hunde debido al aumento de área del fondo oceánico dominante en esa época, debido a un ligero descenso en el radio de la tierra, por el aumento en volumen del magma fundido del sima.

Sin embargo, estas correcciones son pequeñas, y están compensadas por el efecto isostático del peso de los mares transgresivos. La corrección total debe tomarse dejando un movimiento descendente de 1,2 km relativo a la superficie dominante de océano, con tal que exista un cam-

Esta sumersión de los témpanos continentales no solo produciría amplios mares continentales de transgresión, sino que también reemplazarían abundante sima líquido hacia un lado, es decir, hacia los océanos, o hacia el otro lado como efusión o intrusión basáltica, produciendo más inmersión isostática. Es bastante probable que el magma subcontinental pudiera sobrecalentarse considerablemente bajo los grandes continentes.

Como resultado de todos estos sucesos, sería el sima solidificado del *fondo oceánico* el que en concreto se viese afectado; más aún, se funde con más facilidad que el sial de los continentes. Su espesor se vería enormemente reducido por un período relativamente corto de circulación convectiva, aunque esto no puede continuar más allá de cierto punto; debe existir un límite menor para su espesor, a saber, aquél donde la tasa de escape térmico sea igual al ascenso de calor a partir de los movimientos convectivos. No se puede practicar una estimación numérica de dicho límite de espesor, aunque Joly acepta que el fondo oceánico podría reducirse perfectamente solo en 6 km.

De esta forma los océanos absorberían rápidamente el calor que se ha acumulado⁹².

El análisis precedente explica la pérdida de calor excesivo *bajo el fondo oceánico*. Sin embargo, esto no nos ayudaría mucho en la liberación del calor acumulado bajo los grandes continentes, sin tener en cuenta las mareas y otras circulaciones del magma. Vimos de qué forma explica Joly que, si el espesor de la corteza de sial excede de 35 y quizás 100 km, no es posible que se pierda calor a través de ella. El efecto de manta de la radiactividad continental bloquearía de forma efectiva el escape por conductividad de todo el calor desde abajo. *Solo bajo los océanos* tenemos una posibilidad de escape a través de un fondo delgado; esto no se aplica

bio completo del sólido cristalino al sima líquido, y que fuese ante todo holocristalino.

El *cambio medio de volumen del magma de sima* por cualquier causa es del 10–12 por cien. Esto implica un aumento del radio de la tierra de 6 millas, aceptando que la capa de sima isostático está a 70 millas de profundidad. Esto aumentaría el área de superficie del globo en 650.000 millas. Se redujo de nuevo cuando el sima se resolidificó.

⁹² La descarga térmica dentro del mar, no obstante, es tan lenta que, en ninguna época y bajo ningún supuesto, puede existir algún calentamiento apreciable del agua del océano. Incluso, con un fondo de 6 km de espesor solamente, solo pasarían 80×10^{-7} cal/cm².s, o ¡248 cal/año! Por lo tanto, es impensable cualquier efecto de este escape de calor interno sobre el clima. Esto sigue siendo cierto inclusive si existiese una gran efusión de lavas sobre el fondo del océano. Incluso en ese caso, el calor entraría al agua tranquilamente y se transportaría solo por circulación convectiva. No tendría lugar la ebullición: la presión crítica para la ebullición del agua es de unas 200 atmósferas; la que predomina a una profundidad media en el océano es por lo menos de 400.

a la corteza de sial. Bajo los continentes solo atraeríamos una enorme efusión e innumerables diques y grandes sills horizontales y batolitos, que tendrían que penetrar muchos miles de millas en cualquier dirección. Los batolitos en realidad pueden explicarse por estas condiciones, así como las grandes extrusiones basálticas sobre las superficies continentales, pero estos fenómenos serían totalmente insuficientes. *Los continentes finalmente tendrían que romperse, si estuvieran inmóviles.* La única solución, que en realidad defiende Joly, es alejar los témpanos continentales al menos desde parte de su substrato, y proporciona a los últimos los medios de intercambio de calor con el océano. El sobrecalentamiento bajo las enormes masas continentales también sería mitigado por su fracturación en témpanos más pequeños, y la formación y ensanchamiento de los océanos intercontinentales (Océanos Tetis, Atlántico, Índico).

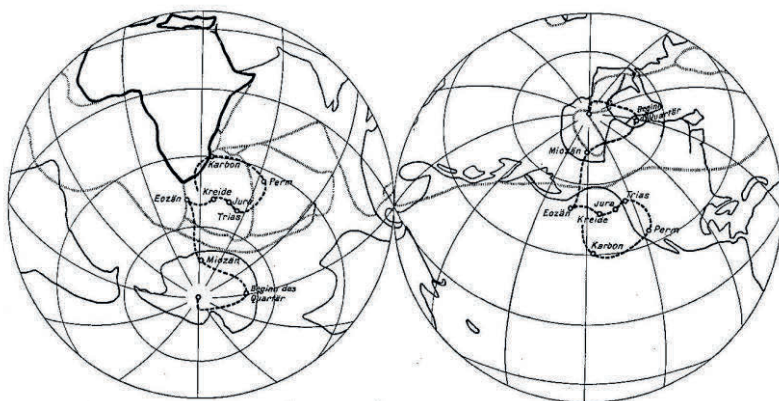


FIG. 12.— Migración de los polos con relación a África. Márgenes de los continentes: sombreado, en el Carbonífero; denso, en la actualidad. Reproducido de Köppen-Wegener, *Die Klimate der geologischen Vorzeit*, con permiso de Alfred Wegener y Borntraeger Brothers, Berlín.

Aunque la deriva continental forma parte del razonamiento de Joly, e incluso se explica de una forma muy adecuada en su obra por el retraso mareal y precesional, *no está tensionada la necesidad de la deriva intercontinental.* En su conferencia de 1923 en Londres, Joly estableció simplemente que la deriva intercontinental relativa, en el sentido de Wegener, “no estaría en contradicción con las posibilidades que proceden de las opiniones actuales”. En la página 172 de su libro de 1925, considera el fondo oceánico como una barrera efectiva, incluso en épocas de fluidez, a menos que “bajo ciertas condiciones lo hubieran atenuado o fracturado enormemente en las direcciones favorables”. Desafortunadamente, Joly

está en gran parte sujeto a sus concepciones orogénicas por la teoría de la presión desde los océanos contra los continentes, no como *resultado* de la deriva continental, sino *generada* por la bóveda del fondo oceánico contra sus estribos, cuando se produjo la contracción del radio terrestre, cualquiera que fuese la causa (por ejemplo, por solidificación de la capa de sima).

Si Joly tiene razón, ha ayudado sin quererlo a las teorías de la deriva intercontinental relativa al facilitar una explicación de la misma. Si el calor radiactivo se acumula en la forma discutida, *se requiere* un desplazamiento periódico de los témpanos cubiertos de sial para dicha permanencia de los continentes como demuestra su historia geológica: la objeción más seria basada en la evidente solidez actual del substrato que soporta el sima, se ha debilitado considerablemente. Veremos más tarde (si Joly una vez más está en lo cierto), que tanto los desplazamientos relativos de los continentes en su conjunto como los considerables cambios intracontinentales, serían inevitables.

Además, la ingeniosa teoría de Joly tiene el gran atractivo de que explica la periodicidad curiosa de las *principales* revoluciones^[24] terrestres de ámbito universal. Las revoluciones más locales también pueden explicarse por una mayor elaboración de la teoría que discutiré más adelante. Explica la alternancia de períodos de orogenia general y de reposo comparado, cuando en general solo tuvieron lugar reajustes verticales y cambios menores, probablemente ambos en su mayor parte retardaron los ajustes de las tensiones locales. También explica la alternancia de períodos de emergencia continental general con los de expansión universal de los mares epicontinentales, con una inundación amplia de los continentes, y la relación de dichos cambios de nivel con la periodicidad de las orogenias. La hipótesis es un serio esfuerzo para explicar los desconcertantes problemas de la geología y merece bastante atención.

La objeción en cuanto a la cantidad de radiactividad existente en el promedio de las rocas de la capa externa de la Tierra, no es, ni ha sido, muy seria. Para mí, la dificultad más grave surge por la cuestión de las mareas magmáticas de Joly. ¿Llega a estar realmente el sima tan caliente que su viscosidad, sin considerar la presión, se reduce suficientemente para permitir responder a los *cortos* impulsos de las mareas diarias? Esto requiere una movilidad muy alta de una enorme capa de magma.

La teoría de Joly también requiere que el magma se solidifique periódicamente en un estado *realmente sólido*, holocristalino, no meramente (como cree Daly) en un estado vítreo.

ALGUNOS DE LOS PRINCIPALES HECHOS GEOLÓGICOS A FAVOR DE LA DERIVA CONTINENTAL

Argumentos estructurales.— Ya he mencionado la insuficiencia de la teoría de la contracción de la Tierra para explicar los importantes cinturones de plegamiento. Para esto necesitamos al menos una deriva intracontinental *muy considerable*. Para el problema de la compresión lemúrica, cuyas consecuencias más conspicuas son las montañas del Himalaya, pero que afectan a toda Asia, necesitamos aún más que para los Alpes (p. 58). Si estiramos esta inmensa compresión en una relación de 4:1 solamente, se requeriría una deriva de 3.000 km de magnitud. Esta es la verdadera deriva intercontinental, que acerca la India a Madagascar. Ahí no queda sitio para una Lemuria sumergida.

La India, Madagascar y África Oriental son muy similares geológicamente; esto se aplica incluso a Australia occidental. Todas son antiguas mesetas de gneis; muestran el mismo grano antiguo (si tenemos en cuenta la ligera rotación causada por la deriva, *y seguimos empleando un globo, no un mapa Mercator*). El basamento de gneis está recubierto totalmente por las mismas series de carbón de Gondwana, con una flora *Gangamopteris*—*Glossopteris*.

Es bien conocida *la continuidad geológica a lo largo de las líneas importantes, a ambos lados del Atlántico*. Los seguidores de Wegener citan al menos cinco buenos acoples a cada lado: la continuación de las cadenas de Sudáfrica con las cercanas a Buenos Aires; la prolongación de los escudos de gneis de África y Brasil; y la continuidad general de tres importantes sistemas de pliegues entre Norteamérica y Europa, a saber, los diastrofismos Algonkianos, Caledonianos y Armoricanos.

Todos estos son preterciarios. En las cadenas terciarias la continuidad se rompe, por ejemplo, para el Atlas del Oligoceno principalmente superior y para los Pirineos. De acuerdo con Wegener, la deriva ya había comenzado y el Atlántico estaba ensanchándose.

Según Wegener, la separación más primitiva habría ocurrido en el Cretácico, a partir de una deriva del escudo de gneis entre Brasil y Camerún. La interrupción se expandió gradualmente hacia el norte y solo alcanzó las regiones árticas en el Cuaternario.

La diferencia entre el fondo del Atlántico y el del Pacífico, y la probable existencia de un abundante material siálico en el primero, son otras indicaciones de que, probablemente, el Atlántico no es un océano primario sino un rift, que no solo contiene grandes extensiones de sial arrancadas y reducidas, sino también enormes fragmentos de bordes continentales (Islas Canarias, Madeira, y especial-

mente el Banco de Abrolhos). También se podrían mencionar ahí las curiosas “arenas de aguas profundas” de la expedición Valdivia.

La comparación con el enorme rift del África Oriental y sus complejidades hace que todo esto sea lo más admisible. El rift africano, que se extiende desde Sudáfrica hacia el interior de Europa, y alcanza posiblemente el Valle del Rin y el Mar del Norte⁹³, tiene todos los distintivos de un rift continental embrionario similar al que causó la fisura de apertura del Atlántico actual. Principalmente parece una antigua característica del Pleistoceno.

Consideraciones similares pueden extenderse a la India, la Antártida, Australia, Nueva Zelanda y Nueva Guinea. Para estos detalles remito al lector a las obras de Wegener.

Buena parte de la crítica se ha levantado en contra de un acople perfecto, en concreto de las márgenes opuestas del Atlántico. En *detalle* existe un enorme elemento de veracidad en esta crítica. Sin embargo, ¿debemos aceptar la opinión de que las líneas de costa actuales (o líneas de plataforma) estuvieron absolutamente adyacentes, o bastaría un paralelismo general? Personalmente creo que se debería tomar el último punto de vista. Existen numerosas islas bien compensadas en el Atlántico, y se requiere una masa de sial en alguna parte de sus cimientos. De forma parecida, si es cierto que sobre todo el fondo del Atlántico se expande un inmenso sial, este debe haber venido de alguna parte, evidentemente desde los fragmentos del rift original. En consecuencia, *no deberíamos buscar un acople perfecto*, sino solo una semejanza suficiente sobre amplias líneas para convencernos de que los actuales litorales estuvieron alguna vez *mucho más* próximos de lo que lo están ahora, y han mantenido desde entonces un paralelismo general. Creo que los hechos están bastante de acuerdo con esta concepción.

El pliegue andino (las cadenas circumpacíficas).— Varios autores han llamado la atención sobre el cinturón de pliegues circumpacífico. Daly⁹⁴ realizó un mapa ilustrativo de los mismos. Estas montañas normalmente se citan como prueba de la presión más allá de un arco oceánico.

Existe una gran diferencia entre las cadenas en el lado este (Andes) y las del oeste (festones insulares) del Pacífico. Los Andes no son solo mucho más viejos, sino también más importantes y compresivos; los arcos insulares del este asiático son en su mayor parte expansivos. Me refiero aquí a los verdaderos festones insu-

⁹³ Fallas posteriores al Pleistoceno, y todavía más recientes, aparecen en Holanda. Véanse las publicaciones del autor del Netherlands Geological Service (*Ryksopsporing van Delfstoffen*), 1907–17.

⁹⁴ R.A. Daly, *op. cit.*, p. 283.

lares; *las montañas de Australia oriental, Nueva Zelanda y Nueva Guinea pertenecen a los Andes.*

Los Andes son considerados el fragmento frontal de la antigua Pangea, y los arcos insulares asiáticos, la parte posterior del viejo continente. En el sentido de Joly, toda la Pangea, antes de su ruptura, habría derivado hacia el oeste, al menos periódicamente. Los Andes también, de acuerdo con esta concepción. Existiría una enorme compresión y arrugamiento sobre el frente activo del tépamo de sial. Durante el ciclo de solidificación de Joly, la corteza oceánica se volvió, al menos temporalmente, más resistente de forma relativa que la situada bajo los continentes, y en consecuencia, los continentes presionarían aún hacia el oeste, pero encuentran más resistencia en su frente y más arrastre en su parte posterior⁹⁵.

Los pliegues ancestrales de los Andes, del Proterozoico, están bien representados en las Américas. La compresión frontal tiende a crear las condiciones de geosinclinal^[25] al lado de la “zona fronteriza” (Schuchert). En el viejo Paleozoico, concretamente durante el Cámbrico, encontramos estas condiciones; se repiten continuamente, con una intensidad oscilante más o menos periódica.

El este de Australia constituía en esa época el frente.— Esto duró hasta que se abrió el rift del Océano Índico: hasta que (en el Terciario) se invirtió el movimiento de esta lengua de tierra y Nueva Guinea y Nueva Zelanda se desprendieron, y esta última quedó detrás como un festón. Por lo tanto, encontramos solamente los pliegues más antiguos, principalmente del Carbonífero, en el actual este de Australia. La compresión Jurásico–Cretácica de la costa oeste americana y de la Antártida está restringida naturalmente a Nueva Zelanda. Desde luego no existen pliegues larámicos en Nueva Zelanda: en ese tiempo ya había dejado de constituir el frente, para constituir la parte posterior. Lo mismo se aplica a la última compresión (alpina) de los Andes: en Nueva Zelanda solo se han citado pliegues alpinos menores y fallas de corrimiento. Nueva Guinea, sin embargo, tiene una gran cadena de montañas de nieves perpetuas del Terciario superior. ¿Por qué? Permaneció como un frente activo, concretamente en su punto noroccidental. La forma extremadamente activa en que ha presionado en época muy reciente Nueva Guinea, y es posible que todavía hoy esté empujando, al norte en los grandes festones de la Sonda, es tan obvia que *el hecho* no puede ser negado por alguien que esté familiarizado realmente con estas regiones, sin tener en cuenta su explicación cau-

⁹⁵ En este proceso, desde luego, el sima debe haberse arrugado tanto como el sial. Sin embargo, este último, al tener una mayor resistencia en la forma, *permaneció* plegado; el sima, siendo menos “resistente”, aunque más rígido, perdió su forma en el curso de las eras. (Compárese de nuevo nuestra discusión de las propiedades de la cera de abeja y el betún de la p. 94).

sal. Esta es la razón de por qué los geólogos holandeses (Molengraaff, Brouwer, Wing Easton) que trabajaron en las Indias Orientales, se inclinan invariable y favorablemente hacia la hipótesis de Wegener. Yo también he visitado esta área: la prueba es verdaderamente notable. Sin saber por qué, *vemos* que Nueva Guinea deriva violentamente hacia el norte.

Este movimiento, si realmente no está activo, lo estuvo al menos recientemente. Las terrazas coralinas del Cuaternario reciente están elevadas 1.300 m en Timor (Molengraaff); para Nueva Guinea están citadas a altitudes de 1.000–1.700 m (Gagel). Todas las islas de coral de las Molucas están inclinadas y el fondo del océano se interrumpe violentamente (profundamente alrededor de las Célebes).

Los Andes son bastante distintos de las cadenas posteriores de *los festones insulares del este asiático* , muy pequeñas y no tan importantes. El hecho de que existan cadenas plegadas en todo el este de Asia se cita a menudo en oposición al concepto de la deriva hacia el oeste. Existen varias razones de por qué se deberían esperar pliegues aquí. Primero, puede existir *alguna* presión desde el fondo oceánico que se consolida, aunque no lo bastante para explicar algo como los Andes frontales. Esto puede ocurrir concretamente si es correcta la periodicidad de Joly. Además, el arrastre de estos festones a través de la resistente corteza oceánica debe producir una deformación considerable. Por último, verdaderamente puede existir el deslizamiento plástico intracontinental en el sentido de Daly, de Suess o de Argand desde la enorme masa de Asia. Un deslizamiento similar puede explicar las ligeras tensiones compresivas del Terciario sobre la costa atlántica de las dos Américas, que se citan también en oposición al punto de vista del rift atlántico. Incluso los valles del gran rift africano muestran con regularidad una elevación de sus bordes (Kohlschütter, 1911, Krenkel, 1922). La compensación isostática en todas las regiones posteriores es muy incompleta e indica presiones expansivas y defectos de masa.

Argumentos climatológicos.— Lo más atractivo de los argumentos de Wegener me pareció siempre la solución más completa que la deriva continental daría a los intrincados problemas del clima de los períodos geológicos del pasado y a los problemas de las faunas y floras fósiles, hasta donde estas se relacionan con el *clima* .

Algunos de estos cambios de las masas continentales y (relativamente) de los polos tal como propone Wegener, parece hasta ahora el único medio de obtener una respuesta aceptable para la mayoría de los enigmas que tienen que ver con las condiciones climáticas en el pasado geológico. El hecho de que una teoría explique algunas realidades que no comprendemos, desde luego no *demuestra* su veracidad, pero en cierta medida la hace verosímil.

En la actualidad, los climas tienen una distribución zonal, en primer lugar dependiente de la latitud, y en segundo lugar, influida en alto grado, por la distribución de tierras y mares, y por las corrientes en el último caso. *No obstante, predomina la influencia de la latitud.* La situación debe ser más o menos esta, aunque debemos comprender bien que varios factores, posiblemente terrestres aunque de forma parcial, e indudablemente cósmicos, pueden haber causado diferencias periódicas en la temperatura, lo que afectaría a *todo* el globo. *Esto debe haber cambiado los cinturones climáticos, o modificado su intensidad relativa, pero nunca habría destruido la distribución climática zonal.*

Modificado, como se dijo antes, por la distribución de tierras, nos encontramos ahora las siguientes zonas muy distintas: un cinturón ecuatorial húmedo, de anchura desigual, seguido a ambos lados por una zona particularmente variable, donde prevalece un clima árido. Esta zona árida está muy influida por las condiciones geográficas. En latitudes superiores, a estas zonas áridas subtropicales le siguen de nuevo, en cada hemisferio, un cinturón templado y húmedo. Finalmente, cada polo está rodeado, al menos en la actualidad, por un área de clima glacial.

Sobre la *Tierra*, el cinturón húmedo tropical se caracteriza por una erosión acuosa intensa y una vegetación exuberante, prácticamente sin máximos de crecimiento estacionales, como indican los anillos anuales de los árboles. Cuando el clima es lo bastante húmedo, y el drenaje lo suficientemente imperfecto, buena parte de la materia vegetal muerta se conserva sin descomponerse del todo, y se convierte en turba, la sustancia madre del lignito y del carbón⁹⁶.

Los *mares* tropicales contienen abundantes productos de la erosión terrestre en sus zonas costeras. Están más caracterizados por los arrecifes calcáreos orgánicos, principalmente producto de los corales, pero también de los briozoos, moluscos recifales y algas. En general, el limo es más abundante en los sedimentos de aguas cálidas que en los de mares más fríos. La flora y la fauna contribuyen a esto, así como la simple precipitación química. (El limo es considerablemente más soluble en frío que en agua caliente).

En concreto, el cinturón subtropical árido está probado solo sobre los continentes, con sus productos típicos de erosión, fauna y flora. La mayoría de sus sedimentos acuosos prominentemente característicos son los que se producen

⁹⁶ *Depósitos tropicales de turba* se conocen en Sumatra (Kooders, 1891), Ceilán (Keilhack, 1915), Kibirizi en el Lago Tanganika (Krenkel, 1920), en el Congo, Guyana Británica (Harrison, 1923). Durante algún tiempo se pensó que solo el clima frío favorecería la formación de turba.

por la evaporación activa, en los mares epicontinentales, concretamente en cuencas alejadas del mar. Aquí encontramos dolomita, yeso, anhidrita, y en particular halita. Además, debemos mencionar como sedimentos típicos: yacimientos rojos, y en concreto extensos depósitos de polvo y arena de grandes desiertos eólicos⁹⁷.

Hemos visto que las condiciones geográficas influyen en su mayor parte en la presencia y la extensión meridional de un clima árido en cualquier hemisferio. En cuanto a los vientos monzones, están ausentes de forma regular al este de inmensas masas de tierra. En el interior de los grandes continentes se intensifican, extendiéndose mucho más y alcanzando latitudes mayores. En la región de los alisios encontramos condiciones áridas concretamente al oeste de las altas cadenas montañosas, pero se dan al este de ellas en la zona de los vientos del oeste. Esto es lógico: la aridez está más pronunciada a sotavento de las tierras altas lluviosas.

En el océano abierto, las condiciones del cinturón árido son similares a las de los trópicos. Nuestros arrecifes coralinos actuales requieren agua de mar a una temperatura no inferior a los 22°C. En consecuencia, están restringidos a aguas superficiales, y no se extienden más allá de los 28° de latitud, una cifra que se reduce considerablemente allí donde las corrientes oceánicas frías disminuyen la temperatura. Las algas recifales se extienden ligeramente más allá.

El clima polar se caracteriza en particular por la frecuente aparición de una capa de hielo sobre la Tierra, y los consecuentes fenómenos de erosión y sedimentación glaciár. La dominancia del hielo depende desde luego de la humedad y de la precipitación: los veranos fríos y húmedos son de mucha mayor influencia que los inviernos fríos y secos. La altitud es otro factor, así como la latitud: los altos picos poseen glaciares incluso por debajo del ecuador. Pueden existir oscilaciones considerables en la glaciación polar, como está bien comprobado en el Pleistoceno.

En la zona subpolar, la fauna y la flora están especializadas. Están enormemente desarrolladas en el cinturón templado húmedo. Los bosques de árboles frondosos muestran un aumento de anillos anuales, aunque el crecimiento está restringido a la estación estival. Bajo condiciones adecuadas de precipitación y drenaje, las ciénagas de turba llegan a ser frecuentes y extensas, pero estos depósitos raramente alcanzan el espesor encontrado en los exuberantes pantanos tropicales. El crecimiento de los árboles disminuye gradualmente a mayores latitu-

⁹⁷ Sin embargo, de ninguna manera son todos grandes formaciones de arenisca terrestre procedente de la arena del desierto. Las areniscas eólicas aparecen incluso en las dunas de arena de zonas húmedas templadas, y grandes masas de arena se acumulan en las “arenas” de un clima glacial que de nuevo producen extensos depósitos eólicos (loess).

des, y por lo general cesa cuando el mes más frío cae por debajo de los 10°C de media.

Estos criterios climáticos naturalmente también se aplican al pasado geológico, al menos de una forma general. Donde encontremos *extensas* huellas de glaciación^[26] *regional*, evidentemente existió un clima polar. Los yacimientos rojos yesíferos, las areniscas desertícolas, y en particular los yacimientos de halita, apuntan hacia un clima árido cálido del cinturón subtropical. Los *extensos* depósitos de carbón *regionales* se pueden haber originado solo en una zona húmeda, bien en la zona lluviosa tropical o en el cinturón de bosque templado; los anillos anuales nos pueden ayudar a determinar en cuál de ellos, aunque también puede hacerlo el carácter de los sedimentos intercalados, o la fauna de los depósitos marinos adyacentes (por ejemplo, los arrecifes de coral).

Si, para diferentes sedimentos de los últimos períodos geológicos, que podemos considerar sin riesgo lo suficientemente contemporáneos, proyectamos estos indicios característicos del clima, vemos que invariablemente estos cambian por sí mismos en los cinturones, más o menos paralelos a algún círculo mayor de la esfera terrestre, pero *estos círculos no coinciden con el ecuador actual*: ¡la divergencia puede alcanzar incluso los 60°! Sin embargo, de forma invariable se encuentran dos cinturones áridos, separados por un cinturón intermedio húmedo y carbonáceo, y seguido por dos zonas templadas carboníferas, más o menos similares; por último, encontramos en muchos casos, pero de ninguna manera en todos, huellas de glaciación, evidentemente polar, de amplia extensión, aproximadamente en ángulo recto al círculo mayor y oblicuamente al cinturón carbonífero central.

Wegener extrae la conclusión obvia de que estos cinturones son climáticos, pero si esto fuera cierto, la situación de los polos en el mapa debe haber cambiado considerablemente durante el tiempo geológico. La ausencia ocasional de una prueba de clima polar por sí mismo puede deberse a dos causas: porque que no haya existido clima glacial alguno, a causa de una temperatura generalmente más alta en la Tierra, o porque las regiones polares no estuvieron sobre tierra firme. Esto último es probable, en particular, si existieran en un hemisferio huellas claras de una intensa glaciación regional sobre la propia zona, aunque estuvieran prácticamente ausentes en el otro (Permo–Carbonífero).

Sin embargo, si cambiamos solo la situación de los polos, no podemos obtener disposiciones totalmente satisfactorias de los cinturones climáticos; debemos también modificar las distancias entre varios continentes, tal y como se distribuyen ahora sobre el mapa de la Tierra.

Necesitamos agrupar los continentes actuales durante todos los períodos más antiguos, desde el Carbonífero hasta el Cretácico inclusive (los períodos precarboníferos son bastante poco conocidos en detalle como para no de intentar analizarlos de esta manera).

Solo desde finales del Cretácico, a lo largo del Terciario, derivaron gradualmente los continentes independientes y alcanzaron sus posiciones actuales.

Los polos también debieron permanecer aproximadamente inmóviles (en relación a África) a finales del Paleozoico y todo el Mesozoico, pero desde el Eoceno, repentinamente, se volvieron incontrolados. Durante el período más primitivo, el polo Sur permaneció, *con relación a África*, en un área comprendida dentro de un círculo de 700 millas de radio, al este y sudeste del punto meridional de ese continente. El polo Norte, también en relación a África, permaneció dentro de un área similar en el Pacífico norte, muy al sur de las actuales Islas Aleutianas. Durante el Terciario y el Pleistoceno, ambos polos habrían atravesado una ruta curva irregular de unas 3.000 millas hacia sus posiciones actuales en el mapa.

Para más detalles me remito a las obras de Wegener, concretamente *The Origin of Continents and Oceans*, Londres, 1924, y a la serie de mapas muy llamativos en Köppen–Wegener, *Die Klimate der geologischen Vorzeit*, Berlín, 1924⁹⁸. Aquí se muestra la concepción geográfica de estos autores durante el Carbonífero, y a través de los sucesivos períodos geológicos, hasta la actualidad. Estos mapas no muestran solo los continentes, los polos y el ecuador en sus sucesivas posiciones, sino también la aparición de varias facies de sedimentos en los continentes que indican zonas climáticas.

Ahora *toda esta deriva es relativa*; no tenemos medios de verificar la ruta de cada punto sobre el mapa en relación a las coordenadas absolutas de la esfera terrestre. *Solo podemos hacerlo sobre el área que suponemos fija sobre el mapa*. Como tal, se ha elegido África, que está en el centro, pero esto es totalmente una suposición. Las rutas de todos los demás continentes, y también de los polos, están determinadas únicamente en relación a un África fija; si África se movió, sus rutas absolutas cambian en la misma proporción en la dirección contraria. Esto es de particular importancia en relación con la ruta real de los polos. No hay necesidad de esfuerzo alguno en cuanto a un cambio de la situación del eje de rotación terrestre en el espacio; solo necesitamos mover esa porción particular de la corteza, que llamamos África, en la dirección opuesta sobre el mapa. El que África en realidad ha derivado, lo sugiere vigorosamente la poca compensación isostática que existe

⁹⁸ Estos mapas se reproducen aquí con el permiso especial de los autores y de los editores, Gebrüder Borntraeger, Berlín.

en su costa oriental, que a este respecto, aunque en un grado menor, es similar a la costa oriental de Asia.

Deseo llamar la atención concretamente sobre el hecho de que hay pruebas de una extensa glaciación durante el Carbonífero y el Pérmico, alrededor del polo Sur, que se cree estuvo a la altura del punto sudeste de África. Estas glaciaciones fueron verdadero hielo terrestre polar, cuyas huellas llegan tan al norte como al alto Congo. El polo Norte caía entonces dentro del océano⁹⁹. A menos que los continentes se dibujen separados, esta glaciación se extiende ahora sobre un área tan amplia que es totalmente imposible sin un equivalente muy importante en el hemisferio norte, en concreto sobre la parte noroccidental del continente norteamericano, donde lo excluye otra prueba climática. Solo la agrupación conjunta, en torno al polo Sur, de las actuales Sudamérica, África, India, Australia y la Antártida, con pruebas de este gran hielo polar terrestre, ofrece una explicación verosímil de este enigma¹⁰⁰. La distribución de las floras de *Pecopteris*, *Lepidodendron* y *Gangamopteris*–*Glossopteris* en los Depósitos de Carbón está también de acuerdo con esta suposición, así como la localización de las facies salíferas muy bien representadas.

Durante el Pérmico, disminuye la prueba de la extensión de la glaciación antártica, que llega a estar ausente durante el Triásico, el Jurásico y casi durante el Cretácico. No obstante, vemos que el polo Sur permaneció aproximadamente so-

⁹⁹ Se han citado varias huellas de evidencias probablemente pseudoglaciares para el hemisferio norte (Oklahoma, Texas, Cuenca del Ruhr, Montes Urales). Solo un caso parece ofrecer una complicación muy seria: la tillita de Squantum, en el Permo–Carbonífero de Nueva Inglaterra, descrita de una forma muy convincente por R.W. Sayles (Harvard, 1914). Si esto es una verdadera tillita, se habría formado solamente en las tierras altas, o sería una discrepancia muy seria, ¡situada como lo está en medio de la evidencia de un clima ecuatorial húmedo, el Carbonífero, y un clima árido subtropical en el Pérmico!

¹⁰⁰ La dirección de las estrías, así como las rocas representadas en los cantos rodados, también sugieren fuertemente que Sudáfrica y Sudamérica estuvieron unidas (A. du Toit, 1921). Los periodos interglaciales se ponen igualmente aquí en evidencia, como en el Pleistoceno del hemisferio norte.

La correlación exacta de los yacimientos glaciares de Sudamérica, Sudáfrica, India y Australia está todavía en discusión. En cualquier caso, estos varían desde el Carbonífero hasta el Pérmico primitivo. Esta carencia de datos establecidos por completo no la hace cierta si el polo sur realmente hizo dicha gran ruta circular hacia el este y volvió hacia el sudoeste como está representado en los mapas de Wegener.

En la Colonia de El Cabo también existe una glaciación devónica más antigua: la serie Table Mountain bajo el Devónico Medio marino. Como se dijo antes, nuestra información, considerando la época anterior al Carbonífero, es aún bastante fragmentaria para extender un análisis similar a los periodos anteriores al Mississippense.

bre lo que ahora es la Antártida. Pero en la Antártida occidental y el extremo sur de la Patagonia, encontramos, en lo que deben haber sido entonces latitudes altas, una exuberante flora, que indudablemente es templada, en el Jurásico así como en el Cretácico. Lo mismo se aplica a Australia y Nueva Zelanda.

Se han citado *arrecifes* triásicos para Oregón; según los arrecifes de coral, este estaría bastante más cerca del polo Norte (40° latitud N) como lo estaba en esa época. ¿Son ciertos estos *arrecifes*? Los limos triásicos son de aparición común en Alaska (J.B. Smith); ¿Se dan allí arrecifes auténticos? Si es así, estos serían ciertamente la prueba adicional concluyente del calentamiento de la atmósfera durante el Triásico, y subraya la ausencia probable de cualquier clima verdaderamente glacial incluso en los polos.

En el Jurásico hallamos una flora curiosamente parecida en la mayoría de las latitudes; sin embargo, las dos zonas áridas están presentes. También queda de manifiesto alguna diferenciación zonal de la flora: el ginkgo, presente en Spitzbergen, está en esa época ausente a lo largo de toda la Antártida. También las coníferas jurásicas en Groenlandia (en ese momento a 42–50° N) muestran anillos anuales muy distintos. Encontramos anillos anuales más desarrollados aún en las coníferas del Jurásico (y del Triásico) de Nueva Zelanda (a 60° S en esa época).

Los arrecifes de coral del Jurásico llegan tan al norte como San Francisco (en ese período a 45° N), pero acaban allí; más al norte, la *Aucella* indica un clima más frío. En otra parte, la fauna marina muestra claramente la zonación climática durante el Jurásico (Neumayr–Uhlig).

En el Cretácico (y en la mayoría del Eoceno)¹⁰¹ existen floras templadas exuberantes en dichas latitudes altas (en ese período) como Patagonia, Australia y Nueva Zelanda (en esa época por encima de los 60° S). Sin embargo, los bosques fósiles de Nueva Zelanda muestran anillos anuales marcados.

¹⁰¹ El Eoceno también fue por lo general más cálido que en la actualidad. Da la impresión de que con el Oligoceno empezó un descenso general de la temperatura, aunque debemos recordar que en las actuales regiones árticas en esa época la latitud llegó a ser rápidamente unos 15° algo más alta.

En Alaska (por esa época a 55–60° N) encontramos lignitos eocénicos con *figus*, *magnolia*, *platanus*, *quercus* y *sequoia*, dando prueba de un clima mucho más suave que en la actualidad. La fauna marina también era templada.

En Islandia, norte del Groenlandia y Grinnell Land (en esa época a 42–45° N) esta flora (considerada antiguamente miocénica) contiene *ginkgo*, *taxodium*, *ulmus*, *nymphaea* y *populus*. En Spitzbergen (en esa época a 40° N) encontramos *taxodium*, *sequoia*, *libocedrus*, *populus*, *quercus* y *magnolia*.

Todo esto aporta la evidencia de un clima muy diferente del actual.

Aunque todo esto apunta hacia un clima del Mesozoico por lo general cálido, existen huellas de hielo antártico. Está por confirmar la cita de Hennig de un *Trias* glacial en África central (1915) próximo a la halita *Jurásica* de Angola. En el *Jurásico* no se ha citado huella alguna de hielo polar. Para el *Cretácico* tenemos bastante información definitiva. Hace unos 40 años, el anterior geólogo del gobierno en el sur de Australia, H.Y.L. Brown, citó pruebas de acción glaciaria para el Mesozoico de Australia central. Basedow y varios otros confirmaron esto. En 1925 W.G. Woolnough y T.W.E. David¹⁰² fijaron la edad de esta glaciación (supuestos callaos erráticos y tillitas extendidas sobre un área en el sur de Australia que mide 200x100 millas) en el Cretácico medio. En esta época el polo Norte estaba aún en el Pacífico, más al sur de la actual Alaska (con yacimientos de carbón templados)¹⁰³.

En consecuencia, parece inevitable aceptar que, probablemente por razones cósmicas, la temperatura general de la Tierra fue más elevada en el Mesozoico que durante las últimas etapas del Paleozoico o el Terciario superior y el Pleistoceno. Se han citado pruebas glaciales ya en el Eoceno–Oligoceno para algunas tierras altas de Wyoming¹⁰⁴. El polo Norte se empezaba a mover entonces rápidamente hacia Alaska. Esto no podrá haber sido auténtico hielo *polar*, y la latitud no habría sido superior a los 45° N. Los lignitos, como hemos visto, se dan incluso a latitudes superiores (Alaska) con una flora templada, aunque bastante antes en el Eoceno.

No obstante, en lo que se considera posiblemente Mioceno, existen morenas y verdaderas tillitas solidificadas en Alaska y Siberia nororiental, enormemente más antiguas que la extensión de la glaciación actual de estas montañas, en comparación reciente (Pleistoceno). Estas tillitas más antiguas están inclinadas localmente 55–60°, aunque las arcillas de canto rodado no solidificado (Pleistoceno) de las segundas, prácticamente no están alteradas¹⁰⁵. Russel también menciona estas antiguas tillitas plegadas en los Montes St. Elías. El hielo fósil de Siberia nororiental y Alaska noroccidental se supone que son de la misma edad miocénica (?).

Wegener y Köppen suponen que durante el Mioceno el polo Norte estaba justo al norte de Alaska; que durante el Plioceno viajó a lo largo de todas las islas

¹⁰² El artículo anterior de la Geological Society de Londres, 1925. Esta glaciación no es aceptada por Köppen–Wegener (*op. cit.*, p. 78).

¹⁰³ Nathorst demostró que las supuestas tillitas cretácicas de Spitzbergen son del Silúrico.

¹⁰⁴ Charles J. Hares, *Geol. Society of America*, 1925. No mencionada por Köppen–Wegener.

¹⁰⁵ S. Richarz, *Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Gesellschaft*, 1922.

septentrionales del continente americano, cruzó Groenlandia en el Pleistoceno, y solo recientemente llegó a su posición actual. Esto implicaría que el centro de la glaciación ha viajado hacia el este, a través de América del Norte hacia el interior de Europa, de la que parecen existir auténticas huellas: el centro más antiguo del Kansiano (hielo de Keewatin) está al oeste de la Bahía de Hudson, pero el segundo centro del Illinoiano está en el Labrador. Hasta ahora parecía imposible correlacionar satisfactoriamente las fases glaciales e interglaciales de América y Europa¹⁰⁶.

Esta época nos permite solo una estimación aproximada del polo Sur. A partir del Mesozoico, permanece sobre lo que en la actualidad es el continente antártico. La enorme capa de hielo de la Antártida, posiblemente con un núcleo (pequeño) por lo menos del Jurásico, impide toda observación.

Evidentemente, el Terciario superior y el Pleistoceno constituyen períodos durante los que las condiciones climáticas de toda la Tierra fueron más frías que en el Mesozoico. La época glacial del Permo–Carbonífero aparentemente fue más severa que la del Pleistoceno.

Distribución de la vida. Puentes intercontinentales.— Se reconoce generalmente que la distribución de la vida, tanto la flora como la fauna, en la Tierra requiere muchas conexiones entre los continentes a partir del Cámbrico. Por lo general, este problema se resolvió con la hipótesis de los “puentes intercontinentales.”^[27]

Nuestro conocimiento de la vida, su evolución y dispersión, todavía es extremadamente incompleta y abunda en innumerables problemas. Esto se aplica no solo a las formas fósiles, sino también a la distribución actual, incluso de nuestras propias razas humanas. Por lo tanto no debería sorprendernos demasiado que exista una vasta divergencia de opinión, concretamente, sobre la paleontología. En 1917, T. Arldt suscribió un voto entre los paleontólogos y biólogos en cuanto a las conexiones terrestres que ellos consideraban necesarias para varias épocas y entre varios continentes. Como se podría esperar, este voto fue más que unánime.

¹⁰⁶ El *Mastodon*, extinto en el Pleistoceno europeo, está presente en todas las subdivisiones glaciales americanas.

El *Mammut* (*E. primigenius*) solo aparece en el último período glacial americano, pero se distribuye por toda Europa.

Köppen considera el Ilioniano equivalente al más antiguo —muy restringido— Gunz—glacial de Europa: el Kansiano y el pre-Kansiano serían equivalentes al Terciario superior de Europa, cuando ya no existía hielo terrestre en Europa.

De acuerdo con la teoría de la radiación de Milankovitch, el intervalo entre el más antiguo Gunz—glacial europeo y la actualidad podría ser de 600.000 años (París, 1920).

Incluso mostraba extraordinariamente las mayorías inequívocas en favor de algunos puntos importantes, que coinciden mucho mejor con las conexiones terrestres e interrupciones de lo que se podría deducir del esquema de la deriva de Wegener. Existen, por ejemplo, la separación de Australia de África en el Jurásico inferior, Brasil de África en el Cretácico, Madagascar de África en el Jurásico, y la India de Madagascar en el Eoceno. La divergencia de ideas entre Norteamérica y Europa es natural y especialmente mayor; existe un acuerdo más evidente en cuanto a la conexión del Paleozoico, pero las opiniones son más confusas para épocas más posteriores. Esto no puede asombrarnos, si Wegener tiene razón en que la separación se desarrolló gradualmente, hasta llegar a completarse solo en el Cuaternario. Las conexiones antes de la separación a menudo se interrumpen por la sumersión epicontinental. Oscilaciones continentales similares controlan los “puentes intercontinentales” entre Norteamérica y Sudamérica, y Norteamérica y Asia nororiental. Las oscilaciones de los mares epicontinentales también hacen más confusa la distribución de la vida marina. El que las conexiones terrestres requeridas estuvieran causadas por los “puentes intercontinentales” *oceánicos* sumergidos, está en contra de toda la concepción moderna del fondo oceánico y de la isostasia. Sería imposible que una masa continental existiera y *permaneciera* deprimida a profundidades oceánicas de 4 ó 5 km. Hemos visto, después del endeizamiento hacia el exterior de la compresión lemúrica de Asia, que allí no queda sitio para una “Lemuria” sumergida, que habría sido un puente entre África y la India, hasta el Jurásico.

De nuevo aquí, al menos, podemos decir que la deriva y su análisis realizado por Wegener ofrecen una respuesta más verosímil que cualquier otra teoría propuesta con anterioridad. Concretamente en esto, las pequeñas dificultades y las aparentes discrepancias de detalle no deberían desanimarnos excesivamente. Estamos tratando aquí con el más complejo de todos los problemas, y del que sabemos menos. Ahora, más que nunca, es necesario que no nos perdamos en los detalles, sino atenernos a los aspectos más relevantes.

CONSECUENCIAS NECESARIAS DE LA HIPÓTESIS DE JOLY SOBRE LA DERIVA TANTO INTER- COMO INTRACONTINENTAL

Hasta ahora hemos considerado la deriva de los continentes en su conjunto para cada una de las grandes masas flotantes. Sin embargo, por sí mismos, estos témpanos de sial deben dislocarse considerablemente en el proceso, como era de esperar si tenemos presente en este caso una vez más cuán pequeño

es el espesor (30–100 km) de la corteza siálica media, en relación, en parte, con continentes como Norteamérica, Eurasia o la antigua Gondwana.

Hemos visto también lo variable que es el espesor de la corteza de sial, mientras que toda protuberancia superficial sobre el nivel medio debe estar compensada por una protuberancia hacia abajo de la superficie basal ocho veces mayor dentro del sima.

La temperatura del sima, por acumulación del calor radiactivo en el sentido de Joly, y su estado de solidez o fusión, deben variar localmente.

En primer lugar, la fuente de calor —la cantidad de material radiactivo, tanto en el sial como en el sima— probablemente sea variable; esto lo sugieren las diferencias en ciertas grandes extrusiones basálticas (basaltos de Oregón *versus* Thule).

En segundo lugar, el recubrimiento de la capa de sial, originado en su mayor parte por su propio calor generado por radiactividad, es ciertamente variable, y depende de su espesor, de la desigual cobertera de sedimentos de radiactividad ampliamente divergente, y de las grandes intrusiones de batolitos ácidos más radiactivos.

En consecuencia, deben existir condiciones particularmente variables bajo los continentes.

El siguiente razonamiento está basado en el supuesto de que Joly tenga razón de que existe un cambio periódico desde un estado verdaderamente sólido (cristalino) a un estado líquido (sin tener en cuenta su viscosidad) en el substrato de sima.

Hemos visto que cuando se licúa el sistema cristalino, este proceso debe comenzar desde la base de la corteza superior hacia abajo, pero la solidificación debe comenzar más profunda y progresa hacia arriba. Por lo tanto, y en general, las capas superiores del sima, inmediatamente por debajo de la corteza externa, siempre sólida, llegarían a licuarse antes y permanecerían en estado líquido mucho más tiempo que las zonas más profundas.

Esto conduce a la conclusión de que las compensaciones profundas de sial menos fusible, bajo las tierras altas de la superficie, *permanecerán varadas* durante mucho tiempo, tanto antes como después de la licuefacción máxima en el sima, mientras flotan otras grandes áreas continentales, y el sima subyacente puede estar sujeto ya a las ondas mareales, o a otras corrientes (siempre que, como hemos visto, su viscosidad pueda ser reducida lo suficiente por las temperaturas dominantes).

Si estas condiciones realmente existen, es obligado que causen la deriva intercontinental diferencial y aparezcan presiones tectónicas muy grandes dentro de los continentes, lo que originaría la deriva intracontinental. Ambas tensiones pueden ser de naturaleza compresiva o expansiva; pueden darse los movimientos de torsión y los verticales localmente distintos, producidos por diferencia en la flotabilidad y en el volumen del substrato soporte (el sima fundido es menos denso y de mayor volumen que la fase sólida). Probablemente esta sea la causa principal de la deformación intracontinental, el que las presiones no se refieran inmediatamente a la deriva de los témpanos continentales completos. La deformación intracontinental es radicalmente diferente de la intercontinental, que origina las montañas marginales frontales (cordilleras americanas) o cadenas plegadas mayores causadas por la presión de un continente sobre el otro (cinturón montañoso Alpino–Himalayo).

La existencia de dicha deriva intracontinental a una gran escala es evidente. Un vistazo a los mapas geológicos de todos los continentes da la impresión de una masa multicolor, removida y causada para que fluya en las direcciones señaladas. El último trabajo extraordinario de Emile Argand sobre la tectónica de Eurasia aporta la prueba una vez más de una deriva intraasiática, concretamente al sur (hacia el ecuador), como expresan las virgaciones muy acusadas en todas las cadenas montañosas del interior; Argand llama a esto la “plasticidad de Asia”. Me parece claramente que hay una deriva similar hacia el sur, por las llanuras norteamericanas, inmediatamente al este del frente mayor de las Montañas Rocosas. Esta deriva debe haber sido efectiva tanto durante como después del diastrofismo larámico. Puede explicar los curiosos ribetes de las montañas que vemos ahora en Wyoming y Montana, y las distorsiones aserradas hacia el sur de las montañas frente a Colorado. Esta deriva evidentemente estuvo activa incluso después del principal diastrofismo larámico, continuó en los últimos tiempos del Eoceno superior, y se detuvo en el pre–Oligoceno. Incluso parece ser contemporáneo con el gran corrimiento frontal en el norte de Wyoming, Montana y Alberta (Canadá), en la última fase de la revolución del Mesozoico (Larámico), cuando las Rocosas Larámicas probablemente ya permanecían bien varadas.

En el cinturón más o menos ecuatorial tanto de América como de Eurasia (en concreto entre Eurasia y África) puede notarse una curiosa *inversión de la deriva*, hacia la que llamó la atención, que yo sepa, por primera vez Argand (1922). Ante todo, existió un fuerte movimiento compresivo, causado por una deriva relativa hacia el sur de las masas septentrionales, frente a una deriva similar relativa hacia el norte del continente meridional de Gondwana, lo que provocó el cierre del gran geosinclinal del Tetis, y el plegamiento de las cadenas más antiguas (larámicas) alpino–himalayas. Probablemente, el gran círculo hacia el este de la cordillera

a través de las Islas del Índico Occidental se debió parcialmente a la misma presión.

En la última parte de este período comenzó una gran deriva expansiva, en comparación reciente (del Oligoceno superior para el Mediterráneo), que causó la reapertura del rift del antiguo Tetis, así como, aparentemente, las profundas grietas de las cuencas del Golfo de México y del Caribe en América. (Argand llama “ojales” a estos rifts cortos pero muy agrietados). *Entretanto continuó el momentum* relativo hacia el norte de las principales masas de las cadenas septentrionales, los Alpes, incluso junto con un promontorio escindido de la masa africana, y al sur de ellas se amplió el rift del Mediterráneo, lo que desvió la cadena de los Apeninos desde el este-oeste hacia el sur-sureste. Esto causó el gran corrimiento “alpino” final de los Alpes y de los Cárpatos, sin tener en cuenta la deriva expansiva ya iniciada en el Mediterráneo. El problema mecánico de esto es uno de los peores rompecabezas de los Alpes: ¡ciertamente *la compresión por el arrugamiento de la Tierra* no nos puede ayudar aquí! ¡Solo la deriva y las corrientes subcorticales del sima pueden explicar del todo estos acontecimientos!¹⁰⁷

Esta expansión en el cinturón ecuatorial evidentemente es solo un poco más tardía que la deriva intracontinental hacia el sur de las grandes llanuras americanas y del interior de Asia, pero aproximadamente contemporánea de la deriva *relativa* acelerada hacia el oeste de las Américas de Wegener, y de la gran apertura actual del Atlántico Norte. *Esta expansión debe haber ocurrido en la última fase de la revolución (alpina) del Terciario superior, inmediatamente antes de la fase de resolidificación actual del sima de Joly.*

Durante la revolución Larámica, justo antes de que se hiciera particularmente resistente el fondo del Pacífico e impidiera en gran medida la deriva relativa hacia el oeste, podría parecer como si el magma, detrás de la protuberancia de la cordillera, empezase a trabajar hacia el ecuador (deriva de Taylor), concretamente después de que la solidificación del sima fuera progresando y la protuberancia frontal americana, incluyendo las Montañas Rocosas, hubiera quedado varada, bloqueando un desagüe de la corriente de sima, probablemente mareal, al oeste.

¿Qué puede haber causado la curiosa expansión subsecuente que dio lugar a una deriva independiente en el cinturón ecuatorial, y reabrió el actual Mediterráneo?

Debemos notar que ya con anterioridad, en el período Permo–Carbonífero, debido a una deriva compresiva, se pudo haber cerrado un Tetis paleozoico pre-

¹⁰⁷ Véanse los mapas de Argand, *La Tectonique de l'Asie*, Bruselas, 1922.

viamente existente (cadenas de los grandes Altaides Permo—Carboníferos, en su mayor parte este—oeste), después de que llegaran las masas también independientes de nuevo, y reabrieran el Tetis del Mesozoico. Parece existir una curiosa alternancia de una deriva mayor intercontinental hacia el oeste de América, y una deriva mayor hacia el ecuador (en esa época), coincidiendo la primera con la expansión en el cinturón ecuatorial. Me refiero aquí a la deriva absoluta hacia el oeste, no a la mera deriva relativa como para Europa y África.

Schweydar calcula que la deriva absoluta hacia el oeste, producida por el retraso mareal de la participación de la corteza externa en la rotación de la Tierra, que es ya superior en el ecuador, se incrementa todavía en el cinturón ecuatorial por un mayor retraso precesional, que, no obstante, se anula a 36° de latitud N y S. Si esta fuerza existe, originaría una sinuosa protuberancia en el ecuador, convexa hacia el oeste, en la curva de desplazamiento (absoluto) de los continentes hacia el oeste, y finalmente tendría que terminar con la *expansión* de las masas en un movimiento más rápido hacia el oeste de la corteza ecuatorial. Al mismo tiempo, la acumulación en el ecuador de un exceso de materia por la deriva centrífuga última en dirección meridiana, puede iniciar una inversión del movimiento hacia los polos, ayudados posiblemente por un retraso temporal del período de rotación diaria de la Tierra por un alargamiento del radio, cuando el sima se expande en la fusión.

Podría parecer claramente como si los diferentes ciclos de revolución de Joly no hubiesen sido de la misma magnitud, y que en consecuencia la cantidad de deriva durante ellos habría sido mucho mayor en un ciclo que en otro. Probablemente la profundidad a la que se había licuado el sima, y en consecuencia el espesor de la capa fluida, habría sido diferente para las distintas revoluciones y también para los distintos continentes. Consecuentemente, las porciones más gruesas de algunos de los continentes de sial podían haber permanecido varadas durante un período mayor o menor en las diferentes revoluciones, y en alguna de ellas las compensaciones mayores posiblemente nunca debían haber llegado realmente a flotar. Naturalmente, dichas porciones varadas de los continentes no pudieron tomar parte en la deriva general, o solo pudieron hacerlo de un modo muy limitado, arrastrándose en la parte posterior de forma considerable. Lógicamente se mantiene una diferencia sobre la profundidad a la que está la capa de sima líquido bajo el témpano de sial en movimiento. Da la impresión de que la compensación del sial más profundo pudiera permanecer en cualquier caso rezagada, porque siendo tan grande la compresibilidad del sima líquido, la viscosidad aumentaría en estas zonas más profundas. También, habría existido una diferencia en la solidez del anclaje causado por la varada real. Si las compensa-

ciones se asentaron a mucha profundidad, por debajo de las tierras altas más elevadas, se extenderían a tales profundidades y a tales temperaturas que el material siálico se habría llegado a debilitar enormemente. Además, el fondo del océano de sima líquido puede estar solo la mitad sólido y en consecuencia permitir todavía una deriva considerable, aunque retardando el movimiento general. Por último, tendría que haberse dado un sobrecalentamiento tan severo bajo las enormes masas continentales, que por las razones establecidas previamente aquéllas deberían haber permanecido más inmóviles. O bien algunas regiones debieron ser más radiactivas, que necesariamente les situaron a flote *más tarde* cuando, en el lado oceánico del continente, el frente llegó a detenerse por la progresiva aceleración, sobre ese lado, de la solidificación suboceánica.

Por esta razón los distintos continentes se pueden haber movido con una amplitud variable, uno respecto de otro, durante las distintas revoluciones de Joly. Da la impresión de que en el Paleozoico más antiguo, antes del diastrofismo Caledoniano, América debió haberse movido hacia el oeste más rápido que Eurasia, abriendo un geosinclinal atlántico paleozoico, que parcialmente se cerró de nuevo durante el diastrofismo Caledoniano, a causa de la deriva de Eurasia hacia el oeste, que otra vez llegó a ser más rápida que la de Norteamérica. Así, esta última, en su adelantamiento a la primera, cerró el antiguo Atlántico nuevamente y plegó las cadenas Caledonianas. En el período Mesozoico, y cada vez más en las revoluciones del Terciario, la deriva del continente americano podría haber llegado a ser otra vez más rápida que la de Eurasia, lo que dio lugar a la apertura del antiguo rift y originó el actual Atlántico. De una forma similar, cuando el continente de Gondwana empezó a derivar más rápidamente hacia el oeste, en apariencia habría dejado rezagados, primero, a Madagascar y Australia, y más tarde a la India; finalmente, parece ya comenzar una nueva desviación en el gran rift africano. Hay indicios de divisiones embrionarias similares en Eurasia en el rift del Rhin y en el nuevo geosinclinal cicatrizado de los Urales, que permaneció largo tiempo débil y por lo general móvil.

La última revolución alpina debe haber sido particularmente completa y en consecuencia activa, lo que significa una fusión del sima a profundidades muy considerables, temperaturas más altas, y viscosidades del magma más bajas. El movimiento, según Wegener, del polo Norte, con relación a África, muy rápido hacia el norte y el este, indica una apreciable deriva general hacia el oeste de toda la capa. Ya hemos mostrado que esta deriva relativa no implica un cambio real del eje de la Tierra, sino que, probablemente, solo sea un movimiento equivalente hacia el oeste y el sur (hacia el norte en el hemisferio sur) de toda la corteza. Al mismo tiempo, la deriva hacia el oeste tanto de Norteamérica como de Sud-

américa se hizo considerablemente mayor que la de Eurasia y África (ahora varadas en el cinturón tético bajo las enormes tierras altas, todavía no erosionadas), lo que amplió el Atlántico, y amontonó las nuevas cadenas costeras muy recientes, frontales, en el lado oeste de los continentes americanos, simultáneamente con el enorme retorcimiento de toda la corteza continental americana y el inevitable gran ajuste isostático subsecuente. La deriva hacia el oeste de Eurasia y de los remanentes del antiguo continente de Gondwana, aunque menos extensivo que la de Norteamérica y Sudamérica, habría sido, sin embargo, considerable, como lo indica el complicado sistema de arcos insulares sobre la costa este de Asia, y a través de todo el Pacífico occidental, la partida de Nueva Zelanda más retrasada, y el ensanchamiento del Océano Índico.

Deberíamos observar una causa mayor para el ajuste isostático en el debilitamiento de las masas suavizadas de material síalico, derivado a partir de profundas compensaciones, que originalmente se han introducido y se han quedado rezagadas en el fondo del océano de sima fundido, y que (conforme progresaba la licuefacción hacia mayores profundidades) flotaban de nuevo ahora hacia la superficie contra la base de la corteza de sial, o ascendían inmediatamente después de la deriva de los continentes. Todo esto está perfectamente de acuerdo con los efectos de la deriva tan pintoresca y elocuentemente descritos por Argand (1922).

Naturalmente, una deriva de tan excepcional importancia durante la pasada revolución debe haber significado una disipación del calor particularmente grande, y una resolidificación muy completa del sima. Esto podría, pues, explicar el actual período de reposo, en comparación completo, de la corteza externa de la Tierra, una era de tranquilidad geológica muy afortunada, permítasenos decirlo, si no diseñada, lo que facilitó la evolución de la raza humana y su civilización ulterior. Este período de reposo puede compararse con un largo período de calma similar, que sucedió a la intensa revolución del Permo—Carbonífero, y también a un gran período de grandes logros evolutivos. Durante este, tuvo lugar la era actual de reposo, en comparación de muy poca importancia, y los ajustes mucho menores, los últimos restos de un *momentum* muy retrasado posiblemente tanto de la deriva como de la isostasia, en su lucha contra la rigidez cada vez más enorme de la solidificación del sima más completa en la actualidad.

Esta discusión muestra que el análisis de Wegener de la deriva puede verse muy apoyado por los argumentos de Taylor y Daly, pero que de forma particular, *si Joly tiene razón*, ha abierto una puerta a la respuesta a varios problemas mecánicos, que hasta ahora nos desconciertan. Podemos aplicar la hipótesis de Joly, de una forma muy atractiva, para explicar los hechos indicados o sugeridos en co-

nexión con la deriva inter- e intracontinental. ¡Como es normal, parece existir una verdad parcial en muchas teorías!

Como dije antes, el mismo Joly no se siente muy inclinado a aceptar la deriva diferencial de Wegener, y discute esto en su última obra, pero evidentemente lo considera más que improbable, al menos como una remota posibilidad. Su objeción de nuevo se basa en la resistencia del fondo oceánico.

¿Bastaría la conducción hacia el oeste de la marea magmática de Joly y del retraso precesional de Schweydar para vencer la resistencia del fondo oceánico? Creo que el efecto de la resistencia del sima, incluso en tiempos de solidificación completa, o casi completa, es exagerado, y que se subestima su producción viscosa contra *un empuje firme sobre un inmenso período de tiempo*. Quizás la deriva llega a descansar durante la solidificación *completa*, pero esto es solo un clímax comparativamente corto del largo ciclo, durante la mayor parte del cual el sima permanece muy próximo a su punto de fusión, y parcialmente fluido en capas más finas en la superficie de la esfera de sima, justo por debajo de la corteza de sial. Bajo los grandes continentes, dichos trozos fluidos locales nunca pueden estar completamente solidificados, de lo contrario, se reforman inmediatamente (volcanismo y batolitos). Quizás el fondo oceánico, combinado con un substrato altamente resistente, podría ser en verdad una barrera efectiva contra la deriva *diferencial rápida* durante los períodos de Joly de completa solidez del sima, pero su *simple piel* de sima sólido de 10 km o menos bajo los océanos, durante sus épocas de fluidez, no aparecerían como una barrera para la conducción magmática, controlando los témpanos de sial continental de un espesor que varía de 30 a 100 km con una protuberancia local que duplica esta profundidad. De lo que hablamos aquí es de la deriva *diferencial* que produce el desplazamiento relativo de los continentes respecto de la corteza oceánica, y de un continente en relación con otro; por ejemplo, de Norteamérica *relativo* a Europa, y de Sudamérica *en relación* con África, abriendo y ensanchando el Océano Atlántico. Estos desplazamientos relativos serían solo parte de una deriva absoluta *general* hacia el oeste de toda la corteza, en la que estarían implicados tanto el sial como el fondo oceánico de sima, lo que no podemos verificar.

CONCLUSIÓN

Esto me lleva al final de mi conferencia. No puedo por un momento imaginar que haya convencido a mi audiencia de que todas las teorías de los partidarios de las hipótesis de la deriva continental son correctas. Yo mismo tengo objeciones y estoy lejos de aceptar cada punto de vista como una verdad revelada. Sin

embargo, espero que les haya convencido de que estas hipótesis, consideradas revolucionarias, son serias y están lejos de tener que ser descartadas sumariamente. No son sueños estrafalarios, sino que están basadas en ideas muy serias; están apoyadas por muchos científicos a quienes debo respeto, mientras que otros, al menos, coinciden en que deben considerarse seriamente como una posibilidad. Además, la idea de la deriva tiene la ventaja de que es la primera que abre una perspectiva para una explicación aceptable de numerosos problemas geológicos, que hasta ahora no han recibido respuesta adecuada. La manera en que los hechos *mayores* se encajan en esta teoría es muy sugestiva de la verdad fundamental de que tiene lugar una deriva inter- e intracontinental apreciable. El detalle de este esquema, y en particular la explicación mecánica y física, necesitará una investigación exhaustiva en los próximos años. Se requirieron veinte para alcanzar una unanimidad en nuestras opiniones personales sobre la estructura mayor de los Alpes, de fácil acceso e intensamente estudiados. ¿Cuánto podemos esperar para resolver totalmente la faz de la Tierra? Se conocen solo superficialmente muchas regiones que debemos tener en cuenta y que son vitales para estas hipótesis. Sabemos muy poco de los fundamentos físicos que necesitamos para explicar cómo ocurrió. Pasarán generaciones antes de que pueda explicarse todo y contestar a cualquier pregunta; probablemente esto no ocurrirá nunca. La teoría cambiará mientras progresan los estudios, pero personalmente estoy convencido de que la deriva continental *existe*, no necesariamente la de Taylor, Wegener o Daly, incluso la deriva intercontinental. Si los que se oponen a esta opinión personal, a muchos de los cuales veo entre mi audiencia, y a los que oiremos inmediatamente, solo consintieran verla en este aspecto, podemos esperar un mejor progreso en la aproximación gradual a la verdad.

LA DERIVA CONTINENTAL

Bailey Willis¹⁰⁸

Stanford University, California

RESUMEN

Después de considerar la teoría de la deriva continental con declarada imparcialidad, concluimos por medio de razonamientos geofísicos, geológicos y paleontológicos, que debería ser rechazada, puesto que la sugerencia original de la idea procede de la semejanza de la forma (líneas de costa de África y Sudamérica) que por sí misma no constituye una demostración, porque una deriva así habría destruido la semejanza por defecto, y porque otras contradicciones deshacen las consecuencias necesarias de la hipótesis.

La sugerencia de Wegener de que los continentes se han separado a la deriva, ha tenido en Europa buena aceptación por parte de científicos cuyos puntos de vista no podemos menos que recibirlos con respeto y consideración razonable. De esta forma, se presenta a sí misma como una de las especulaciones que consideran la historia del globo con derecho a ser sometida a pruebas de hecho y principio, por lo que debe verificarse la verdad establecida de nuestras teorías, o demostrarse su falsedad. En dichas pruebas, la teoría se apoya en sus propios méritos, independientemente de consideraciones personales.

El concepto básico sobre el que descansa la teoría de la deriva continental se originó con Suess, que fue el primero en hablar de sial y sima. En realidad, los petrólogos habían llegado a diferenciar desde hace tiempo las rocas ígneas en función de su densidad. Sin embargo, como en concreto pertenecen a dos clases distintas, Suess estableció la teoría de que forman dos capas separadas de la corteza más externa de la Tierra. Había un principio fundamental a favor de Suess, cual es que la gravitación es la fuerza que lo controla todo. Por tanto, la idea de una disposición gravitatoria era una conclusión lógica de su propia filosofía. Esta distinción ha recibido gran cantidad de apoyos a partir de los estudios de la isostasia y de la sismología. Por lo general se reconoce que existen grandes masas cuya constitución media se corresponde respectivamente con la del sial y con la del sima, y se cree que están representadas por las masas continentales y el conjunto de los océanos. La extensión del sima bajo las masas de sial parece también ser una rea-

¹⁰⁸ Profesor Emérito, Leland Stanford, Jr., University.

lidad, aunque no se ha conseguido establecer bien la profundidad que alcanza este.

Actualmente se distingue con nitidez entre sial y sima al relacionar el primero con el granito y el último con el basalto, los dos extremos de la serie petrológica. Y se acepta teóricamente que entre el granito y el basalto existe la misma relación que entre el hielo y el agua, al menos en lo que respecta a las densidades relativas y viscosidades.

De esta forma, la flotación de los continentes graníticos sobre los escudos basálticos se convierte en una sugerencia natural a la que se han adherido muchos geólogos eminentes. ¿Por qué, entonces, no habrían podido moverse los continentes o derivar en el medio en el que se supone flotan? ¿Cuál es el problema? ¿Pero lo han hecho realmente?

Si uno inspecciona un mapa del Océano Atlántico Sur, es obvio que la costa oriental de Sudamérica se parece estrechamente con la costa occidental de África. La semejanza es tal y como debía resultar si los continentes hubiesen formado alguna vez una masa continental única, y se hubieran separado uno del otro a lo largo de un rift sin cambiar de contorno.

Wegener observó esta semejanza y basó en ella la teoría de la deriva continental. Pasó por alto el hecho de que la semejanza en la forma no es una base firme de razonamiento para cualquier explicación concreta del parecido. En una ocasión, Gilbert estudió los detalles de la cara de la Luna y experimentalmente produjo cráteres similares mediante salpicadura de pelotas sobre barro. A pesar de obtener formas totalmente semejantes, no consideró demostrada la teoría de los cráteres de impacto^[28], porque la forma por sí sola no es una prueba concluyente de su propia génesis. Pero supongamos que sea así.

Wegener, en su libro, describe primero la semejanza del contorno de los litorales, las líneas donde se encuentran el mar y la tierra. Posteriormente, cambia su comparación hacia la de los márgenes continentales, considerados como los márgenes de las plataformas. El cambio es lógico, pero introduce alguna incertidumbre puesto que las formas sumergidas no se conocen bien. Supongamos que también esto sea así.

Aceptemos que la semejanza es tanta como quisiera que fuese el autor de la teoría. Secundémosle también en el postulado de que Sudamérica se separó de África y derivó hacia el oeste con los movimientos de traslación y rotación indicados por su posición real en relación a África, que se toma como una masa fija. ¿Cuáles deben haber sido entonces los efectos producidos sobre el cuerpo en

movimiento o sobre el sima en el que se movía, de acuerdo con los principios que rigen en tal ocasión? ¿Cómo se compara esto con los hechos?

Esta línea de razonamiento ya ha sido desarrollada por Wegener hasta el punto que apoya sus ideas. Este llama la atención hacia la cordillera que recorre toda la costa de Sudamérica y atribuye su levantamiento a la presión con la que se encontró el continente en su movimiento a través del sima. El razonamiento parece correcto, pero el argumento es incompleto.

Cuando un cuerpo flota en otro y se mueve hacia adelante, uno de los dos será desplazado. En el caso ordinario, como por ejemplo si una balsa se mueve sobre la superficie del agua, es el agua quien es desplazada, porque es el agua la más blanda de las dos. No es fácil encontrar un símil para las relaciones aceptadas por Wegener, que implican que el cuerpo que se mueve es el blando. Quizás si introducimos en acero un cincel de plomo, lo hará tan bien como otro. El hecho es que si se ha provocado la elevación de la cordillera conforme avanza el margen continental, entonces este último es la masa flexible. Está claro que bajo estas suposiciones el sial debe ser más débil que el sima. Sin embargo, Wegener estableció lo contrario en su postulado esencial, comparando el sial con “cera sólida” y el sima con el lacre fluido, y aunque vio esta dificultad, la eludió¹⁰⁹.

Las fuerzas a las que se atribuye la deriva hacia el oeste son la atracción “del Sol y de la Luna sobre la Tierra viscosa”¹¹⁰. Ambas actuarían con más efectividad sobre el sima, más denso, que sobre el sial, más ligero, en proporción a las densidades. ¿Cómo es que, a pesar de esto, la masa continental más ligera es empujada por una fuerza menor a través de la masa suboceánica más densa, que permanece inmóvil bajo una atracción más energética?

Joly supone que la atracción mareal es suficiente para provocar el deslizamiento de la capa basáltica del globo interior. Si es así, los continentes se moverían como masas inertes transportadas por el sima en el que flotan, o se aplastarían a lo largo de sus márgenes orientales más que de los occidentales si quedasen rezagadas.

Las dificultades que surgen así no deben considerarse como insuperables. Pasemos a otras consideraciones.

Un cuerpo que flota en un medio desplaza su propia masa. Esto lo reconoció Wegener, y calculó que los continentes deben estar inmersos en el sima a una

¹⁰⁹ Wegener, *Origin of the Continents*, edición inglesa (traducción de la tercera edición alemana), p. 165.

¹¹⁰ *Op. cit.*, p. 202.

profundidad de 95 km. Para la hipótesis, la masa flotante de Sudamérica se ha movido hacia adelante varios miles de kilómetros con suficiente *momentum* para aplastar su margen frontal. Pero, de acuerdo con los principios que gobiernan el movimiento de un cuerpo en flotación, la compresión frontal debe estar relacionada con una tensión posterior equivalente. La masa del medio de soporte que es desplazada por el avance es la misma que la que debe ser atraída por detrás para llenar el vacío dejado. El frente aplastado es obvio. Es la Cordillera de los Andes. ¿Pero qué decir de la parte posterior del continente? ¿Cómo se protegió de la tensión que debió establecerse ante la necesidad de rellenar el vacío dejado?

Debemos imaginar que el vacío potencial se habrá desarrollado hasta el nivel en que se igualan la tensión y la resistencia tensional por cualquiera de las dos masas afectadas, a saber, el sima, que permaneció por detrás, y el sial, que se movió hacia adelante. Deducimos el hecho de que este último debe ser más ligero en la resistencia a la compresión, puesto que es el margen continental el que está aplastado. Naturalmente también sería más ligero en la resistencia a la tensión que el sima y por tanto el que cedería mientras se desarrolla la tensión para la rotura.

Llegamos a esta conclusión también por otra consideración, a saber, que está bien establecido que la resistencia a la tensión de la roca es menor que su resistencia al aplastamiento. Pero hemos aceptado que el levantamiento de los Andes es el efecto de la presión producida por el movimiento de avance del continente. Admitiríamos entonces que la menor resistencia a la tensión de la masa continental sería superada por la tensión equivalente.

Si se admite esto, deberíamos esperar que el lado oriental del continente móvil hubiera sufrido fallas normales al menos a un nivel comparable con los levantamientos del lado occidental. Pero esto no es así. Por el contrario, las montañas y las mesetas de Brasil demuestran por su expresión fisiográfica así como por su elevación, que el lado oriental del continente ha estado sujeto a una compresión simultáneamente con la equivalente del margen occidental.

Podemos considerar esto desde otro ángulo. La sugerencia original de la deriva continental procede de la semejanza en la forma entre las costas de África y Sudamérica. Hemos aceptado que la semejanza sea tan perfecta como postula el autor de la teoría. Su perfección rinde tributo a que es imposible que existiesen fallas normales a lo largo de cualquier costa. Ni África ni Sudamérica pueden haber perdido cualquier sección reconocible por hundimiento debido a fallas e incluso haber conservado la identidad de los bordes sobre la que descansa la teoría. Pero si se ha producido la fragmentación, deben haber estado sujetos a tensiones competentes que habrían dado lugar a pérdidas por fallas a gran escala.

Si ha existido movimiento, las fallas deben haber destruido la semejanza de litorales. Si esta semejanza es una realidad, entonces no han existido fallas normales significativas y puede no haber existido movimiento de un continente respecto del otro.

El mismo Wegener reconoce el efecto de las tensiones aunque no considera su actuación para Sudamérica y África, y describe el rezagado de varios fragmentos, como Madagascar, las Antillas, y los festones del Archipiélago del Este de la India, estableciendo que se separaron de los márgenes orientales de los continentes cercanos mientras los otros derivaban hacia el oeste. Aparentemente estos fragmentos parecen apoyar su teoría. También sucede así con la totalidad de Sudamérica. Desgraciadamente unos hechos no son coherentes con los otros.

Si los continentes se han fragmentado y han ido a la deriva, deberían explicarse ya algunas cosas que no entendemos. Entre estas está la aparición de plantas, caracoles terrestres y otras formas orgánicas fosilizadas en las rocas de regiones entre las que actualmente es difícil migrar. El hecho está bien establecido y presenta un argumento irrefutable para una antigua conexión entre Sudamérica y África, por citar un solo caso. Wegener establece que fue esta demostración lo que le persuadió de la exactitud de su teoría del desplazamiento. Esto previamente se había explicado por la teoría de los “puentes continentales”, una hipótesis que Wegener rechaza porque las conexiones que se aceptaban eran por sí mismas de áreas continentales, y deben haber desplazado cantidades imposibles de masas oceánicas. Sin embargo, no parece que la teoría por él propuesta como sustituta sea algo más consistente que las suposiciones que rechaza.

Éste no es el lugar para discutir las diversas teorías de las conexiones terrestres, pero se debería puntualizar bien que los “puentes continentales” y la “deriva continental” no son las únicas soluciones posibles al problema. Si, en lugar de especular sin fundamentos de hecho, nos ponemos a buscar una sugerencia en la Tierra misma, encontraríamos un istmo de conexión entre Norteamérica y Sudamérica. Es bien conocido que estos dos continentes estuvieron mucho tiempo separados y solo se han unido en una época geológicamente reciente. La unión se ha producido a través de la elevación orogénica de la dorsal entre las profundidades del Caribe y del Pacífico, a lo que ha contribuido la acumulación volcánica. Ahora el istmo forma un puente terrestre a través de un estrecho ecuatorial que constituía parte del Tetis y durante las eras geológicas permitió el paso de las corrientes oceánicas. Los homólogos de la dorsal que ahora sostiene el Istmo deben rastrearse a través del Océano Atlántico y bajo los demás océanos del hemisferio sur, y deben haber sostenido cadenas de islas o istmos continuos de conexión adecuados para explicar la distribución de los organismos en épocas anteriores.

Una teoría como esta no implica tensiones sobre la dinámica terrestre, por ello no requiere nada más en la forma de levantamiento o subsidencia que la comparable con el desarrollo de cadenas montañosas. Sin embargo, trayéndolo a colación, el asunto es simplemente mostrar que para poder explicar los hechos de la paleontología no tenemos que aceptar que los continentes formaron en algún momento una masa única.

Habiéndome esforzado en dar a la teoría de la deriva continental esa consideración imparcial que estaría de acuerdo con cualquier hipótesis que pueda posibilitar el avance en la investigación, estoy obligado por la propia explicación del autor del argumento a concluir: que la sugerencia original de la idea parte de la semejanza de forma, que por sí misma no constituye una demostración; que si ha tenido lugar la deriva en la forma descrita y con los resultados que se deducen de ella, entonces no habría sobrevivido la semejanza real, sino que debió ser destruida por fallas; que la hipótesis en otros aspectos está en contradicción con sus consecuencias imprescindibles; y que por estas razones debería ser rechazada.

Cuando consideramos la manera en que se presenta la teoría encontramos: que su autor no ofrece pruebas directas de su evidencia; que las pruebas indirectas reunidas a partir de la geología, la paleontología y la geofísica nada prueban en relación con la deriva a menos que el postulado original de la deriva continental sea cierto^[29]; que se han buscado argumentos en los campos de otras ciencias relacionadas que podrían ayudar a la teoría adoptada, mientras que se han ignorado los hechos y principios opuestos a ella. De esta forma, da la impresión de que el libro ha sido escrito más por un abogado que por un investigador imparcial.

Importa poco lo que pensemos de ella. El futuro la tratará imparcialmente de acuerdo con el principio de que la verdad sobrevive sola^[30].

ALGUNAS OBJECIONES A LA TEORÍA DE WEGENER

Rollin T. Chamberlin¹¹¹

Chicago, Illinois

RESUMEN

Se realiza una breve sinopsis de las objeciones a la teoría de la deriva de Wegener. No es una teoría general del comportamiento del planeta; se trata solo de la descripción de la rotura de una masa de tierra, que no se ajusta satisfactoriamente a los hechos tal y como se conocen, ni tampoco a lo que por lo general se acepta sobre el registro del tiempo geológico. La estructura de los continentes actuales se desarrolló en tiempos del Precámbrico. La prueba geológica no indica que en el pasado se rompiera en pedazos una gran masa continental. La prueba geofísica no apoya las causas establecidas para el desplazamiento de la deriva. Se indica que la hipótesis planetesimal explica suficientemente el conocido acortamiento de la corteza terrestre. La hipótesis planetesimal es parte integral de la filosofía geológica global, pero no lo es la hipótesis de Wegener.

La teoría de Wegener, que es argumentada fácilmente por un lego debido a sus conceptos elementales, se ha extendido con sorprendente fascinación entre ciertos grupos de la profesión geológica. Otros colegas se preguntan: “¿Podemos decir que la geología es una ciencia^[31] cuando existe tal diferencia de opinión en materias fundamentales como para hacer posible una teoría tan descabellada como esta?”. A continuación se citan unas cuantas razones de por qué nos parece que la teoría de Wegener es totalmente insostenible. Los límites de espacio solo permiten que estas objeciones se agrupen en un bosquejo sin elaboración o cualificación. Pero el propio dogmatismo de Wegener, incluso donde el espacio permitiese una declaración más exacta, hace que los comentarios categóricos sean algo menos criticables de lo que serían en otro caso.

1.— La hipótesis de Wegener no es una teoría general del comportamiento o deformación de la Tierra. Simplemente describe una supuesta rotura de una masa terrestre consolidada y la migración de los diferentes fragmentos. Esto se supone que ocurrió en los últimos tiempos de la historia geológica. ¿Qué sucedió durante la mayor parte del tiempo geológico? ¿Por qué los continentes permanecieron agrupados en una masa única a lo largo de todo el tiempo geológico, para llegar a

¹¹¹ Profesor de Geología, University of Chicago.

fragmentarse solo muy recientemente? El registro geológico es rítmico, con ciclos que siguen a otros ciclos^[32], y proporciona pocas sugerencias para cualquier gran acontecimiento sencillo, independiente por sí mismo, tal como postula Wegener.

2.— La estructura de los continentes actuales se desarrolló en tiempos del Precámbrico¹¹². Los Apalaches de Norteamérica y la Sierra do Espinhaço de Brasil corren paralelos a las costas actuales con mayor fidelidad que cualesquiera de las correspondencias descritas por Wegener entre los litorales occidental y oriental del Atlántico. Estas cordilleras se plegaron durante el Paleozoico, y se originaron de forma parecida a lo largo de los bordes de las plataformas continentales, tal y como ha prevalecido en la mayoría de las cordilleras plegadas desde el Cámbrico hasta la actualidad. Junto con otros plegamientos, estos indican con insistencia que los dos continentes americanos poseían los mismos contornos que ahora en la primitiva historia geológica. Las cadenas de plegamientos montañosos de África, en general concéntricos con las actuales líneas de costa, que algunos pensaban se habían formado en el Paleozoico, otros en el Mesozoico, y otros en el Terciario, implican que el continente africano ha tenido esencialmente sus contornos actuales incluso desde principios del Paleozoico. La prueba parece indicar poderosamente que la cuenca del Océano Atlántico estaba bien desarrollada durante el Paleozoico.

3.— No existe el mecanismo supuesto por Wegener en tiempos anteriores al Cretácico para que el plegamiento de cadenas montañosas sea paralelo de forma dominante a los actuales márgenes continentales. Más aún, en todos los continentes se encuentran sistemas montañosos precretácicos por lo general paralelos a las márgenes de las actuales plataformas continentales.

4.— ¿Cómo explicar el plegamiento póstumo? El plegamiento tiende a repetirse en los cinturones idénticos o estrechamente relacionados. Estos cinturones se relacionan con los actuales continentes y cuencas oceánicas. La historia se ha repetido de manera notable.

5.— Los mares interiores, o mares epicontinentales, por sus contornos y posiciones a lo largo de todo el tiempo geológico, parecen incompatibles con una gran masa continental única. Se podría llamar la atención, concretamente, hacia la región inferior del San Lorenzo. Los mares poco profundos constituyeron un refugio para las faunas de aguas superficiales entre los períodos Ordovícico y Silúrico, y entre el Silúrico y el Devónico, y en otras épocas, tal y como hoy permiten un hábitat favorable los Grandes Bancos de Terranova. Asimismo, en tiempos del

¹¹² *Journal of Geology*, Vol. 32, p. 545–74.

Ordovícico, Silúrico, Devónico, Mississippense, Cretácico y Eoceno, se localizaron brazos de mar en la Cuenca del Mississippi, desde el sur de Illinois hasta el Golfo de México, y cuando en el futuro llegue la próxima inundación, sin duda seguirán esencialmente los mismos contornos. El perfil de Norteamérica es muy viejo, y se han repetido las mismas condiciones una y otra vez.

6.— Australia no ha sufrido plegamientos importantes desde finales del Paleozoico. ¿Qué originó los extensos pliegues más primitivos si Australia formaba parte de una enorme masa? De acuerdo con Wegener, el plegamiento se habría producido mientras Australia se separaba a finales de la historia geológica.

7.— De acuerdo con Wegener, Norteamérica y Europa se separaron desde el período Glacial. ¿Dónde están los pliegues adjuntos? Norteamérica Oriental y Europa Occidental han experimentado muy poca deformación desde la llegada de los glaciares. La correlación de las morrenas es absurda.

8.— La semejanza entre nuestra formación de Catskill y la arenisca de Old Red de las Islas Británicas se corresponde con lo que debería esperarse precisamente de la existencia de una gran cuenca oceánica entre ellas, lejos de indicar una conexión terrestre en el pasado. El Catskill fue el detrito de la erosión de la cadena montañosa posthamiltoniana formada en el borde del Atlántico norteamericano, como una típica cadena litoral continental, mientras la arenisca de Old Red proviene de la destrucción del sistema de las Montañas Caledonianas que se formaron a finales del Silúrico a lo largo del margen atlántico de la plataforma continental europea. En cada caso los depósitos eran groseros, materiales clásticos derivados de cinturones montañosos próximos, altos y estrechos. La existencia de una cuenca oceánica atlántica al este de la cordillera costera del Devónico en Norteamérica, y al oeste de la cordillera costera en Escocia y Escandinavia, parece estar indicada por el principio de que el plegamiento más común tuvo lugar a lo largo de los bordes de las plataformas continentales que recubren las cuencas oceánicas.

9.— En realidad, los continentes americanos encajan malamente en el Viejo Mundo, excepto la esquina nororiental de Sudamérica con el Golfo de Guinea, e incluso ahí no encajan demasiado bien. La simple semejanza del contorno entre el Golfo de Guinea y la esquina nororiental de Sudamérica, que puede tener o no algún significado fundamental, parece ser el punto de partida de la teoría de Wegener.

10.— Si Wegener tiene razón, las rocas se corresponderían provincia por provincia a ambos lados del Atlántico. H.S. Washington ha efectuado una cui-

dadosa comparación petrográfica de los correspondientes litorales, y concluyó que esto no se verifica. El pastel no se cortó como afirma Wegener.

11.— De acuerdo con la teoría de Wegener, los plegamientos montañosos habrían ocurrido dentro de las cuencas oceánicas en lugar de en los continentes. El sial de los continentes, declara, es más rígido que el sima de las cuencas oceánicas. El plegamiento debería ocurrir en el material ligero, con preferencia al rígido. En apariencia Wegener vio esta dificultad, pero para evitarla, desafortunadamente aplicó a las rocas superficiales de las cuencas oceánicas las deducciones de Schwydar para el material a profundidades de 120–600 km. Esto fue un disparate de primer orden. La porción superficial de la litosfera bajo los océanos es roca sólida, no líquida, y generalmente se reconoce que es más densa y más rígida que la superficie continental. No puede fluir y al mismo tiempo permitir que el barco continental navegue hacia adelante, ni plegarse tanto como los continentes. Pero si las rocas de nuestras cuencas oceánicas fueran lo bastante ligeras que permitieran empujar a los continentes hacia adelante con la deriva continental, como lo haría Wegener, entonces estas rocas muy ligeras de las cuencas oceánicas se localizarían en la mayoría de los plegamientos del globo.

12.— Esta ligereza y pronta fragilidad de la corteza terrestre es incompatible con la peniplanación, que requiere grandes condiciones de esfuerzo y reposo durante largos períodos de tiempo. Las penillanuras son rasgos muy frecuentes.

13.— Una corteza terrestre con una fragilidad tan extrema necesitaría ser casi uniforme y continua. Las deformaciones periódicas o episódicas, tales como las grandes revoluciones que son tan bien reconocidas, serían totalmente impensables.

14.— Si los continentes estaban todos agrupados hasta el Cretácico, tendría que explicarse, no por qué eran similares unas cuantas plantas y animales en diferentes partes del globo, sino por qué no había mayor semejanza en las primitivas floras y faunas de diferentes continentes de las que muestran los registros.

15.— Las fuerzas supuestas son totalmente inadecuadas para causar el desplazamiento de los continentes. Hace dos o tres años, Lambert presentó ante la Geophysical Union en Washington un análisis matemático de las fuerzas disponibles. Si recuerdo correctamente, su conclusión fue que tales fuerzas en realidad eran solo una millonésima de lo que se requeriría para un desplazamiento de los continentes tal como ha postulado Wegener.

16.— Una buena parte de la argumentación resulta muy superficial, y en muchos casos, nos parece que los hechos implicados apuntan hacia conclusiones diferentes de las utilizadas por Wegener.

17.— En general, la hipótesis de Wegener es de las independientes, en la que se toma una considerable libertad con nuestro globo, y está menos obligada por restricciones, o sometida por hechos difíciles o arriesgados, que la mayoría de las teorías rivales. Su atractivo parece residir en el hecho de practicar un juego en el que existen pocas reglas restrictivas y no señala claramente el código de conducta. Así funcionan fácilmente un montón de cosas. Pero tomando la situación actual, debemos o bien modificar radicalmente la mayoría de las actuales reglas del juego geológico, o en caso contrario desdeñar la hipótesis. La mejor caracterización de la hipótesis que he escuchado fue una observación hecha en el encuentro de 1922 de la Geological Society of America en Ann Arbor. Fue esta: “Si creemos la hipótesis de Wegener, debemos olvidar todo lo que hemos aprendido en los últimos 70 años y empezar de nuevo”^[33].

18.— Wegener ha expuesto con amplitud la imposibilidad de explicar el plegamiento y acortamiento cortical del globo sobre la hipótesis de la contracción debida al enfriamiento. Esta especie de hipótesis contraccionista, que a tanta gente le parece suficiente para pensar que es el único tipo de hipótesis de la contracción, ha sido desacreditada ampliamente y durante mucho tiempo ha estado en el cubo de la basura. Su fatal ligereza se ha usado con generosidad como uno de los argumentos en contra de la hipótesis laplaciana del globo fundido. Por otro lado, la hipótesis de la contracción debida a la redistribución del material en el interior de la Tierra, basada en la hipótesis planetesimal, al menos ha mostrado que es cuantitativamente adecuada para explicar el gran acortamiento cortical conocido. Esa hipótesis, en lugar de fragmentarse y flotar libremente, es parte integral de una filosofía geológica global, que se extiende desde el nacimiento de la Tierra a través de varias etapas hasta el presente. Wegener parece haberse olvidado totalmente de su existencia.

EL MOVIMIENTO CONTINENTAL

John Joly¹¹³
Dublín Irlanda

RESUMEN

Se expresa la idea de que el movimiento continental no es improbable durante los períodos de fluidez. Una fuerza capaz de plegar el lado occidental de ambas América podría bastar para trasladar estos continentes conjuntamente.

Creo que el movimiento continental no es improbable durante los períodos de fluidez del sustrato.

Durante dichos períodos ciertas fuerzas deben afectar a la corteza externa. (1) Las fuerzas mareales debidas a la Luna y al Sol parecerían ejercer una pequeña fuerza diferenciada sobre los continentes a partir del hecho de que aunque están en un estado de flotación, sus centros de gravedad están sobre el del magma que los sostiene. (2) Las compensaciones que se sumergen dentro del sustrato interfieren con la génesis de las ondas mareales y en cambio están sujetas a las fuerzas que aparecen desde el magma a la deriva. De la misma forma, las mareas oceánicas hoy crean tensiones locales allí donde los canales y las bahías actúan para disipar la energía mareal, como mostró Taylor. Dichas fuerzas son ahora relativamente pequeñas, pero actúan sobre las partes sumergidas de los continentes, extendiéndose miles de millas dentro del pesado sustrato fluido. (3) Incluso otras fuerzas de desintegración podrían proceder probablemente de la contracción y expansión de la corteza externa, que tienen lugar en cada gran revolución. Las áreas que sufren aumento y disminución deben ser, principalmente, las que subyacen en los océanos, por aquí se disipa el calor y en estas zonas deben existir enormes cambios en el espesor del fondo oceánico. En consecuencia, aquí se originan las fuerzas que levantan las montañas. Parece altamente probable que la fuerza que plegó el lado occidental de Norteamérica y Sudamérica podría bastar para cambiar estos continentes conjuntamente, suponiendo una desigualdad suficiente de empujes en las márgenes continentales opuestas.

¹¹³ Profesor de Geología, Trinity College.

De una forma general se puede decir que la necesidad para el escape térmico debe imponer ciertas restricciones sobre los agregados continentales. Así, si todas las áreas terrestres estuvieron unidas para formar un único continente es probable, o al menos posible, que dicha disposición no fuera permanente. Probablemente se irían a pique por la absorción de las compensaciones de ciertas áreas dentro del sustrato sobrecalentado.

Creo que debemos concluir que la teoría de los ciclos recurrentes es legítima para afrontar los problemas que proceden del movimiento continental.

LA DERIVA CONTINENTAL DE WEGENER

G.A.F. Molengraaff¹¹⁴

Delft, Holanda

RESUMEN

Se hace hincapié en que la insuficiencia de la hipótesis reside en que postula ante todo una deriva hacia el oeste. Apuntamos hacia la dorsal mesoatlántica como la línea de separación desde la que derivaron América hacia el oeste y África hacia el *este*. En África Oriental puede estar formándose actualmente una línea de separación similar o gran valle de rift. Nos inclinamos de una forma más favorable hacia la teoría de la deriva, pero no limitaríamos el movimiento a una dirección hacia el oeste.

Soy bastante consciente del hecho de que la explicación dada por Wegener sobre la causa de la deriva continental y su dirección esencialmente hacia el oeste es insuficiente y no convincente. W. Van der Gracht da en su artículo una nueva explicación viable de la deriva continental en una dirección estrictamente hacia el oeste, basada en la teoría de los efectos de la radiactividad dentro de la corteza terrestre (Joly). Las sugerencias hechas por Van der Gracht también permiten una buena explicación para el carácter episódico de los períodos orogénicos en la historia de la Tierra.

Para poder aceptar la explicación de Van der Gracht, (1) se ha de creer que el sima, bajo los bloques continentales siálicos, contiene sustancias radiactivas en cantidad suficiente como para elevar considerablemente la temperatura del sima, a lo largo del tiempo, y fundirlo.

(2) Se ha de aceptar o creer que el calor, generado en el sima lentamente durante un largo lapso de tiempo, debajo del sial de los continentes, no puede escapar a través de este sial, sino que se acumulará donde se generó.

(3) Se ha de aceptar o creer que el movimiento (deriva) de los continentes tiene, y ha tenido en los tiempos geológicos pasados, una dirección exclusivamente hacia el oeste. Yo tengo dudas sobre este punto. La dirección (rumbo) de la cadena montañosa de los Apalaches así como el rumbo dominante de las cadenas montañosas del Permo-Triásico a lo largo de la costa sur de África contradicen esta suposición. Dando por sentado una deriva hacia el oeste, es difícil comprender por qué América formó parte de Europa-África y se alejó en direc-

¹¹⁴ Profesor de Geología, Institute of Technology.

ción oeste, mientras que África *no* derivó hacia el oeste sino que permaneció en su lugar (de acuerdo con Wegener). A mi entender, la dorsal mesoatlántica no es otra cosa que la cicatriz de una hendidura o fractura anterior, a lo largo de la cual tuvo lugar la separación del continente americano a partir del continente euroafricano. América derivó a partir de la hendidura sobre la que se ha edificado la dorsal volcánica mesoatlántica en dirección oeste, pero África derivó hacia su actual posición en una dirección este. Desde entonces, ha sido escenario de actividad volcánica, y esta actividad aún no se ha agotado.

Si esto es así, la fractura mesoatlántica es comparable estrictamente con el gran valle de rift en África Oriental (*Ost-Afrikanische graben*), a lo largo del cual parece estar ahora preparándose activamente la interrupción de la porción oeste, mayor, a partir de la porción oriental, más pequeña. En este gran valle de rift y en sus prolongaciones, se encuentran ahora los grandes lagos del África Oriental, y, parcialmente a lo largo de ellos, se ha desarrollado bien la actividad volcánica.

Si esta suposición es correcta, se debe esperar que la dorsal mesoatlántica esté compuesta totalmente de material volcánico efusivo de una gravedad específica relativamente alta.

Las últimas medidas de la gravedad, efectuadas más recientemente a bordo de un submarino por Vening Meinesz en el Océano Atlántico, sobre la dorsal mesoatlántica, han verificado que esta dorsal muestra una anomalía *positiva* de la gravedad (*exceso* de gravedad), hecho notable que apoya mi sugerencia sobre la naturaleza y el origen de esta dorsal.

En un trabajo¹¹⁵ publicado en el año 1916 he resumido, en las páginas 625 y 626, esta sugerencia sobre la naturaleza de la dorsal mesoatlántica de la siguiente forma:

“Quizás debamos ver en esta extraordinaria dorsal mesoatlántica el resultado final de la actividad volcánica a lo largo de una enorme fractura de la misma extensión, donde extruyó el material volcánico a partir de numerosas fisuras y orificios de tal forma que se originaron una cadena montañosa y conos volcánicos, que hoy en día ceden totalmente la producción bajo la influencia de la gravedad y casi todos se han hundido a un nivel, aproximándose al nivel medio, de la profunda dorsal submarina^[34]. Allí donde la actividad volcánica ha sido más duradera o ha existido hasta hoy, por todas partes se elevan todavía unas cuantas islas sobre el mar, y otras (de las que naturalmente solo unas cuantas se han descubierto por sondeos) se elevan aún a diferentes alturas sobre el nivel medio de la dorsal, pero ni las más grandes alcanzan la superficie del mar. Entre estas

¹¹⁵ G.A.F. Molengraaff, “The Coral Reef Problem and Isostasy”, *Proc. Royal Acad. Amsterdam*, Vol. XIX (1916), p. 610–27.

últimas mencionamos tres montañas submarinas que se elevan desde el fondo del océano cerca de la parte occidental de las Azores, que tiene allí una profundidad de unos 3.000 metros, con elevaciones de 146, 128 y 88 metros, respectivamente, por debajo del nivel del mar. La causa para la extrusión de dichas enormes masas de material volcánico pudo deberse quizás a la separación del continente americano a partir del euroafricano, con el que estaba unido en el pasado. Esta separación fue aceptada por Pickering y Taylor, y Wegener¹¹⁶ aporta una vez más un alegato sobre ello en la página 68 de su trabajo citado antes. Sobre este supuesto, la dorsal mesoatlántica indicaría en mi opinión el lugar donde se produjo la primera fisura y se puso al descubierto el sima por primera vez. De esto se deduciría lógicamente que la dorsal misma debe constar totalmente de sima y no de sial, como supone Wegener en la página 69”.

Finalmente, considero que las sugerencias de Van der Gracht (también de Joly) merecen plena atención y la debida consideración, pero también creo que son de un carácter altamente especulativo.

¹¹⁶ Edición de 1915 del bien conocido libro de Wegener.

LA HIPÓTESIS DE WEGENER

J.W. Gregory¹¹⁷
Glasgow, Escocia

RESUMEN

La hipótesis de Wegener podría explicar la distribución de tierras y mares por la deriva lateral de los continentes. Creemos que la distribución actual es el resultado en su mayor parte de movimientos verticales de la corteza. Positivamente no nos oponemos a la hipótesis, pero hay que señalar que el movimiento vertical o elevación diferencial y subsidencia de los bloques corticales debido a la contracción de la Tierra, tendrían el mismo efecto que la deriva lateral.

El problema inicial planteado por la hipótesis de Wegener es si la distribución actual de tierras y mares se debe predominantemente a la deriva lateral de los continentes o a oscilaciones verticales en la corteza de la Tierra. Ambos procesos parecen estar implicados. Hace años¹¹⁸ sugerí que algunos caracteres geográficos podrían explicarse por el rezagado occidental de una Tierra en proceso de elevación, y la aceleración del movimiento hacia el este de un bloque cortical subsidente. La conclusión de Wegener y Van der Gracht de que existe algún movimiento hacia el oeste del escudo, y algunos movimientos hacia y desde el ecuador, me parecen completamente apoyados por la estructura de los continentes y los contornos suboceánicos. Muchas de las grandes estructuras meridionales se pueden explicar simplemente por la alternancia de compresión y tensión debidas a la deriva hacia el oeste de la corteza y las reacciones a partir de ella. De forma similar, yo atribuí¹¹⁹ la inversión de la dirección principal de la presión que levantó el sistema montañoso Alpino-Himalayo a la presión hacia el norte en Europa desde la gran falla tropical africana, y hacia el sur en Asia, hacia la profunda depresión del Océano Índico.

Las estimaciones de Van der Gracht, de que la obra muerta del continente es de unas 2 millas y el espesor del sial de 20 millas, podría permitir tales movimientos; sin embargo, la fuerza del movimiento podría ser en realidad más poderosa, por lo que las presiones efectivas serían desde las tierras altas hasta las

¹¹⁷ Profesor de Geología, Glasgow University.

¹¹⁸ *Scott. Geogr. Mag.*, XXXI (1915), p. 258–59.

¹¹⁹ *Rift Valleys and Geology of East Africa*, 1921, p. 374–75.

profundas cuencas oceánicas entre las que la diferencia de la obra muerta es ahora de 8 millas. En la actualidad no parece progresar ningún movimiento activo hacia y desde el ecuador. Estos eran de edad entre oligocénica y miocénica, y en ese tiempo el restablecimiento esferoidal de la Tierra a partir de un largo período continuado de deformación probablemente hubiera incrementado el exceso del diámetro ecuatorial sobre el polar, y así aumentó la tendencia a presionar hacia el norte. Por lo tanto, los movimientos más primitivos para la formación de montañas estuvieron representados por las series alpinas hacia el norte, y las himalayas fueron más tardías mientras que el establecimiento de la presente elipticidad estuvo acompañada por la formación del Océano Índico y las grandes depresiones del sur de Asia, con el consiguiente empuje del Asia central y septentrional. Sin embargo, aunque no tengo por lo tanto *a priori* objeción alguna hacia la hipótesis de la deriva, me parece que la principal distribución de los océanos y continentes es debida a movimientos verticales y no horizontales de la corteza. Los principales movimientos verticales parecen debidos últimamente al ajuste de la corteza frente a la contracción del interior. La contracción no se debe necesariamente al enfriamiento, ya que, en cualquier forma de la hipótesis meteorítica, la Tierra se originó por la agregación de masas en principio separadas que se soldaron lentamente por el calor y la presión. Al principio la reducción en tamaño de la masa fue rápida, como muestra el arrugamiento universal de principios del prepaleozoico, pero se hizo más lento conforme la masa interna se iba haciendo más compacta y la corteza más gruesa y más rígida. El refuerzo de Van der Gracht de la teoría de Wegener por el enfriamiento periódico de Joly del sima debido al calor radiactivo, es una importante contribución a la misma. Sin embargo, la eficacia de esta fuente de calor está abierta a la duda; parecen existir otras salidas efectivas distintas de la fusión del sima. Como señaló J.W. Evans, una parte del calor radiactivo debe emplearse en cambios moleculares en los minerales afectados, tales como la formación de halos pleocroicos, y distintos cambios metasomáticos. Además, buena parte de este calor generado lentamente podría ser disipado por el afloramiento de agua plutónica y rocas intrusivas, y esta pérdida de calor por convección sería en especial enorme antes de y durante los grandes períodos de perturbaciones corticales. El importante apoyo de Joly a la periodicidad de los fenómenos geológicos ha sido muy bien recibido, aunque los períodos deben ser menos regulares y los intervalos más largos que sus estimaciones. La alternancia de períodos de reposo y revolución corticales pueden explicarse por otros procesos: la lenta subsidencia de grandes áreas de la corteza debida a la contracción del interior y la deformación gradual (tal como había producido la actual disposición tetraédrica^[35] de la tierra y el agua), estaría seguida por el recubrimiento de la forma esferoidal

en un período de movimiento violento de la Tierra y plegamiento montañoso, una sumersión amplia de tierras y una intensa actividad volcánica.

Apenas parece conveniente en una contribución como la presente discutir la totalidad de la hipótesis de Wegener, pero puede ser útil referirse a uno o dos puntos o argumentos especiales. El testimonio aumenta constantemente en cuanto a la mayor gravedad específica de la corteza bajo los océanos, pero está bien recordar que algunos de los argumentos en apoyo de la idea de que los fondos oceánicos están constituidos de sima no son una declaración completa de los hechos. Así, la conclusión de que las islas volcánicas oceánicas son todas basálticas pasa por alto el que las rocas ígneas características de las islas atlánticas pertenecen a la sección ácida de la serie alcalina tal como la traquita egrínica de Ascensión, St. Helena, Sao Thomé y Canarias.

La conclusión de Wegener en cuanto a la edad de las islas volcánicas en el Golfo de Guinea, que es esencial para su idea de que Brasil ocupó una vez ese golfo para así explicar el mal ajuste, es que son muy recientes¹²⁰; pero su alto endemismo animal y otros caracteres faunísticos y florísticos muestran que las islas son de mayor antigüedad de lo que la teoría permite.

Los argumentos basados en las afinidades biológicas a ambos lados del Atlántico requieren que el Océano Pacífico hubiera sido siempre más ancho que en la actualidad. Incluso las semejanzas biológicas entre América meridional y tropical y las costas opuestas del Pacífico son, si se hace la concesión para la mayor anchura del Pacífico, tan notables como las existentes a ambos lados del Atlántico. Como señalé en una conferencia¹²¹ para la Royal Institution, la explicación de Wegener de las coincidencias a ambos lados del Atlántico habría requerido el contacto anterior de las dos costas del Pacífico. Sobre la teoría de la oscilación vertical, las afinidades biológicas podrían explicarse por la subsidencia de la masa del Pacífico indicada por la teoría de Darwin^[36] de los arrecifes de coral y por otras pruebas.

¹²⁰ Wegener, *Origin of the Continents*, 1924, p. 59.

¹²¹ "The Mountain Structure and Geographical Relations of Southeastern Asia", *Jour. Roy. Inst.*, 1925.

DOS NOTAS RELATIVAS A MI TEORÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL¹²²

Alfred Wegener¹²³

Graz, Austria

RESUMEN

Como autor de la teoría de la deriva discutimos el clima geológico en los Estados Unidos y señalamos que una de las objeciones a su concepción de la distribución de tierras, a saber, la afirmación de la presencia de depósitos glaciares dentro de sus cinturones tropicales, no está justificada puesto que no se sabe positivamente que todos los depósitos llamados glaciares lo sean realmente. La teoría de la deriva posee la ventaja sobre las demás teorías geológicas de que es susceptible de verificación por observaciones astronómicas. Las investigaciones concretas que se llevan a cabo actualmente arrojarán más luz sobre ella.

I

Podría plantearse una objeción contra mi concepción de la distribución del clima en el Carbonífero y el Pérmico, sobre la base de que varios geólogos afirman que existen indicaciones de una importante glaciación regional en Norteamérica, en áreas que, bajo mi reconstrucción, habrían tenido una latitud geográfica de 10 a 20° en el Carbonífero, y de 10 a 30° en el Pérmico. Específico algunos ejemplos. En primer lugar, la llamada tillita de Squantum, cerca de Boston. Puede encontrarse sobre una vasta región en forma de conglomerado con un gran espesor de unos 2.000 pies. Se citan en ella cantos rodados estriados, y existen además depósitos de bandas de arcilla, que se parecen estrechamente a las “varvas” estacionales, tal como se formaron durante el tiempo en que se fundió el hielo continental del Pleistoceno. También se han interpretado como glaciares otros conglomerados macizos en grandes áreas del Carbonífero superior y del Pérmico de Oklahoma y Kansas. Los grandes cantos rodados aislados, enclavados en los depósitos marinos de esta región, han sido explicados mediante el transporte por hielo en flotación. Finalmente, se ha sugerido que los grandes cantos rodados, en los enormes conglomerados del Carbonífero medio de Colorado, que alcanzan un espesor de 6.000 pies, deben haber sido transportados por el

¹²² Traducido por W. van der Gracht. [*N. del T.*: Se refiere a la versión inglesa]

¹²³ Profesor, Universidad de Graz.

hielo. Estas presumibles huellas de glaciación se han descrito en varias publicaciones. Concretamente, menciono las de Sayles, Weidmann, Raff y Ulrich, Woodworth y Coleman. Otros geólogos han visitado estas localidades y han expresado sus opiniones sobre estos depósitos. No soy consciente de que hasta ahora se hayan expresado, o publicado, dudas relativas a su naturaleza glaciaria.

Si todos o alguno de estos conglomerados son verdaderamente glaciares, estarían en flagrante contradicción con mi concepción. Estos conglomerados se extienden sobre tales áreas que se habrían originado a partir de un verdadero hielo continental; al menos habrían sido grandes capas de hielo continuo, incluso más importantes que el de Vatna-Jökul en Islandia. De estos glaciares se podrían haber desprendido icebergs hacia el mar. Sin embargo, el límite de nieves perpetuas está más alto, en toda la Tierra, a latitudes de 10 a 30°, donde en la actualidad es de unos 6.000 m sobre el nivel del mar. Los pequeños glaciares que encontramos allí causan solo depósitos insignificantes, que podrían ser eliminados rápidamente por la erosión. Es más improbable que una gran parte de los Estados Unidos hubiera estado situada por encima de los 6.000 m de altitud en el Permo-Carbonífero. Incluso esta suposición extrema no nos daría una explicación adecuada, porque se ha observado que el límite de nieves perpetuas está más alto en las extensas planicies que sobre los picos montañosos aislados.

Esto implica con certeza que una de las dos conclusiones previas debe ser errónea: o estos conglomerados son solo pseudoglaciares, o la latitud geográfica de estas áreas no era de 10–30°, sino de al menos 60°, en el Permo-Carbonífero.

Yo recomendaría enérgicamente que no se hiciera referencia alguna a la deriva continental cuando se discute este problema, sino que la materia se decidiera de una forma independiente e imparcial. Esto puede hacerse solo en América, con la debida consideración de otras indicaciones del clima en este país, sin tener en cuenta todas las suposiciones previas que consideren la situación geográfica y los sedimentos de otros continentes.

Tenemos numerosas huellas para el clima geológico del pasado en los Estados Unidos, y aunque admitimos que varios detalles son inciertos, pese a todo hacen juego y nos dan un escenario relevante y armónico. Por lo general, está claro que se van acumulando pruebas concordantes de que en el Carbonífero superior los Estados Unidos estuvieron dentro del borde del cinturón tropical lluvioso, y durante el Pérmico en la zona desértica tropical cálida.

Los carbones del Carbonífero, que son muchos más gruesos que los que se depositaron más o menos simultáneamente en el clima mucho más frío de Brasil y Sudáfrica, contienen una flora fósil, que según H. Potonié corresponde a una

vegetación tropical pantanosa. Muchos de sus helechos están relacionados con familias tropicales actuales, en concreto *Marattiaceae*. Destacan helechos arborescentes así como trepadores y tipo enredaderas. Predominan grandes plantas arborescentes en grupos que actualmente contienen solo arbustos. Muchos helechos, como *Pecopteris*, poseían las llamadas aflebias, que en la actualidad solo se encuentran en formas tropicales. Otros tenían frondes de una magnitud de muchos m². Los tallos y los troncos de los árboles nunca muestran anillos de crecimiento. En *Calamariaceae* así como en *Lepidophytes* se observan las llamadas cauliflorias, un carácter igualmente típico de las plantas tropicales.

En total concordancia con este carácter de la flora, encontramos extensos arrecifes coralinos en los sedimentos marinos del Carbonífero del área que va desde el Lago Michigan hasta el Golfo de México.

Posiblemente los depósitos de sal y yeso ofrecen el indicio más concluyente sobre la clase de clima que se debe suponer existió, el cual solo puede explicarse por la concentración activa de agua salada en un clima árido cálido. Hay extensos depósitos de dichas sustancias en el Carbonífero inferior (Mississippiense) de Michigan y Virginia, y en el Carbonífero superior (Pennsylvaniense) de las Montañas Rocosas. En Terranova, el Carbonífero superior contiene sal. Incluso el Pérmico se caracteriza por depósitos de evaporación más extensa, los grandes depósitos de yeso de Iowa, Texas y Kansas, y los depósitos de sal de estos dos últimos estados (sales potásicas en Texas), que constituyen una prueba irrefutable de un clima árido cálido en esa época.

Podría parecer totalmente imposible imaginar que el hielo pudiera descender hasta el nivel del mar, o incluso a bajas altitudes, en la proximidad de sedimentos de esta naturaleza. Deseo llamar más la atención a la enorme extensión de yacimientos rojos del Carbonífero en todo el oeste de los Estados Unidos; estos deben haber estado asociados con un clima desértico. No dudo que los geólogos congregados podrían añadir bastante a estos argumentos, podrían corroborar nuestras afirmaciones, o agregar valiosos detalles, que nos darían la mejor prueba de que durante el Carbonífero y el Pérmico los Estados Unidos deben haber estado en un cinturón climático tal como vemos ahora en latitudes entre 10 y 30°.

Sería imposible explicar los conglomerados citados previamente como glaciares excepto en total conflicto con todas las demás pruebas en buena armonía para un clima tropical y subtropical durante estos mismos períodos. Aprovecho esta oportunidad para llamar la atención de los geólogos americanos sobre estas conflictivas conclusiones, y espero que posteriores trabajos clarifiquen esta aparente incongruencia. Hasta que no se ofrezca una explicación mejor y más verosí-

mil para estas indicaciones de un clima supuestamente glacial, estas no podrían usarse como una objeción contra la teoría de la deriva continental. No puede esperarse que la teoría de la deriva dé una explicación para supuestos que son tan contradictorios que alguno de ellos debe ser falso.

II

La hipótesis de la deriva continental tiene una ventaja sobre todas las demás teorías geológicas, y es que incluye la posibilidad de verificación de su realidad por repetidas observaciones astronómicas de la latitud y longitud. Tenemos una idea general sobre la duración de los períodos geológicos más tardíos. Donde hemos supuesto una cierta deriva durante estos períodos, podemos, al menos aproximadamente, estimar la deriva media anual requerida. Suponiendo por el momento que esta deriva ha sido más o menos uniforme, y que continúa todavía en la actualidad, podemos creer que incluso ahora podría cambiar lentamente la situación geográfica.

Es de esperar que este no sea el caso general, y está claro que los cambios que no pudieran ser probados ahora eventualmente diferirían considerablemente de la cantidad estimada. Está claro que en la historia geológica han existido períodos orogénicos que alternan con otros de comparable quietud, y deberían haber sido los mismos con la deriva. Es difícil decidir en qué medida concuerda la era actual con uno u otro, pero, en cualquier caso, no podemos estimar bien el que en la actualidad estemos en cualquier período de orogenia apreciable. En consecuencia, es muy posible que dicha deriva, tal como debía ocurrir en la actualidad, será más lenta que la media anual requerida para los períodos geológicos más tardíos.

El tema se aborda actualmente con una investigación más exacta, pero, a pesar de todo, necesitará naturalmente extenderse durante bastante tiempo. El Servicio Geodésico danés fue el primero en tomar esta dirección. Como es bien conocido, L.P. Koch¹²⁴ realizó una comparación de las longitudes, observadas por él mismo en el noreste de Groenlandia, con resultados anteriores. Esta comparación indicaría que entre 1870 y 1907 la distancia entre Groenlandia y Europa septentrional aumentó no menos de 1.190 m, e incluso 1.610 m entre 1823 y 1907. Esto daría una deriva anual media de 20 m, en curiosa conformidad con el postulado de la teoría de la deriva continental, que exige que en estas latitudes Groenlandia debería haber derivado unos 1.000 km desde Europa durante los últimos 50.000–100.000 años. Sin embargo, todas estas determinaciones de la longitud han sido

¹²⁴ *Meddelelser om Grönland*, XLVI, p. 240.

obtenidas por meses lunares, y aunque las divergencias medias en estas tres series de observaciones fueron solo de 124, 124 y 256 m, existió la posibilidad de un mayor error sistemático, tal y como es posible con los meses lunares. En el verano de 1922, P.F. Jensen¹²⁵ hizo nuevas observaciones en Godthaab al oeste de Groenlandia, en nombre del Servicio Geodésico danés. Esto está en la misma localidad donde se habían efectuado las determinaciones en 1863 y 1882–83. Estas primeras observaciones también se hicieron con meses lunares, y en consecuencia están sujetas a la misma objeción. Jensen, sin embargo, ha realizado sus observaciones por el método de las señales temporales de radio. Consecuentemente, son más fiables y no tendrían mayor discrepancia que un error medio de 1/10 de segundo. La comparación de sus mediciones con las de las observaciones anteriores dio como resultado una vez más una deriva media de 20 m anuales desde Europa. En consecuencia, ahora tenemos una determinación que al menos no está basada exclusivamente en observaciones lunares, y la coincidencia que se sigue obteniendo de una deriva media de 20 m/año hace claramente probable la corrección de los resultados más antiguos. Para hacer posible que en un futuro podamos obtener una respuesta completamente decisiva sobre esta cuestión, se ha levantado una estación permanente en una localidad conveniente en Kornok, en el interior del fiordo de Godthaab. Las observaciones de Jensen en el verano de 1922 fueron las primeras que se realizaron en esta estación permanente. Las determinaciones de la longitud, basadas en señales temporales de radio, se repetirán periódicamente. Las próximas medidas están planeadas para el verano de 1927. Si, en realidad, existe allí una deriva anual de unos 20 m, el valor caería dentro del rango de observación en la próxima medida.

La Unión Astronómica Internacional se ha decidido sobre otro servicio de mayor magnitud, animando a comprobar las observaciones de la longitud alrededor de toda la Tierra^[37]. Estoy altamente entusiasmado con este proyecto, del que me enteré a través de un artículo de W. Bowie en el *New York Times*. Quiero observar, sin embargo, que la mayoría de dichas comparaciones probablemente requerirán un tiempo muy largo, es posible que un siglo o más, antes de que pueda establecerse con seguridad un cambio apreciable. Aparentemente tales estaciones han sido seleccionadas mientras pudieran ofrecer las mejores facilidades para la transmisión de señales temporales inalámbricas, pero se han dado pocas ideas para la selección de los lugares más convenientes para mostrar los cambios en la longitud en cuanto a la hipótesis de la deriva continental. Sería aconsejable que las observaciones de la Unión Astronómica se complementaran

¹²⁵ *Ibid.*, LXIII, p. 205.

con determinaciones periódicas de la longitud (desde luego también por señales de radio), en otros lugares, que deberían ser investigadas por expediciones especiales, como está haciendo ya el Servicio Geodésico danés para Groenlandia. Sería deseable que en ciertos lugares también se comprobara la latitud, porque existen regiones donde la teoría de la deriva continental podría inducirnos a esperar cambios medibles también en la latitud.

Pero por ahora no entraré en más detalles sobre esto; solo señalaré que Madagascar, así como Groenlandia, podría mostrar cambios concretos de situación. Recientemente he mantenido correspondencia con Ch. Maurain en París, quien me notificó que las observaciones en Madagascar sugerían en realidad un apreciable cambio en la situación geográfica. Una determinación de la longitud en 1925 produjo una posición de 5 segundos más al este que la observación más antigua de 1890 (con relación al meridiano de Greenwich). La dirección de este cambio está de acuerdo con la teoría de la deriva, aunque la cantidad es considerablemente mayor que la que se podría esperar. Sin embargo, hemos de tener presente que la teoría de la deriva no nos proporciona datos absolutos, sino tan solo en relación con África, que con bastante posibilidad deben ser diferentes de los relativos a Europa. De cualquier modo, es de esperar que, si concentramos nuestra atención en dichas regiones en tanto que podrían ser particularmente susceptibles de cambiar según la teoría de la deriva, sería posible obtener mucho antes resultados positivos, y aquí, como en cualquier sitio, los resultados de mayor valor son positivos más que negativos.

Si América está derivando hacia el oeste podía quedar situada en unos pocos años por determinaciones inalámbricas de la longitud. Mientras tanto, puede observarse que la afirmación de que Groenlandia estuvo derivando hacia el oeste durante el siglo pasado no está apoyada por una reciente redeterminación de la longitud de la estación de Sabine. La afirmación de la tendencia hacia el oeste de Groenlandia basada en las diferencias entre las longitudes como determinó Sabine en 1823, Copeland durante la expedición del "Germania" en 1870, y por J.P. Koch en 1907, ha sido examinada nuevamente en el verano de 1926 por la Expedición de Cambridge dirigida por J.M. Wordie, y este me informa que sus observaciones dan poco apoyo a cualquier aumento apreciable en la longitud desde las determinaciones de Copeland y Sabine. Cuando se examinen estas últimas observaciones, deberían ser más fiables en su orientación sobre este problema que las de Koch, porque las suyas no fueron hechas en la misma localidad y solo son comparables tras la triangulación de datos muy inseguros.

LA HIPÓTESIS DEL DESPLAZAMIENTO CONTINENTAL

Charles Schuchert¹²⁶
New Haven, Connecticut

“Dios entregó el mundo a las disputas de los hombres”^[38]

RESUMEN

El siguiente artículo muestra que Wegener se permite una discrepancia del orden de 1.500 millas en su intento de encajar las Américas con Euro-África; que no existe un ajuste total en la región de América Central; que cuando Terranova se une con Irlanda y el cabo más oriental de Brasil se encaja en la africana Bahía de Biafra, América Central se separa de Sudamérica 1.200 millas, y Alaska de Siberia 600 millas, dejando en el último caso un profundo océano que es adverso para toda migración de la vida marina y terrestre entre estos continentes.

A continuación, se explica que las estructuras tectónicas y los grupos faunísticos a ambos lados del Atlántico encajan mal, que solo tenemos aquí semejanzas y no identidades, y que las faunas no tienen más que un 5 por cien de especies en común en lugar del 50–75 por cien exigido sobre la base de la Pangea. La historia geológica detallada y la estratigrafía de Terranova e Irlanda, comparadas en columnas adyacentes, muestra que aquí existen pocas semejanzas y ninguna identidad.

Por último, discutimos el pequeño residuo de la hipótesis de Wegener que se ha hecho más o menos patente durante los últimos quince años para todos los estudiosos de los geosinclinales y estructuras montañosas, a saber, que los continentes parecen haberse movido horizontalmente y de forma diferente a lo largo del tiempo geológico, pero cuánto y en qué dirección son problemas para el futuro. También señalamos brevemente cuánta armonía debe esperarse entre los geólogos, paleontólogos y geofísicos que trabajan en estas líneas.

La hipótesis de Wegener apareció por primera vez en 1912 en *Petermann's Mitteilungen* y en *Geologische Rundschau*. En 1915 llegó su obra, *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, con una segunda edición en 1920, una tercera en 1922, y una traducción al inglés en 1924. La hipótesis no fue muy bien recibida por los geólogos de habla inglesa hasta 1922, cuando Lake revisó la obra extensamente en *Geological Magazine* de Londres, y el año siguiente dio una conferencia sobre la hipótesis ante la Royal Geographical Society. Ese mismo año, Reid revisó el libro en *Geo-*

¹²⁶ Profesor Emérito de Paleontología y Geología Histórica, Yale University.

graphical Review de Nueva York. La teoría se discutió asimismo ante la British Association for the Advancement of Science en 1922 y la discusión la publicó W.B. Wright en *Nature*, mientras aparecía en el mismo periódico un análisis similar de los geólogos, zoólogos y botánicos ante la Royal Society of South Africa. Desde entonces, en *Nature* y en otras partes se han ocupado de la hipótesis. Para beneficio de los americanos, se enumeran más abajo las discusiones más importantes en inglés¹²⁷.

RESUMEN DE LA HIPÓTESIS DE WEGENER

Como el Dr. Van der Gracht ya trató ampliamente la hipótesis de Wegener, no será preciso entrar otra vez en detalle; solo estableceremos brevemente los principales puntos de la teoría:

- (1) La Tierra no es una masa en contracción.
- (2) La cantidad de agua sobre la superficie terrestre ha sido siempre la misma.
- (3) A principios de la historia de la Tierra existió una delgada costra granítica universal que antes del Silúrico se comprimió y se plegó en un continente sumamente engrosado que denomina Pangea.
- (4) Los bloques continentales (Pangea) sufrieron grandes movimientos horizontales de deriva en el curso del tiempo geológico, y presumiblemente estos continuaban incluso en la actualidad. La fracturación probablemente empezó en el Paleozoico, pero no fue hasta el Jurásico medio cuando Australia–Antártida empe-

¹²⁷ F.B. Taylor, "Bearing of the Tertiary Mountain Belt on the Origin of the Earth's Plan", *Bull. Geol. Soc. Amer.*, Vol. 21 (1910), p. 179–226; "Movement of Continental Masses under Action of Tidal Forces", *Pan–Amer. Geol.*, Vol. 43 (1925), p. 15–50.

A. Wegener, *The Origin of the Continents and Oceans*. Traducido por J.G.A. Skerl, y con una introducción de J.W. Evans, Dutton, 1924.

Philip Lake, "Wegener's Displacement Theory", *Geol. Mag.*, Vol. 59 (1922), p. 338–46; "Wegener's Hypothesis of Continental Drift", *Nature*, 17 de febrero de 1923, p. 226–28.

W. B. Wright, "The Wegener Hypothesis", *Nature*, 6 de junio de 1923, p. 30–31. Esta discusión, ante la British Association, fue "animada aunque no concluyente", pero todos coincidieron en que el Océano Atlántico es bastante anterior al Pleistoceno. Esto condujo a otros artículos en *Nature* el 27 de enero de 1923, p. 131; 24 de febrero de 1923, p. 255–56; 24 de marzo de 1923, p. 393–94; 25 de abril de 1925, p. 602; 30 de mayo de 1925, p. 834–35; 26 de septiembre de 1925, p. 481.

J.W. Gregory, "Continental Drift", una revisión de la obra de Wegener en *Nature*, 21 de febrero de 1925, p. 255–57.

W.K. Pickering, "The separation of Continents by Fission", *Geol. Mag.*, Vol. 61 (1924), p. 31–34.

zaron a separarse y derivar hacia el este. En el Cretácico inferior las Américas empezaron a moverse hacia el oeste y finalmente en el Pleistoceno se aisló Groenlandia–Terranova de Noruega y Gran Bretaña.

(5) Los continentes disgregados de la actualidad, cuando se agrupan, empleando un globo, encajan unos con otros como lo hacen las piezas de un rompecabezas.

(6) Los polos de la Tierra han errado lentamente en el pasado, y en el Pérmico estuvieron como a unas 2.500 millas de sus posiciones actuales.

(7) Las montañas de la Tierra no se deben por lo general a la contracción terrestre sino a la deriva continental, originándose en el borde hacia el que se mueven los continentes graníticos donde se enfrentan a la costra basáltica más resistente, como está bien ejemplificado por la Cordillera de Norteamérica y los Andes de Sudamérica; mientras la del continente euroasiático se debe a un “esfuerzo hacia el ecuador de los bloques continentales”, a saber, al movimiento entre la masa euroasiática y la de África.

(8) Wegener se apoya firmemente en la teoría de la isostasia, y de acuerdo con ella cree que las masas terrestres, grandes o pequeñas, no pueden hundirse y desaparecer en la capa basáltica más pesada. Suprime los puentes intercontinentales a través de los océanos uniendo todas las tierras en una Pangea.

(9) De acuerdo con esto, Wegener rechaza la teoría de la permanencia^[39] de los océanos y continentes tal como los vemos en la actualidad.

CONSTRUCCIÓN Y ROTURA DE PANGAEA. EL ELEMENTO TIEMPO

Se asegura que la fragmentación de Pangea y la flotación de Australasia, la Antártida y las Américas comenzó en el este de África en el período Jurásico y en el oeste de Euro–África a principios del período Cretácico (Fig. 13). Estas fechas están basadas en el mejor de los casos en una prueba paleontológica insegura; sin embargo, aceptemos la hipótesis para ver a qué nos conduce a lo largo de otras líneas de investigación geológica. Creeremos, bajo esta suposición, que esta inmensa fracturación y deriva de los continentes ocurrió durante uno de los períodos de calma continental más acusados de la Tierra, el Cretácico inferior y medio, cuando casi no se habían formado montañas en todo el planeta, un período casi desprovisto de actividad volcánica, cuando los continentes eran aproximadamente tan llanos y bajos como han sido siempre, y cuando estuvieron inundados por las mayores transgresiones oceánicas de todos los tiempos.

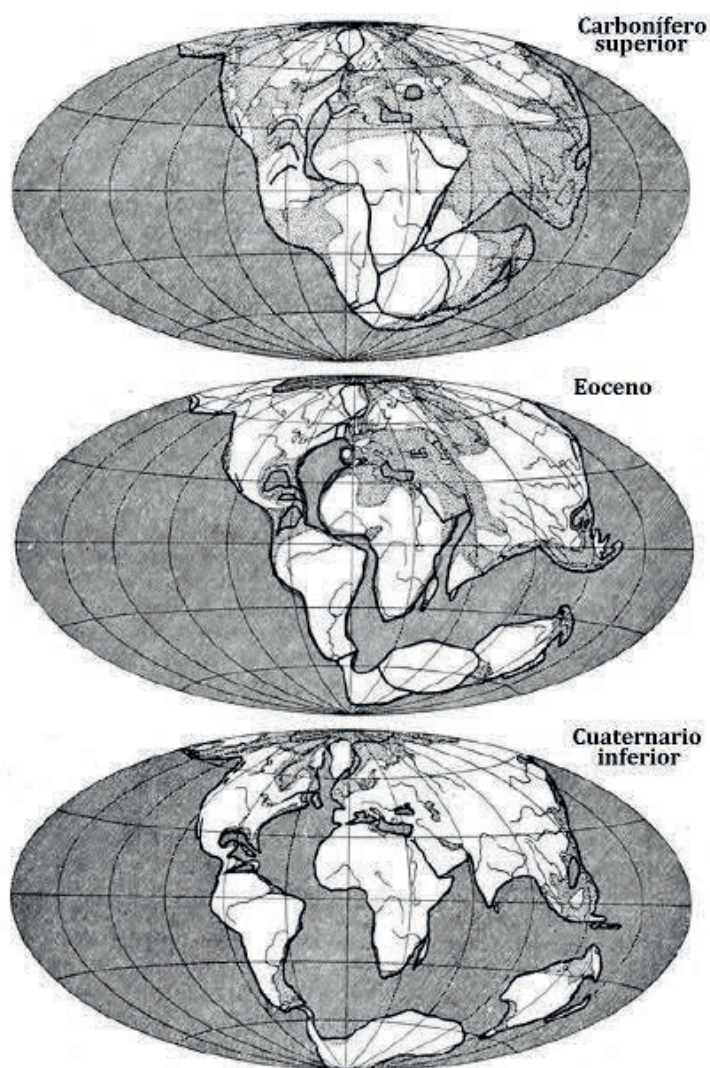


FIG. 13.– Rotura y migración de Pangea, como ilustra Wegener en *Origin of the Continents and Oceans*, 1925. Área punteada, mares poco profundos; los contornos actuales, ríos, latitud y longitud solo a propósito de identificación.

La deriva continuó durante casi todo el período Cretácico, que, basándonos en la desintegración del radio, significan 65 millones de años, antes de que los continentes mostraran cualquier agitación cortical marcada, o incluso una acusada actividad volcánica. La teoría de Wegener subraya los efectos de acumulación o

revestimiento en la corteza, pero ¿por qué un revestimiento de algo así como 50 millones de años?

Por otro lado, la Pangea permaneció intacta a lo largo de todo el Proterozoico, y si no fue tan primitiva como este, al menos estuvo presente durante todo el Paleozoico; incluso dos de las mayores épocas de elevación de montañas llegaron con el final del Proterozoico y del Paleozoico y cada una de ellas estuvo acompañada de un clima glacial. ¿Por qué la Pangea no se rompió en esas épocas de acusada agitación de la corteza, y por qué lo hizo en uno de los momentos de mayor estabilidad cortical? Desde luego, todo esto está determinado por la geología ortodoxa. La hipótesis de Wegener exige que los continentes floten en un sustrato viscoso, todo arremolinado hacia el este, y compara los bloques continentales con icebergs que flotan en el agua. ¿Por qué, nos preguntamos de nuevo, la Pangea no se fracturó durante el Pennsylvaniense-Pérmico? ¿Fue la elevación de las montañas del Jurásico superior lo que comenzó la fracturación de esta masa terrestre única? Si es así, ¿por qué no ha tenido también el mismo efecto la época de mayor elevación de montañas durante el Pennsylvaniense y el Pérmico? Por otro lado, no diremos que la Pangea llegó a existir durante el Devónico o el Silúrico, puesto que la geología ortodoxa enseña que los continentes actuales, en sus caracteres principales, estaban ya presentes a finales del Proterozoico.

Daly¹²⁸, en su nuevo libro, manifiesta:

Ni Taylor ni Wegener explican *por qué* pudieron moverse los continentes. No ha descubierto la fuerza que hiciera el gigantesco trabajo de vencer la resistencia a la migración continental. Por estas razones los geólogos avanzan lentamente a la hora de situar dicha movilidad de los continentes entre los principios aceptados por la ciencia.

EL ROMPECABEZAS

Coincidamos por el momento con Wegener en que las Américas se han Segregado de Euro-África y que sus costas y plataformas actuales son prácticamente las de las fracturas del Cretácico, y veamos a qué nos conducen estas suposiciones. Si tomamos un globo de ocho pulgadas y situamos sobre las Américas una capa de plastilina de un cuarto de pulgada, recortamos esta con la forma de estos continentes pero en el borde externo de la plataforma continental, e intentamos acoplar luego esta réplica de plastilina sobre Euro-África, siguiendo las instrucciones de Wegener de que Terranova debe situarse junto a Irlanda y el Cabo San Roque de Brasil encajarse en la Bahía de Biafra en África, ¡la geografía resultante

¹²⁸ R.A.Daly, *Our Mobile Earth*, Chas. Scribner's Sons, 1926, p. 263.

muestra América Central alejada de África 1.200 millas y deja Siberia y Alaska separadas por unas 600 millas! Y estas no son las únicas discrepancias, el Océano Atlántico Norte (Poseidón) se hace mucho mayor y de una forma totalmente diferente de la que muestra Wegener, y además, las Sierras de Argentina no solo están de acuerdo con un rumbo noreste, sino que también están unas 350 millas al noroeste del lugar donde se suponía conectaban directamente con la alineación este-oeste de las Montañas de El Cabo en África. Estos hechos se muestran en las figuras 14–16 y podrían compararse con los resultados de Wegener ilustrados en la Fig. 13, y de Behm en la Fig. 17. Es evidente, por lo tanto, que Wegener se ha tomado una extraordinaria libertad con la rígida corteza de la Tierra, haciéndola tan flexible como para alargar las Américas de norte a sur unas 1.500 millas, mediante un mayor estiramiento en América Central. El allanamiento de todas las montañas no reducirá en el mejor de los casos esta discrepancia en más de 500 millas.

Diener, en 1915¹²⁹, en la crítica de la teoría del desplazamiento, llamó la atención hacia el hecho de que cuando se empuja Norteamérica hacia el este contra Europa, aparece una gran fisura y un profundo océano entre Siberia y Alaska. Incurrió, sin embargo, en un error, al establecer que la apertura sería de 35° de anchura, debido a que utilizó un mapa Mercator; no obstante, por el método de la plastilina descrito previamente vemos que la apertura es de unas 600 millas de ancho. Dicha apertura nos devuelve forzosamente a la crítica de Diener, adversa para la hipótesis de Wegener, porque desde los primitivos tiempos del Cámbrico, la región del Mar de Behring se conoce en base a los fósiles que han sido los propios de un mar de plataforma, lo que ha permitido de esta forma las migraciones de la vida marina entre los lados asiático y americano del Pacífico así como dentro del Ártico. No solo por esto, sino porque después del Cámbrico, de vez en cuando, se elevó un puente intercontinental de las aguas superficiales del Mar de Behring que permitió que las floras y faunas radiaran desde América a Asia o en dirección opuesta.

De las muchas críticas efectuadas por Diener contra la hipótesis de Wegener, esta fue a la única a la que contestó, diciendo:

La objeción de Diener, “Quienquiera que empuje Norteamérica sobre Europa rompe su conexión en el Estrecho de Behring con el bloque continental asiático”, solo se encuentra en un mapa Mercator, pero no en un globo, porque el movimiento de Norteamérica consiste esencialmente en una rotación. Por esta razón, los bloques

¹²⁹ Carl Diener, “Die Grossformen der Erdoberfläche”, *Mitt. k. k. Gesell.*, Wien, Vol. 58, p. 329–49.

nunca se separarían uno del otro.

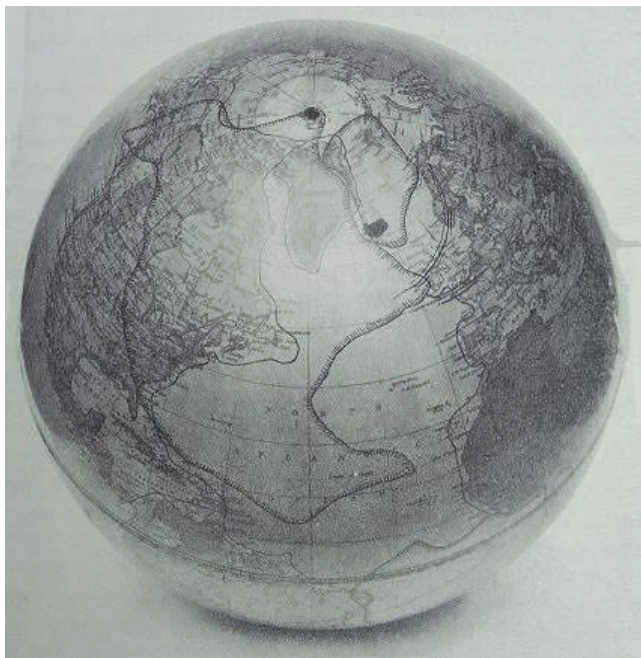


FIG. 14.— Globo geográfico de ocho pulgadas donde se muestra el empuje de Norteamérica contra Euro-África, de tal forma que Terranova está junto a Irlanda. Nótese cómo Alaska está separada de Siberia y América Central de Sudamérica. Compárese con la Fig. 17.

El modelo de plastilina muestra claramente que esto no se puede hacer sin una gran distorsión, y si se retuviese la conexión occidental, como debe ser, entonces quedaría Terranova a 600 millas al sudoeste de Irlanda. Todo porque en su obra Wegener insiste en que Terranova debe acoplarse con Irlanda, incluso cuando lo hacemos, observamos que Diener tiene razón al afirmar que este aislamiento de Asia y América es adverso no solo para las estructuras tectónicas de Siberia y Alaska, sino también para las rutas de migración muy necesarias para las plantas y los animales.

Desde luego, la réplica de Wegener a todo esto será que si la alineación casi norte-sur de las Cordilleras del oeste de los Estados Unidos y los Apalaches se hubiera enderezado, se habría obtenido la anchura requerida para cerrar la abertura entre Alaska y Siberia. A la que podemos contestar que las montañas de Siberia y Alaska se dirigen aproximadamente hacia el este y oeste y lo mismo ocurre para

el extremo nororiental de los Apalaches en Terranova, de tal forma que erramos al ganar la tierra requerida, pero lo más significativo de todo es que la geología de Irlanda y los sedimentos paleozoicos de Gran Bretaña demandan una amplia tierra al oeste y noroeste de Irlanda.

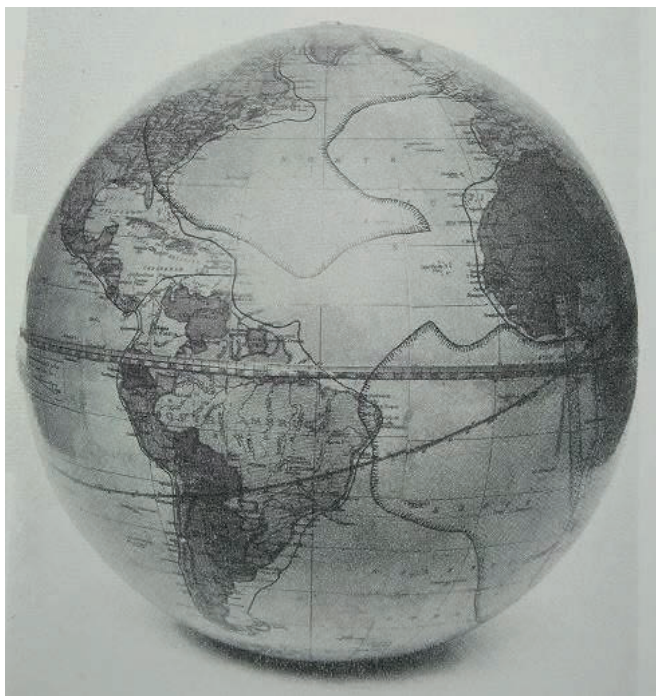


FIG. 15.— El mismo globo de ocho pulgadas anterior, donde se muestra el des-
acople ecuatorial. Compárese con la Fig. 17.

Esta discusión y las críticas que aún se derivan muestran que nuestras dificultades en la geología ortodoxa actual no son en modo alguno tan insuperables como lo son las de la construcción de Wegener.

¿CUÁNTO TIEMPO MANTENDRÁ EL LITORAL SU FORMA HEREDADA?

Como expresa Lake, lo que hace el atractivo más general indudablemente es el acople de Sudamérica con África. A menudo se ha hecho notar la correspondencia en sus líneas de costa, de hecho, se dice que el filósofo Francis Bacon^[40] observó esto en el siglo dieciséis, y se han hecho vagas sugerencias de que pueden

haberse separado una de la otra. Esta notable semejanza de la línea de costa entre África y Brasil ha molestado durante mucho tiempo a geólogos y geógrafos, y un amigo del autor observó recientemente que debía haber sido “obra de Satán” con ese propósito.

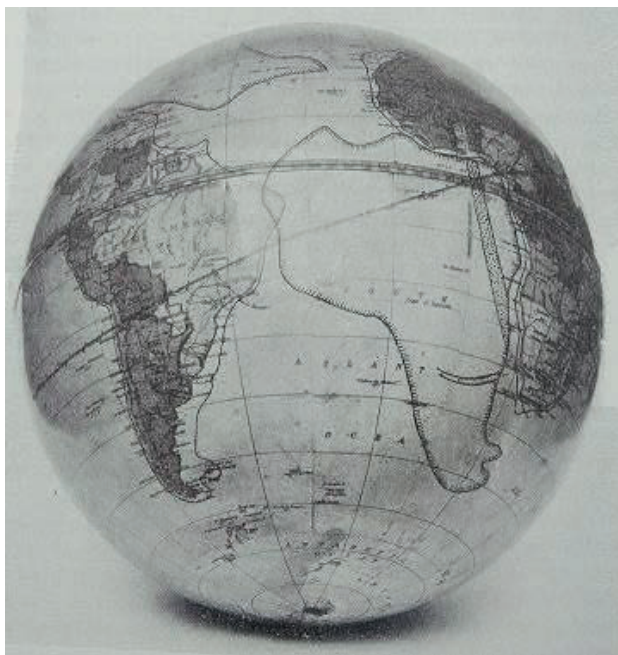


FIG. 16.— El mismo globo de ocho pulgadas anterior, donde Sudamérica empuja contra África. Área punteada, geosinclinal Franciscano. Nótese cómo está separada Sudamérica de América Central. Compárese con la Fig. 17.

Wegener nos cuenta al principio de su libro que llegó a esta hipótesis en 1910 al notar

La semejanza de la forma de los litorales de Brasil y África (Fig. 17). No solo el gran recodo en ángulo recto formado por la costa brasileña en el Cabo San Roque encuentra su parte opuesta exacta en el ángulo reentrante del litoral africano cerca del Camerún, sino que al sur de estos dos puntos respectivamente cada proyección sobre el lado brasileño se corresponde con una bahía de forma semejante en el africano, y, al contrario, cada mella en la costa brasileña tiene una protuberancia complementaria sobre la africana. El experimento con un compás sobre un globo muestra que sus dimensiones coinciden con exactitud.

Veamos ahora en cuál de estas dos cuestiones encajaban las piezas del rom-

pecabezas planteado.

De acuerdo con la teoría del desplazamiento, hace cientos de millones de años la meseta sudamericana se hallaba directamente adjunta a la africana, pero en el Cretácico inferior Sudamérica empezó a derivar hacia el oeste a través del material basáltico rígido. De forma parecida, Norteamérica estaba cerca de Europa, y también empezó a derivar hacia el oeste en el Cretácico, pero, al menos desde Terranova e Irlanda hacia el norte formaban aún, con Groenlandia, un bloque conectado hasta finales del Plioceno.

Hemos visto que Sudamérica dejó la compañía de África en el Cretácico inferior. Si aceptamos la edad de la Tierra en 1.500 millones de años^[41], esta rotura ocurrió hace unos 120 millones de años. Durante este vasto tiempo, el oleaje ha estado golpeando continuamente contra África y Brasil y en muchos lugares los ríos han estado depositando en el océano grandes cantidades de material fruto de la erosión, incluso se afirma que en todas partes ¡las orillas geográficas han permanecido prácticamente inmutables! Aparentemente no se distingue la diferencia con Wegener en cuanto a la dureza o blandura de las rocas de estas orillas, cuáles son sus estructuras geológicas que debían ayudar o retardar la erosión marina o terrestre, cuánto se han elevado o hundido a menudo las líneas de costa, y cuán lejos ha ido la peniplanación durante cada período de estabilidad continental. Además, por sí mismo el nivel del mar no ha sido constante, especialmente durante el Pleistoceno, cuando las tierras estuvieron cubiertas por millones de millas cuadradas de hielo formado a partir del agua substraída de los océanos. En las regiones ecuatoriales, este nivel fluctuó tres veces durante el Pleistoceno, y durante cada período de acumulación de hielo el nivel del mar descendió unos 250 pies. Por ninguna parte Wegener discute estos temas, incluso desea que creamos que las líneas de fractura originales han mantenido prácticamente sus formas geográficas originales durante 120 millones de años. ¿Existe algún geólogo en alguna parte que suscriba esta asombrosa suposición? Desde T.O. Bosworth¹³⁰ sabemos que existen en el oeste de Perú tres prominentes terrazas marinas elevadas, los “*tablas*” de los nativos. Estas son “un monumento a la eficacia de la erosión marina”, y la narración de su construcción es una de las partes más interesantes del libro. Durante el Pleistoceno, afirma¹³¹, la costa peruana “ascendió y descendió cientos de pies varias veces. El mar avanzó y se retiró en muchas ocasiones, reduciendo sus acantilados tierra adentro 10 ó 20 millas en cada ocasión”.

¹³⁰ *Geology of the Tertiary and Quaternary Periods of the Northwest Part of Peru*, Macmillan, 1922.

¹³¹ *Op. cit.*, p. 258.

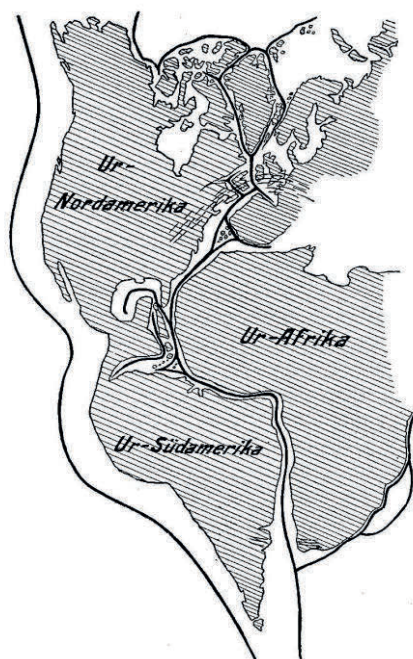


FIG. 17.— La Pangea occidental como se ilustra en *Entwicklungsgeschichte* de Behm, 1924. Nótese cómo el acople se efectúa por la elongación de las Américas, y qué bien se hacen concordar los rumbos de las montañas a ambos lados del Atlántico. Compárese con las Figuras 14–16.

En otros lugares Wegener nos cuenta que la línea de separación donde se escinde el continente original no está en la orilla sino en el borde superior del talud continental o en el borde externo de la plataforma continental, por lo general situada a unos 600 pies bajo el nivel del mar actual. En muchos sitios esta línea no bien definida es muy diferente de la orilla, pero incluso así, ¿qué son las plataformas sino los rellenos y los reductos de las tormentas y las corrientes marinas? ¿Creeremos, con Wegener, que los litorales y los mares de plataforma han permanecido constantes en forma, posición y contorno durante 120 millones de años?

LOS MOVIMIENTOS DEL MAR DE WEGENER COMO PRUEBA DE LA MIGRACIÓN POLAR

En el Capítulo VIII de su libro, Wegener defiende una Tierra viscosa, y asegura que si esto no es cierto, no podría haber existido movimiento cortical o migra-

ción polar. Pero en consideración a la última hipótesis manifiesta que la migración polar en realidad no se debe más que al movimiento cortical, o, en otras palabras, que el eje de la Tierra no puede cambiar, sino que solo la corteza se desliza sobre el núcleo. Sin embargo, añade¹³², “presumiblemente ocurren ambas cosas”, a saber, que los polos también se mueven como la corteza. Para probar estas conclusiones presenta dos mapas enormemente generalizados que muestran transgresiones y regresiones marinas sobre la Pangea, y afirma que cuando el polo migra hacia el este produce en el hemisferio norte una regresión marina hacia el este y transgresiones en el oeste, y en el hemisferio sur se invierten los movimientos del agua.

Wegener selecciona del Devónico al Pérmico para probar esta “ley”, porque durante estos períodos “los polos migraron rápidamente”. Su mapa¹³³ que da las transgresiones y regresiones sobre la Pangea para todo el Devónico y el Carbonífero inferior muestra regresión por toda Sudamérica, América Central y la totalidad del geosinclinal apalachiano hasta Terranova. Nada está más lejos de la verdad para las Américas durante el Devónico, puesto que este es uno de los períodos de acusadas transgresiones; durante el Carbonífero inferior, Norteamérica también tiene una amplia transgresión, y Sudamérica tiene una regresión casi completa. Presenta una especie de mapa¹³⁴ para todo el período que va desde el Carbonífero inferior hasta el Pérmico superior. Este muestra que en Norteamérica septentrional existió regresión durante todo el Carbonífero, que una vez más está precisamente en contra de los hechos, porque existió una gran transgresión durante el Carbonífero inferior y los Depósitos de Carbón, con una marcada regresión durante el Pérmico. En Sudamérica el mapa muestra transgresiones acusadas, pero los hechos son que aquí casi no existieron mares en el Carbonífero inferior, los señalados en los Depósitos de Carbón, y otros pequeños en el Pérmico.

En otra parte nos hemos preguntado, “¿De qué utilidad son los mapas paleogeográficos que 'acumulan' cantidades de tiempo geológico tan vastas como estas?” Nada pueden probar y menos aún ciertamente la migración polar, porque sabemos que Norteamérica tuvo una transgresión progresiva muy lenta durante el Devónico, como mínimo dos más o menos completas en el Carbonífero inferior, dos en los Depósitos de Carbón, y una gran regresión en el Pennsylvaniense superior y en el Pérmico inferior. Ningún mapa paleogeográfico tiene validez si el

¹³² A. Wegener, *op. cit.*, p. 121–22.

¹³³ *Idem*, Fig. 22.

¹³⁴ *Idem*, Fig. 23.

papel en el que está dibujado representa al menos el estado real de los acontecimientos para un tiempo geológico limitado, es decir, varios cientos de miles de años, y no como Wegener hace aquí, numerosas transgresiones y regresiones que tuvieron lugar durante 160 millones de años. Lo que Wegener debería haber hecho fue construir doce mapas, y nueve para el “Carbonífero” (tres para cada uno de sus tres épocas), y luego deducir de estos sus curvas para cada hemisferio.

SEMEJANZAS A AMBOS LADOS DEL OCÉANO ATLÁNTICO

Se puede decir verazmente que la hipótesis de Wegener tiene su mayor apoyo en las semejanzas geológicas bien conocidas a ambos lados del Atlántico, como se muestra en las direcciones y épocas de elevación de montañas, en secuencias formacionales y faunísticas, y en petrografía (Fig. 17). Las principales “conexiones” tectónicas y faunísticas sobre las que basa su teoría son: (1) entre las Sierras de Argentina y las Montañas de El Cabo de África; (2) entre la región mediterránea y la antillana; (3) entre los pliegues armoricanos de Bélgica y el sur de Gran Bretaña y los de los Apalaches; (4) entre las Caledonianas y los Apalaches; (5) las semejanzas precámbricas de las tierras septentrionales; y (6) las semejanzas comagmáticas entre Euro-África y las Américas.

Después de descartarlo todo, se debe decir que todavía quedan varias *semejanzas* geológicas y faunísticas a ambos lados del Atlántico, y principalmente en el Atlántico Norte. Sin embargo, estas se conocen desde hace mucho tiempo y todas han tenido explicaciones más o menos satisfactorias sobre la base de la geografía actual. Pero bajo la hipótesis de Wegener estas ligeras semejanzas serían *identidades* notables, y muchas de las faunas marinas, por ejemplo, tendrían, no un 5 por ciento de especies idénticas, como es en realidad el caso, sino entre un 50 y 75 por ciento, que no es cierto en absoluto.

SEMEJANZAS COMAGMÁTICAS

Las semejanzas petrográficas han sido tratadas ampliamente por H.S. Washington¹³⁵, que encuentra algunas entre Norteamérica y Europa, pero más entre África y Sudamérica. Sin embargo, sobre esta última región declara¹³⁶:

¹³⁵ H. S. Washington, “Comagmatic Regions and the Wegener Hypothesis”, *Jour. Wash. Acad. Sci.*, Vol. 13 (1923), p. 339–47.

¹³⁶ *Op. cit.*, p. 344 y 346.

Parece así evidente que existen graves discrepancias petrográficas y químicas entre las rocas de la costa de Guyana–Ceará y la de Guinea... El balance de la prueba petrográfica [entre Brasil y África] puede, pues, considerarse que se opone a la hipótesis de Wegener.

Las conclusiones de Washington son incluso menos satisfactorias si consideramos Norteamérica y Europa.

SEMEJANZAS TECTÓNICAS

Montañas africanas de El Cabo y Sierras argentinas.— En el extremo sur de África se encuentran con alineación este–oeste el Zwarte–Berge o Montañas de El Cabo, que están impelidas hacia el norte. En el este van derechas hacia el mar pero en el oeste giran rumbo al noroeste. Es evidente que han surgido de un típico geosinclinal y de acuerdo con ello deben haber sido originalmente mucho más largas de lo que son en la actualidad. Además, debe haber existido una tierra limítrofe al sur, de algunos cientos de millas de ancho, de donde procedían las principales masas de sedimentos. El extremo desprendido (rías) de las Montañas de El Cabo se ha explicado siempre por la fracturación de porciones de Sudáfrica, tanto al este como al oeste, pero Wegener rechaza esta explicación, porque, para él, el sial no puede hundirse en el sima. El geólogo más importante de Argentina, el Dr. Keidel, ha señalado las semejanzas estructurales, estratigráficas y faunísticas entre las Montañas de El Cabo y las Sierras de Buenos Aires, que sucesivamente se continúan dentro de las pre–cordilleras de Argentina noroccidental, suministrando a Wegener lo que él considera como una prueba notable para las conexiones. Veamos ahora lo que son estas relaciones, con una sinopsis de ellas basándonos en Du Toit, Krenkel y Keidel (Tabla I)¹³⁷.

A partir de esta tabla vemos que aproximadamente lo único que es notablemente armónico en los dos continentes es la orogenia a finales del Proterozoico, las faunas (Bokkeveld) del Devónico inferior, las tillitas del Pérmico inferior, y las floras de *Glossopteris*; en el Pérmico, el *Mesosaurus* y *Noteosaurus*; en el Triásico, los

¹³⁷ A. L. Du Toit, *The Geology of South Africa*, 1926. E. Krenkel, “Geologie Afrikas”, Vol. 1, in *Geologie der Erde*, 1925. H. Keidel, “Ueber das Alter, die Verbreitung u. die gegenseitigen Beziehungen d. verschiedenen tektonischen Strukturen in der argentinischen Gebirgen”, *Internat. Geol. Congress*, 12ª sesión, 1913, *Compte Rendu*, p. 671–87; “La geología de las sierras de la Provincia de Buenos Aires”, *Anales Minis. de Agric.*, Sec. Geol., etc., Vol. 11, No. 3 (1916), p. 1.78 (sin leer).

Erythrosuchus y *Scaphonyx* reptilianos; y por último, a finales del Triásico superior, las lavas de las altiplanicies. Admitimos alegremente que estas son semejanzas notables o identidades, pero después de todo proporcionan escasas pruebas sobre la que basar una conclusión tan importante como que África y Argentina estuvieron unidas hasta el Cretácico. Contra esta opinión existen más diferencias y mayores, ninguna de la cuales es más notable que la casi total ausencia en toda Sudamérica de la horda de reptiles y anfibios africanos del Pérmico y los dinosaurios africanos del Triásico. Además, nuestro método de la plastilina para enfrentar Sudamérica con África, deja las Sierras 350 millas al noroeste de sus supuestas conexiones con las Montañas de El Cabo (Fig. 16).

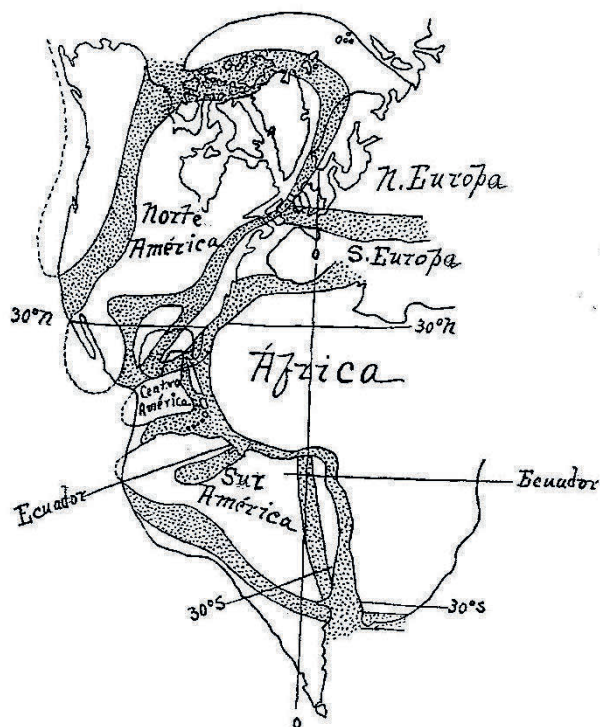


FIG. 18.— La Pangea occidental sobre la misma base que la Fig. 17. Las áreas punteadas indican los geosinclinales según Schuchert; el espacio intercontinental del norte de Sudamérica hasta el golfo amazónico no debería haber sido punteado.

Por otro lado, debe ser evidente para cualquiera que observe la Pangea occidental, que Wegener distorsionó y alongó enormemente las Américas, principal-

mente en la región de América Central (Fig. 17). En esta conexión, Lake también sostiene (1922) que cuando se trasladan las Américas rígidamente y sin distorsión sobre África, entonces faltan unas 1.200 millas para que se encuentren las Sierras de Argentina con las Montañas de El Cabo.

Asimismo, Krenkel en su obra sobre la geología africana estudió la hipótesis de Wegener en relación con la supuesta conexión geológica y estructural del este de Sudamérica y África occidental, siguiendo cinco líneas de pruebas. Estas son (1) el grano del pre-Paleozoico de Brasil y África Occidental, (2) las conexiones de las Montañas de El Cabo con las Sierras de Buenos Aires, (3) las rocas continentales emitidas por los volcanes de Ascensión, St. Helena y Tristan d'Acunha, (4) la naturaleza batimétrica del océano lejos de África Occidental, (5) la relación comagmática de las rocas ígneas a ambos lados del Atlántico. En cada caso se encuentran disparidades bastante notables que le han hecho decidirse en contra de la hipótesis del desplazamiento. Por otro lado, Du Toit (1926), debido a las enumeraciones dadas en una de las primeras páginas, cree en una Pangea.

Conexiones antillano-mediterráneas.— Ocupémonos ahora de las conexiones postuladas entre España y las Montañas del Atlas de África noroccidental y la Antilla. Wegener¹³⁸ arguye que las Montañas del Atlas se plegaron “principalmente en el Oligoceno, pero habían comenzado ya en el Cretácico”, aunque estos pliegues no pueden encontrarse en el lado americano. Sin embargo, es cierto que las Antillas también se plegaron tardíamente en el Cretácico y que han sufrido elevaciones epirogénicas y fallas en épocas diferentes durante el Cenozoico. De acuerdo con esto es curioso ver que Wegener desconoce estos hechos o no desea hacer una excepción dentro de su esquema. No obstante, sortea fácilmente sus dificultades afirmando que las Américas estuvieron una vez estrechamente adyacentes a Euro-África, pero que se fracturaron y derivaron cada una por su lado antes del Carbonífero. Esto, pues, debe haber tenido lugar en el Devónico e incluso antes, y su mapa más reciente para el Carbonífero Superior muestra un Mediterráneo norte-sur con una anchura de algunos cientos de millas, extendiéndose desde el norte de Sudamérica hasta casi Long Island. Nuestra reconstrucción por el método de la plastilina produce un Océano Atlántico Norte (Poseidón) de buen tamaño, de unas 1.500 millas en cualquier latitud (Figs. 14, 15). Este Mediterráneo de conjetura es, para Wegener, un golpe de salvación, y es, en cualquier caso, un carácter que los paleontólogos han postulado desde hace mucho tiempo para explicar el origen de muchos elementos marinos del sur del Tetis europeo, no solo en las faunas postordovícicas de los Estados Unidos meridionales sino tam-

¹³⁸ *Op. cit.*, p. 5-12.

bién para el Silúrico y Devónico de Brasil. Estas conexiones se ven de nuevo en el Pérmico y a lo largo de todo el Mesozoico. Pero este Mediterráneo, nuestro Poseidón, para haber sido un mar normal de abundante vida, y para las posibilidades de migración, debe haber tenido una conexión oceánica profunda y ancha con el Pacífico a través de América Central, y esto no lo muestra el mapa de Wegener. Sin embargo, ahora que su atención se ha dirigido hacia esto, no existirá más dificultad sobre ello, puesto que con su pluma dibujará una ruta marina Caribeña uniendo Poseidón y Tetis con el Pacífico, y resolver así este y otros problemas con la siguiente estrategia:

Pero es imposible ocuparse de cualquier opinión firme sobre esta cuestión con tal que no se conozcan el tamaño y el contorno del bloque español en el Devónico. ...Pero con tal que la teoría del desplazamiento se declare ella misma por estas razones incapaz de llevar a cabo la reconstrucción de esta región para el período Devónico, nadie puede decir si será posible refutar o confirmar el Devónico americano.

Caledónidas.— Wegener tiene razón al conectar las alineaciones corticales caledonianas de Europa noroccidental con las del norte de Terranova, pero se equivoca al conectarlas directamente. En la actualidad hay menos de 2.000 millas en línea recta desde Irlanda hasta Terranova, y los paleontólogos necesitan una distancia como esta durante el Paleozoico para explicar la dispersión de las semejanzas faunísticas de estas tierras. Por otro lado, los estratígrafos de Gran Bretaña insisten en una tierra alta al noroeste, como mínimo de 500 millas de ancho, o una tierra baja con una anchura de al menos 1.000 millas, para suplir la gran masa de detritos del Ordovícico y Silúrico observados en estas islas.

Todos saben que el plegamiento y empuje de las estructuras caledonianas es intenso. Si, entonces, Terranova se sitúa junto a Irlanda, ¿por qué no se conoce en la primera la época exacta de la orogenia? Y en cualquier caso, incluso si uno acopla la época del plegamiento caledoniano en el del Devónico y del Pérmico inferior de Terranova, ¿por qué esta intensidad disminuye tan rápidamente en los plegamientos mucho más sencillos de Terranova?

Todos saben que el plegamiento y empuje de las estructuras caledonianas es intenso. Si, entonces, Terranova se sitúa junto a Irlanda, ¿por qué no se conoce en la primera la época exacta de la orogenia? Y en cualquier caso, incluso si uno acopla la época del plegamiento caledoniano en el del Devónico y del Pérmico inferior de Terranova, ¿por qué esta intensidad disminuye tan rápidamente en los plegamientos mucho más sencillos de Terranova?

Hercínidas.— En cuanto a las Hercínidas, no pueden conectarse totalmente con los Apalaches; son las Caledónidas las que conectan con los últimos. Lo que vemos al noreste de Norteamérica conectando con las Hercínidas no son las rela-

ciones estructurales sino las faunísticas del Atlántico Norte (Poseidón). Estas conexiones se ven en el Ordovícico inferior del sudeste de Terranova, el Silúrico de Arisaig, Nueva Escocia, el Devónico inferior y Carbonífero inferior (Windsor) de Nueva Brunswick. Durante mucho tiempo hemos estado explicando estas semejanzas mediante los mares de plataforma a lo largo del lado sur del ge-anticlinal de Nueva Brunswick, que era fronterizo de la ruta marítima Apalachiano–Caledoniana por la que migraron y evolucionaron las faunas marinas.

TABLA I

RELACIONES GEOLÓGICAS ENTRE LAS MONTAÑAS AFRICANAS DE EL CABO
Y LAS SIERRAS ARGENTINAS

MTS. MERIDIONALES Y OCCIDENTALES
DE EL CABO
subiendo en la secuencia

SIERRAS DE BUENOS AIRES

Sistemas precámbricos. Formaciones ma-
rinas, continentales e ígneas.

Primitivo. Posiblemente Arqueozoico.

Proterozoico

Wistwatersrand

Ventersdorp

Transvaal–Nama

Black Reef

Pretoria

Rooiberg

} gran
desarrollo
del Proterozoico

Construcción de montañas a finales del
Proterozoico; larga erosión.

Cristalinos precámbricos indiferencia-
dos.

Período de construcción de montañas.

Waterberg, edad desconocida.

Ordovícico, extenso en cs., ts., ms., sin
fósiles conocidos, pero sí en las pre-
cordilleras.

Silúrico cs., con *Arthropycus harlani*. Bien
desarrollado en el NW de Argentina.

Sistema de materiales clásticos de El Ca-
bo, 10.000 pies, normalmente consi-
derado del Devónico. Tierra al N.

1. Table Mt. costero ms., cs., tillitas,

5.000 pies: bivalvos sin clasificar;

edad Ordovícico–Devónico.

Disconformidad.

TABLA I (continuación)

MTS. MERIDIONALES Y OCCIDENTALES
DE EL CABO
subiendo en la secuencia

SIERRAS DE BUENOS AIRES

- | | |
|--|--|
| <p>2. Bokkeveld, Devónico Inf., cs., ms., 2.500 pies; mitad inferior marina con 130 especies; mitad superior continental.
Disconformidad.</p> <p>3. Witteberg cs., ms., 2.500 pies; continental probablemente Devónico o ¿Carbonífero Inf.?</p> <p>Elevación epigénica, empezó aproximadamente en el Devónico Med., mayor al N. de 30° S.</p> <p>Gran hiato.</p> <p>Sistema del Karoo al norte de las Mts. de El Cabo, con rocas clásticas continentales, 15.000 pies, con rocas volcánicas terminales, 4.000 pies. Se superponen sobre los Mts. de El Cabo.</p> <p>1. "Pérmico Inf." (Dwyka), cs. inf., 700 pies; tillitas, 1.000 pies; cs. sup., 600 pies; sin carbón. <i>Mesosaurus</i>, <i>Noteosaurus</i>. En el oeste, yacimientos marinos de <i>Eurydesma</i>.</p> <p>2. "Pérmico Med." (Ecca), cs., ms., 2.000–6.000 pies. Flora típica de <i>Glossopteris</i> y raros los reptiles "migradores", <i>Archaeosuchus</i>, <i>Eccasaurus</i>.</p> <p>3. Pérmico Sup. (Beaufort Inf.), ms., cs., 4.000–6000 pies. Flora tardía de <i>Glossopteris</i>, y mayor abundancia de reptiles (70 especies). <i>Pareiasaurus</i>, <i>Titanosuchus</i>, <i>Dicynodon</i>, <i>Propappus</i>, <i>Theorocephalia</i>, <i>Lycosaurus</i>, <i>Endothiodon</i>.</p> <p>4. Triásico Inf. (Beaufort Med.) 1.000 pies. Zona de <i>Lystrosaurus</i> y <i>Proclibon</i>.</p> | <p>Devónico Inf. ms., cs., con fauna de Bokkeveld limitada. Gran desarrollo en el NW de Argentina, pero sin tillitas.</p> <p>Posiblemente una época de marcada orogenia a finales del Devónico superior.</p> <p>Gran hiato.</p> <p>Tillitas pérmicas como Dwyka, intercaladas con los estratos marinos. Sin <i>Eurydesma</i>.
<i>Mesosaurus</i> en Paraná, <i>Noteosaurus</i> en el Brasil pero ninguno en Argentina.</p> <p>Pérmico Med. con flora de <i>Glossopteris</i>; sin reptiles</p> <p>Orogenia en las Sierras y pre-Cordilleras.</p> <p>Ausente.</p> <p>[Estas relaciones pérmico-triásicas entre Sudáfrica y Sudamérica son discutidas más ampliamente por Schuchert en su artículo sobre la edad de las tillitas del Pérmico, que se publicará en 1928.]</p> <p>Ausente.</p> |
|--|--|

TABLA I (continuación)

MTS. MERIDIONALES Y OCCIDENTALES
DE EL CABO
subiendo en la secuencia

SIERRAS DE BUENOS AIRES

- | | |
|--|--|
| 5. Triásico Med. (Beaufort Sup.) 2.000 pies. Zona de <i>Cynognathus</i> . <i>Erythrosuchus</i> relacionado con <i>Scaphonyx</i> . | Ausente. |
| 6. Triásico Med. (Molteno) 2.000 pies. | Ausente. |
| 7. Triásico Sup. (Stomberg) yacimientos rojos, 1.600 pies, con dinosaurios; Cave ms., 800 pies, con dinosaurios. | Yacimientos rojos, 2.900 pies, con <i>Scaphonyx</i> y <i>Erythrosuchus</i> . |
| 8. Triásico Sup. (Drakenberg) intrusiones volcánicas y dolerita, 4.000 pies al norte de las Mts. de El Cabo. | Mesetas lávicas en Brasil, 2.000 pies. Edad incierta, probablemente Triásico superior. |
| Orogenia de la Mt. de El Cabo. Empuje hacia el N. Parece haber comenzado en el Beaufort superior (Triásico superior) y continuó periódicamente en el Cretácico Inf., concluyendo en las altas Mts. de El Cabo. | Ausente. |
| Cretácico Inf. (Uitenhage–Enon) marino superpuesto al SE. | En pre–Cordilleras del NW de Argentina. |
| Disconformidad. | |
| Cretácico Sup. (Pondoland) series marinas, limitadas. | |
| | Plegamiento de Los Andes. |
| Fracturación y fallamiento en el Cretácico superior. | Gran elevación epigénica de Los Andes. |

Considerando la reconstrucción de Wegener de las líneas tectónicas entre el noreste de Norteamérica y Europa noroccidental, Lake afirma¹³⁹ que encajan muy bien, pero que esto resulta de tomarse una gran libertad con la corteza terrestre;

Wegener presionó Terranova y el Labrador fuertemente hacia el noroeste y giró la primera un ángulo de unos 30°. Debe admitirse que el movimiento hacia el oeste de Terranova está de acuerdo con la hipótesis; pero si, además de mover las masas de sial, también nos permitimos amoldarlas como queramos, las coincidencias que se deducen

¹³⁹ Philip Lake, *op. cit.*, p. 344.

se convierten en la prueba de una poderosa imaginación, no en realidades de peso.

Las alineaciones precámbricas.— Las conexiones precámbricas del Holártico a través del Atlántico Norte carecen de valor para el propósito de Wegener, porque estas estructuras se construyeron durante la primera mitad del tiempo geológico, y en consecuencia son de una edad tan vasta y tan poco conocida que cualquier defensor puede leer en ellas lo que desee. En la discusión ante la British Association en 1922, Coleman señaló que no se puede situar dependencia alguna sobre ellas, puesto que “el Arcaico es una formación universal”, lo que significa que hasta ahora no tenemos un conocimiento preciso de estas épocas excesivamente antiguas para efectuar correlaciones de un gran rango de tiempo.

De acuerdo con Lake¹⁴⁰, “En las Hébridas y el norte de Escocia, según Wegener, los antiguos gneises se encuentran desde el noreste hasta el sudeste; en el Labrador de este a oeste”. Sin embargo, “el Estudio Memoir en el noroeste de las Hihglands indica que prevalece la alineación oeste–noroeste–este–sureste, o este–oeste.”

EL GEOSINCLINAL FRANCISCANO Y LA GEOLOGÍA DE ÁFRICA

Nos ocuparemos ahora de un elemento estructural en la parte oriental de Sudamérica que Wegener desconoce, porque nunca ha sido presentado de forma general. Se trata, sin embargo, de una réplica aplastante para la hipótesis del desplazamiento, ya que revela lo poco que se relaciona la geología de Brasil con la de África.

Hace algunos años, en un estudio de las rutas marítimas de Sudamérica, nos sorprendimos al encontrar que existe un geosinclinal ligeramente alineado de noreste a sudoeste en Brasil oriental. Llamamos a esta depresión geosinclinal Franciscano, tomando su nombre del gran Río San Francisco que lo recorre en buena parte de su longitud. El mapa de Evans de las líneas tectónicas de Sudamérica, reproducido por Wegener¹⁴¹, muestra correctamente los alineamientos para esta depresión, pero en el noreste tiene rumbos sudeste–noroeste, que deben ser de los plegamientos precámbricos; en consecuencia, la depresión pasó por alto este antiguo terreno y el grano.

Este geosinclinal Franciscano de Brasil oriental es una depresión larga y estrecha presente al menos desde el Silúrico inferior. No se plegó hasta el Pérmico medio, y aparentemente entonces en el oeste y noroeste. Más tarde, el área del

¹⁴⁰ *Op. cit.*, p. 343.

¹⁴¹ A. Wegener, *op. cit.*, p. 50.

geosinclinal fue invadido también por estratos de agua dulce de edad triásica tardía, y finalmente, a finales del Triásico superior y principios del Jurásico inferior, una meseta lávica de unos 1.000 pies de espesor medio cubrió un área de al menos 300.000 millas cuadradas de superficie entre los ríos Amazonas, Paraná y La Plata. Estas están recubiertas por areniscas de agua dulce aunque son de edad Cretácica. Ninguna de estas formaciones postpérmicas está plegada, aunque sí poseen algunas fallas normales.

Los sedimentos paleozoicos son esencialmente areniscas y esquistos que tienen un espesor común inferior a los 6.000 pies, si bien pueden estar presentes también en estratos anteriores al Silúrico. El Silúrico y el Devónico son depósitos marinos, de unos 2.000 pies de espesor, mientras que los del Pérmico tienen 2.400–3.400 pies, son principalmente continentales, aunque en casi todos ellos aparecen zonas de agua salada y salobre. Todos los detritos del Paleozoico parecen haber llegado del este; al oeste están sepultados bajo la meseta lávica.

Hasta ahora las formaciones de la depresión Franciscana no se han interpretado como un geosinclinal, pero el mapa de Branner de 1919, considerado junto con la naturaleza de los depósitos, y la posición este de una elevada tierra limítrofe durante el Paleozoico, muestra que tenemos todos los elementos estructurales de un geosinclinal. De una forma general se puede decir que el centro de esta depresión se sitúa al este de Maranhão, y algo al oeste de São Paulo, con el alineamiento axial ligeramente hacia el sudoeste, y por último se extiende a lo largo de la costa hasta Rio Grande do Sul.

Puesto que Wegener sostiene que Sudamérica estuvo estrechamente unida a África durante todo el Paleozoico y la mayor parte del Mesozoico, el geosinclinal Franciscano debe encontrar su continuación hacia el noreste a través de Nigeria occidental. Veamos ahora lo que se conoce de la geología general del África occidental, según Lemoine, Chudeau y Krenkel¹⁴². Conforme uno avanza desde el Mediterráneo hacia el sur a través de África Occidental dentro del Golfo de Guinea, las fechas geológicas se hacen cada vez más oscuras, y esto es así principalmente porque se pasa de las rocas más jóvenes y de las profundidades del antiguo Tetis hacia las más viejas y por último se tropieza con el escudo precámbrico de

¹⁴² El mejor informe general, con mapas, es de Paul Lemoine: “Afrique occidentale”, *Handbuch d. regionalen Geologie*, Vol. 7, parte 6A, 1913, p. 1–88. R. Chudeau tiene un trabajo posterior de la tectónica: “Recherches sur la tectonique de l'Afrique occidentale”, *Bull. Soc. Géol. de France* (4), Vol. 18, 1918, p. 59–87.

E. Krenkel, “Geologie Afrikas”, Vol. 1, in *Geologie der Erde*, 1925. El detalle de la geología del África Occidental aparecerá en el segundo volumen; todo lo que tenemos aquí es una relación muy generalizada en las páginas 46–47.

África central. Este escudo también se extiende ampliamente por el oeste de África Occidental meridional hasta Liberia y Sierra Leona. En general, podemos decir que los mares paleozoicos del norte provocaron transgresiones hacia el sur sobre este núcleo muy antiguo de África, extendiéndose el borde más meridional casi desde Liberia occidental, desde aquí rumbo noreste hacia el norte de Nigeria, y penetrando así en el sur del Sáhara, donde se pierde. Es bien sabido que existen muchos esquistos plegados y metamorizados al sur de esta vieja costa, y especialmente en el estado de Costa de Oro; estos han sido referidos algunas veces para etapas iniciales e intermedias del Paleozoico, pero Krenkel señala que lo más probable es que sean de edad proterozoica. En consecuencia, vemos que la estructura y los sedimentos datados del geosinclinal Franciscano de Brasil lindan directamente con el viejo núcleo de África, y en modo alguno existe continuación de esta depresión sudamericana. Por otro lado, coincidimos con satisfacción en que el Tetis se superpone sobre África, con rumbos este y oeste, con faunas del reino atlántico–mediterráneo, y penetra en el valle del Amazonas, pero los paleontólogos que han estudiado estas faunas del Silúrico, Devónico y Pennsylvaniense de Brasil han señalado que concuerdan mejor, aunque lejanamente, con las del valle del Mississippi que con las de África. Igual que los paleontólogos, podemos explicar estas semejanzas faunísticas entre Brasil, África noroccidental y el valle del Mississippi mucho más fácilmente mediante rutas migratorias a gran distancia a lo largo de los mares de plataforma que franquean un puente intercontinental a través del Atlántico, que por la estrecha unión de estas tierras.

En África occidental existen, al menos, barros consolidados datados del Ordovícico medio, con *Climacograptus*, *Diplograptus palmens*, y *D. insectifrons*, probablemente una secuencia entera del Silúrico de estos barros de la que están documentados *Monograptus priodon*, *M. lobiferus* y *Arthropycus*, seguidos por una larga secuencia de areniscas del Devónico inferior, medio y superior con abundantes fósiles identificados. Después existe un gran hiato seguido por faunas del Pennsylvaniense inferior (Dinantiense) y superior (Moscoviense), a las que suceden depósitos continentales pérmicos con tillitas. La siguiente superposición de Tetis ocurrió en el Cretácico, y fue la más extensa, seguida por otras del Cenozoico.

Las formaciones precámbricas de África occidental tienen líneas tectónicas, las Africánidas, con una dirección general NE de 45° a 75°, pero también existen direcciones norte–sur. La siguiente época de plegamiento, notable, llegó durante el Silúrico superior. Se trata de las Saháridas, y ahora se ve que no poseen conexión alguna con las Caledónidas de Europa noroccidental, como se suponía normalmente. Los alineamientos de las Saháridas son más o menos como los de las Africánidas, pero los dos mapas de Chudeau les dan en el sur un alineamiento

noreste y luego girando y dirigiéndose al este-oeste y se plegaron en el sureste y sur. Luego siguió, mucho más al norte, la orogenia del Pennsylvaniense superior, las Hercínidas, con rumbo de alineamiento en una dirección totalmente diferente, a saber, de noroeste a sur-este. Finalmente, en el Eoceno-Oligoceno ocurrió el plegamiento de las Montañas del Atlas, las Alpínidas del extremo noroeste de África, con rumbos sudoeste-noreste.

En Brasil no existe en modo alguno la orogenia del Silúrico o Devónico, algún plegamiento aunque no muy acusado en el Pérmico, y ninguno en todo el Cenozoico. Sin embargo, puede haber existido una época de indudable plegamiento a principios del Paleozoico, o a finales del Ordovícico superior.

Estos hechos muestran que no existen sino pocas conexiones geológicas entre Brasil y África occidental, y existirían muchas si hubieran estado alguna vez estrechamente adyacentes. Cada área tiene su propio desarrollo geológico independiente, distinto de los de otros, lo que indica claramente que Brasil y África noroccidental al menos desde el Silúrico han sido independientes y muy distantes. En esta conexión, debemos recordar lo que dijo Suess en su famoso libro, *The Face of the Earth*¹⁴³:

Sudamérica presenta un mayor grado de homogeneidad estructural en todos sus caracteres que cualquier otra parte del mundo.

Por otro lado, somos conscientes de que recientemente J.W. Gregory ha postulado una ruta marítima con alineamiento norte-sur para el Cretácico medio (Albiano), su Golfo de Angola (él no lo llama geosinclinal), que se extiende desde Trípoli al sur a través del Sáhara y así sucesivamente a través del Camerún occidental y desde allí a lo largo de la costa oeste de África hasta Cabo Frío. Gregory afirma¹⁴⁴ que no se formó hasta el Albiense medio, y la configuración del continente brasileño-etíope fue esencialmente el mismo a lo largo de todo el Albiense superior.

¹⁴³ E. Suess, *The Face of the Earth*, Vol. 1, 1904 (ed. alemana, 1885), p. 537.

¹⁴⁴ J. W. Gregory, "Supplementary Note on the Geology of Benguela in Relation to Its Cephalopods and the History of the South Atlantic". *Trans. Roy. Soc. Edinburgh*, Vol. 53 (1922), p. 161-63.

TERRANOVA E IRLANDA¹⁴⁵

En muchas partes del libro de Wegener encontramos afirmaciones indirectas en el sentido de que Terranova se separó de Irlanda durante el Pleistoceno, y existen párrafos directos a este efecto en las páginas 12, 55, 60, 110, 111, 117 y 172. Obtenemos la mejor idea de esta conexión en la afirmación siguiente¹⁴⁶:

De forma parecida, Norteamérica estuvo cerca de Europa; y al menos desde Terranova e Irlanda hacia el norte, formaron con Groenlandia un bloque conectado.

Por último, afirma¹⁴⁷:

La fragmentación pudo haber tenido lugar en el período de máxima glaciación, o, muy posiblemente, un poco antes. En todo caso, la distancia entre los bloques no fue de gran importancia cuando la glaciación estaba en su máximo; por otra parte, los bloques deben haber estado separados considerablemente en la época de la última glaciación.

Esta conexión también está ilustrada en su mapa¹⁴⁸ titulado “Reconstrucción de los Bloques Continentales durante la Gran Edad de Hielo”. Por lo tanto, puesto que esta separación de Terranova e Irlanda tuvo lugar durante el Pleistoceno, la geología de Terranova e Irlanda debería ser parecida a lo largo de todo el tiempo geológico. Veamos ahora lo que son las actuales relaciones, como se consigna en la Tabla II en columnas opuestas para una fácil comparación.

Estos hechos muestran inconfundiblemente que Terranova nunca fue parte de Irlanda, y que cada tierra pertenece a una provincia geológica ampliamente diferenciada. Además, las faunas de los dos países son tan diferentes que ya desde el Cámbrico deben haber sido dos provincias faunísticas distintas, y a juicio de las faunas actuales, deben haber estado aisladas una de la otra por rutas migratorias de varios miles de millas. Sus semejanzas y diferencias faunísticas pueden explicarse solo por largas rutas migratorias, y las semejanzas más fuertes se encuentran solo entre los graptolitos (flotantes), corales (larvas de largo desarrollo mientras flotan), y trilobites (buenos nadadores). Ni en las épocas orogénicas coinciden, y mientras la actividad volcánica fue acusada en Gran Bretaña durante el Ordovícico y el Silúrico, casi nada de esto ocurrió en Terranova.

¹⁴⁵ Para Irlanda, véase el vol. sobre las I. Británicas en *Handbuch der regionalen Geologie*, Vol. 3, parte 1, 1917; *Atlas of Great Britain and Ireland* de Stanford, 1907; Jukes-Browne, *Building of the British Isles*, 1911.

¹⁴⁶ A. Wegener, *op. cit.*, p. 12.

¹⁴⁷ *Idem*, p. 110.

¹⁴⁸ *Idem*, p. 111.

Evans, en su introducción a la edición inglesa del libro de Wegener¹⁴⁹, hace la siguiente afirmación asombrosa:

La sucesión de las rocas sedimentarias en áreas ahora separadas por miles de millas marinas muestra extraordinarios parecidos que solo pueden explicarse razonablemente si estos sedimentos fueron depositados muy próximos unos de otros y bajo condiciones prácticamente idénticas.

TABLA II

RELACIONES GEOLÓGICAS ENTRE TERRANOVA E IRLANDA

TERRANOVA	IRLANDA
La naturaleza de los sedimentos del Paleozoico y la dirección del geosinclinal del San Lorenzo requiere una tierra de gran superficie al NW. Esta depresión no se descubre en Irlanda sino a través del NW de Escocia.	La naturaleza de los sedimentos del Paleozoico y la dirección caledoniana requiere una tierra de gran superficie al W y NW. Opinión sostenida por todos desde su presentación por Hull. Esta tierra no puede ser Terranova con su historia marina separada.
El geanticlinal E-W de Nueva Brunswick separa el geosinclinal septentrional del San Lorenzo del Acadiense meridional.	Ausente.
El geosinclinal Acadiense tiene de vez en cuando ligeras conexiones faunísticas con Gran Bretaña.	Ausente, a menos que las conexiones se hagan con el geosinclinal armoricano; semejanzas faunísticas, pues, ligeras.
Dirección del geosinclinal del San Lorenzo ligeramente al NE.	Dirección NE de las Caledónidas pero menos en consideración que en Terranova.
Dirección NE de las Apaláchidas.	Dirección este de las Hercínidas.
Arqueozoico de distribución superficial muy amplia, principalmente granitos.	Arqueozoico no conocido de forma definitiva.
Anortositas como rocas ígneas características.	Ninguna en Gran Bretaña.
Detritos proterozoicos del sudeste en las depresiones NW-SW.	Proterozoico en los detritos Dalradienses que conectan con los Torridonienses de Escocia.

¹⁴⁹ A. Wegener, *op. cit.*, p. vii-viii.

TABLA II (continuación)

TERRANOVA	IRLANDA
Cámbrico inf. en dos geosinclinales separados por el geanticlinal de Nueva Brunswick. La depresión del San Lorenzo tiene Cámbrico Inf. y Sup. La depresión Acadiense tiene Cámbrico Inf. y Med., con semejanzas faunísticas europeas.	Cámbrico limitado (?), muy pobre, restringido al SE. Fósiles no identificados, edad no probada. Ninguna comparación posible con Terranova.
Cámbrico med. en la depresión Acadiense. Conexiones faunísticas claras con Europa NW.	Desconocido.
Cámbrico—Ozarkiano sup. en ambas cuencas. Poco comprendidas.	Desconocido.
Ordovícico Inf. ts. de gran desarrollo en el geosinclinal del San Lorenzo. Conexiones faunísticas con Escocia NW. Facies detríticas del geosinclinal Acadiense de gran desarrollo, con semejanzas faunísticas galesas.	Se correlaciona con los materiales clásticos de Tremadoc y Arenig, pero ambas se desconocen en Irlanda.
Ordovícico med. (Chazy) ts. en marcado desarrollo en la depresión del San Lorenzo. Ninguno en la depresión acadiana.	Llandeilo en el SE., detritos y materiales volcánicos. Ninguna conexión faunística americana a excepción de graptolitos.
Mov. tectónicos. Falla normal (?).	
Ordovícico med. (Black River—Trenton) con un vasto desarrollo detrítico al NW. Sin materiales volcánicos. Fauna limitada.	Bala del SE. y en otra parte con vasto desarrollo de rocas detríticas y volcánicas. Extremos a 9.000 pies de los depósitos continentales. Ninguna conexión faunística americana a excepción de graptolitos.
Ordovícico sup. (Richmond) con fauna rica en el geosinclinal del San Lorenzo.	Puede ser en la serie de Bala, pero, si es así, las faunas no se relacionan totalmente con las de América.

TABLA II (continuación)

TERRANOVA	IRLANDA
Silúrico inf.-med., probablemente bien desarrollado en las facies litorales, restringido al geosinclinal del San Lorenzo, pero poco conocido faunísticamente. La anticosta más al W. muestra limitadas conexiones faunísticas suecas e inglesas.	El Silúrico completo parece estar presente, potente, en las facies litorales, haciéndose cada vez más marino normalmente, y conecta directamente con el Silúrico de Gran Bretaña, faunística y estratigráficamente. Materiales volcánicos presentes. Faunas no relacionadas estrechamente con las de Terranova.
Silúrico sup. desconocido.	
Ningún movimiento orogénico o actividad volcánica.	Grandes movimientos orogénicos, elevación de las Caledónidas a finales del Silúrico.
Devónico ausente. Tierra firme. Actividad volcánica en el Devónico inferior.	Devónico en las acusadas facies ss. de Old Red posiblemente con alguna marina, 3.000–10.000 pies y posiblemente 20.000 pies con materiales volcánicos.
Levantamiento de los Mtes. Acadienses en todo el NE. de Norteamérica en el Devónico superior.	Sin orogenia.
Ausente. Tierra firme.	Carbonífero inf. (Avoniano) en ls. macizos, los principales estratos de Irlanda. Rico en fósiles con ligeras semejanzas americanas.
Carbonífero inf. Tardío (Windsor) detritos, dolomitas, yeso y faunas marinas limitadas que conectan con el S. de Inglaterra y Bélgica.	Carbonífero inf. tardío con materiales volcánicos. Faunas casi desconocidas, pero bien conocidas en el SW. de Inglaterra y Bélgica.
Ausente.	Carbonífero sup. primitivo, marino.
Serie de los Depósitos de Carbón de tipo continental bien desarrollados en la depresión Acadiense. Orogenia periódica.	Serie de los Depósitos de Carbón de tipo continental una vez presentes ampliamente. Orogenia periódica.
Ausente. Tierra firme.	Pérmico marino y continental pero poco desarrollado en el Ulster. Ampliamente presente en Gran Bretaña y Alemania.
Orogenia marcada del Pérmico inferior pero solo en los Apalaches meridionales.	Gran orogenia del Pérmico pero aparentemente mucho más tardía que en América.

TABLA II (continuación)

TERRANOVA	IRLANDA
Tierra firme y erosión.	Triásico inferior (rojo continental) y superior (más continental) y Lías marino y Cretácico sup., todo limitado al NE.
Finales del Cretácico superior con elevaciones epirogénicas.	?
Ausente.	Meseta lávica del Eoceno.
Elevación epirogénica del Plioceno.	?
Mantos de hielo del Pleistoceno.	Mantos de hielo del Pleistoceno.

Sin embargo, la presentación precedente de la geología de Irlanda y Terranova muestra que existe muy poco en común entre estos dos países en su secuencia estratigráfica, condiciones de facies, actividad volcánica, orogenia o faunas marinas. ¿Por qué? Porque el geosinclinal del San Lorenzo y el geoanticlinal de Nueva Brunswick se extendieron una vez a lo ancho del Atlántico (con dimensiones algo parecidas a las actuales) hasta Escocia y de aquí dentro de Noruega y Suecia. Hottedahl ha sacado a relucir esto numerosas veces, y nosotros, los paleontólogos, debemos en este caso, y en otros también, tomar las largas rutas migratorias para explicar la ligera relación entre las faunas de Norteamérica nororiental y Europa noroccidental.

Wegener discute con cierta amplitud las relaciones estructurales de Europa noroccidental y Norteamérica nororiental y justifica para su propia satisfacción un claro caso de que los dos lados estuvieron una vez estrechamente adyacentes, que se fracturaron durante el Pleistoceno, y desde entonces han derivado independientes algunos miles de millas. Ya se mostró para Terranova e Irlanda lo bien que encajan los bordes de los dos continentes. Así obtenemos esta característica conclusión wegeneriana¹⁵⁰:

Las correspondencias de las costas atlánticas, a saber, el plegamiento de las Montañas de El Cabo y de las Sierras de Buenos Aires así como la correspondencia entre las rocas eruptivas, sedimentos y alineamientos en las grandes mesetas gneísicas de Brasil y África, los sistemas de plegamientos Armoricano, Caledoniano y Algonkiano, y las morrenas terminales del Pleistoceno, y el conjunto de todo esto... proporcionan una prueba, que es difícil de rebatir, de la validez de nuestra suposición de que el Atlántico debe considerarse como un rift expandido... Es precisamente como si colocásemos juntas las

¹⁵⁰ *Op. cit.*, p. 55–56.

piezas de un periódico roto por sus bordes hechos jirones, y luego verificásemos si las líneas de prensa concuerdan uniformemente. Si es así, obviamente no existe otro camino que concluir que las piezas realmente estuvieron una vez unidas de esta forma. Pero si una simple línea posibilitase el control, tendríamos que mostrar ya la gran posibilidad de corregir nuestra interpretación. Pero si tenemos n hileras, esta posibilidad se eleva a la enésima potencia. No es una pérdida de tiempo aclarar lo que esto implica. Podemos aceptar, simplemente sobre la base de nuestra primera 'línea', el plegamiento de las Montañas de El Cabo y de las Sierras de Buenos Aires, que las posibilidades son diez a uno de que la teoría del desplazamiento es correcta. Puesto que existen al menos seis de dichos controles independientes, 10^6 , o un millón a uno harían que nuestras suposiciones fuesen correctas.

Sin embargo, las cifras usadas de esta forma nada pueden probar, y la conclusión que se deriva de ellas, de que está en lo cierto 10^6 , desde luego es absurda.

CONEXIONES FAUNÍSTICAS Y FLORÍSTICAS

Hemos establecido ya que Wegener empezó a pensar en su teoría del desplazamiento continental debido a las semejanzas geográficas actuales que resultan al comparar la costa oriental de Brasil con la costa occidental de África. Esto le llevó a la convicción en su caso, una vez que se hizo consciente de la “prueba paleontológica”, de que estas tierras estuvieron unidas con anterioridad. Esta prueba, que yo debo afirmar conozco bastante bien, se queda en las estrechas semejanzas entre la flora de *Glossopteris* del Pérmico medio a ambos lados del Atlántico meridional, junto con la presencia de reptiles *Mesosaurus* y *Noteosaurus* tanto en Sudamérica como en África. A esto se puede añadir además los hechos de que la fauna marina del Devónico inferior (Bokkeveld) de Sudáfrica se extendió en Argentina y el sur de Brasil, y que las faunas de ammonites *Trigonia* del Jurásico superior y Cretácico inferior de Argentina noroccidental y África oriental fueran de una provincia marina. Se puede añadir todavía más a esta prueba favorable, pero, después de todo, las identidades y las semejanzas no son plenas; por el contrario, son muy escasas e incluso muestran con bastante claridad que estamos tratando aquí de un reino marino austral (Tabla I). Si las rutas migratorias hubieran sido cortas, por ejemplo dentro de algunos cientos de millas, que sería el caso si África y Sudamérica hubieran estado unidas, estas faunas tendrían numerosas especies en común, probablemente más del 50 por cien de identidades, pero sus relaciones son en realidad tan distantes como para indicar evidentemente que la dispersión ha sido a lo largo de miles de millas de litoral y durante mucho tiempo, provocando que la mayoría de los elementos evolucionaran *en route*^[42] no solo en otras especies y géneros, sino incluso en familias diferentes.

Cualquier paleontólogo que lea cuidadosamente las páginas 98–106 de la obra de Wegener, que tratan de la distribución de los Depósitos de Carbón y floras de *Glossopteris* del “Permo–Carbonífero”, no verá solo la agilidad y versatilidad de su imaginación, sino también lo fácil que le resulta fabricar todos los hechos que encajen en su hipótesis. ¿Por qué es así? Porque generaliza a partir de las generalizaciones de otros, y compara cosas distintas, considerando la correlación de formaciones hechas por geólogos mientras se relacionen con “diferencias temporales relativamente sin importancia”¹⁵¹. En estas páginas explica sus opiniones del clima del Permo–Carbonífero, disponiendo el ecuador en consecuencia¹⁵². Finalmente, para que nos sea fácil entender sus opiniones, las dibuja sobre un simple diagrama¹⁵³ titulado “Pruebas del Clima en el Permo–Carbonífero”.

En este esquema sencillo se compromete a representar los sucesos que tuvieron lugar durante un lapso de algo así como 50 millones de años, y hace que la flora de los Depósitos de Carbón tropicales encajen con la flora “polar” de *Glossopteris* del Pérmico mucho más joven, y para que esta última pueda ser verdaderamente polar supone que carecía de árboles¹⁵⁴, afirma que el Ártico estuvo en esa época adyacente al sureste de África con el polo Sur en su borde, ¡y en consecuencia dispone los cinturones climáticos alrededor del mismo (Fig. 19)!

La flora terrestre de *Glossopteris* no existe solo en la India, África y muy distribuida en Sudamérica, sino también en las Malvinas, la Antártida y abunda en Australia¹⁵⁵. Los paleobotánicos no están del todo de acuerdo en la forma de dispersión de esta flora. Algunos sostienen que viajó a través de un puente intercontinental desde Brasil a África y de aquí a la India, y otros postulan un puente desde Sudamérica a la Antártida y desde aquí otro hasta Australia. No se sabe incluso

¹⁵¹ *Op. cit.*, p. 98.

¹⁵² Gert, que estudió los corales del Pérmico de Timor en las Indias Holandesas Orientales, sostiene que son de aguas cálidas, y esta conclusión también está apoyada por las especies asociadas, que juntas componen la mayor fauna conocida del Pérmico, de unas 600 especies. Dicha fauna no ha vivido más allá de los 30° de latitud S, y en la proyección de Wegener del Pérmico habría tenido lugar a unos 45° de latitud S. Como dice Gert, la fauna pérmica de Timor solo prueba que el polo Sur no habría estado donde lo sitúa Wegener. Véase H. Gert, “Die Korallenfauna der Perm von Timor und die Permische Vereisung”, *Leid. Geol. Meded.*, 1926, p. 7–14.

¹⁵³ A. Wegener, *op. cit.*, p. 100.

¹⁵⁴ Gothan apuntó en 1911 que los bosques fósiles de Australia y Malvinas tienen anillos de crecimiento.

¹⁵⁵ Para una excelente relación de la dispersión climática y geográfica de esta flora, véase David White, “Permo–Carboniferous Climatic Changes in South America”, *Jour. Geology*, Vol. 15 (1907), p. 615–33.

dónde se originó esta flora (algunos paleobotánicos piensan en la Antártida o Australia), pero si surgió en Sudamérica y fue a la Antártida por un puente intercontinental, el resto de la distribución debió haber sido por medio de las corrientes oceánicas, precisamente igual que las dicotiledóneas asiáticas alcanzaron las Islas Hawái en el Cenozoico, que han sido siempre masas volcánicas aisladas. Por otro lado, David White señala que la flora pérmica más joven claramente es, por los rigores climáticos, una excrecencia altamente modificada de la flora de los Depósitos de Carbón mundiales, y de esta forma es probable que apareciera en varios lugares y a través de la migración y combinación con lo que quedó de la vegetación se convirtió en la bien conocida flora de *Glossopteris*.

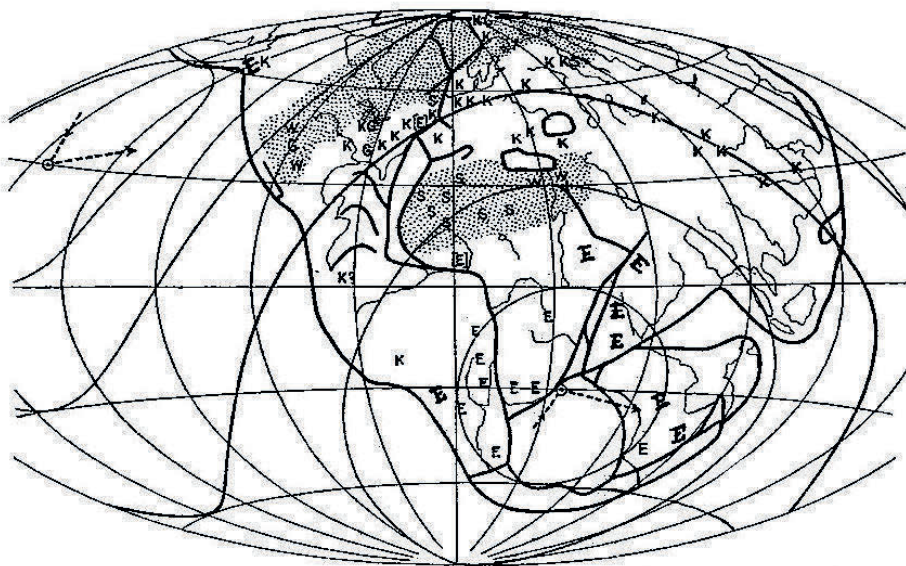


FIG. 19.— Pangea del Carbonífero como ilustra Köppen y Wegener en *Die Klimate der geologischen Vorzeit*, 1924. E, prueba glaciaria (extendida por Schuchert); K, carbones; S, sal; G, yeso; W y áreas puntuadas, desiertos.

Lake¹⁵⁶ ha examinado extensamente la distribución de la flora de *Glossopteris*, y puntualiza lo siguiente: dicha flora también se encuentra en Cachemira, Afganistán noroccidental y Persia nororiental, Tonquin, Rusia meridional y Siberia. En Rusia está acompañada por reptiles sudafricanos y caracoles de agua dulce.

De ninguna forma la explicación de Wegener ha simplificado el problema de

¹⁵⁶ Philip Lake, *op. cit.*, p. 227.

la distribución de la flora y fauna de *Glossopteris*.

Lake considera después la distribución de las tillitas del Pérmico y afirma:

Incluso si admitimos el movimiento del polo [y Wegener mueve el polo Sur 2.500 millas desde su posición actual], en el supuesto más favorable el hielo debe haberse extendido mucho más hacia el ecuador de lo que lo hicieron los mantos del hielo del período Glacial del Pleistoceno.

Existen tillitas del Pérmico en la Sierra de la Sal de la India, en Afganistán (en el mapa¹⁵⁷ de Wegener esto estaría dentro de los 30° de su supuesto ecuador), en África noroccidental, en Boston (en el mismo mapa este se situaría en el ecuador), y en el ártico de Alaska.

Coleman es hoy nuestro mejor especialista sobre la distribución de los climas glaciales, y ha visto tillitas del “Permo–Carbonífero” en muchas tierras. Considerando la Pangea de Wegener, y situando el polo Sur en el sureste de África, asegura que las áreas de glaciación estarían más al interior y fuera del alcance de los vientos cargados de humedad necesarios para depositar la nieve. Serían regiones áridas sin zonas de nieve perpetua, como el interior de Asia, que no tuvo glaciación en el Pleistoceno aunque es una de las regiones más frías del mundo. Es evidente, pues, que la deriva de los continentes y el cambio de los polos no nos ayuda a explicar de la glaciación Permo–Carbonífera¹⁵⁸.

Y finalmente observa:

Puede establecerse de modo confidencial que un estudio cuidadoso de los dos mayores períodos de glaciación conocidos por la geología no apoya en forma alguna la teoría de la deriva de los continentes y la migración de los polos.

Wegener confía bastante en la distribución actual de las lombrices de tierra como prueba de su teoría de la Pangea occidental, y afirma¹⁵⁹:

La distribución actual de las lombrices de tierra ofrece en concreto la prueba incuestionable de las conexiones terrestres anteriores del Atlántico, porque normalmente el mar es un obstáculo insalvable para estos animales. En diversas latitudes, a lo ancho del Océano Atlántico, se enhebra por ellas un número singularmente elevado de hilos de afinidad.

Podemos añadir aquí que existen varios otros “hilos de afinidad” igualmente extraordinarios que debería haber usado Wegener, a saber, la distribución actual

¹⁵⁷ *Op. cit.*, p. 120.

¹⁵⁸ A. P. Coleman, “Permo–Carboniferous Glaciation and the Wegener Hypothesis”, *Nature*, 25 de abril de 1925, p. 602.

¹⁵⁹ *Op. cit.*, p. 78–79.

de los Uniónidos, caracoles terrestres, crustáceos macruros, arañas, peces pulmonados, cecilianos, etc. Sin embargo, todas estas distribuciones se explican al menos tan fácilmente por la presencia de un puente desde Brasil hasta África, la explicación más común aceptada, para las que Wegener no tendrá ninguna¹⁶⁰. Por otro lado, no se debe olvidar que todas estas razas son antiguas, algunas se remontan al menos hasta el Cretácico inferior o el Jurásico, y el resto a los diferentes períodos del Paleozoico; los peces pulmonados datan del Devónico, y las lombrices terrestres pueden ser incluso más antiguas. Estamos tratando aquí sobre la radiación orgánica de un inmenso intervalo de tiempo geológico, remontrándonos varios cientos de millones de años. ¡Vaya panorama se ofrece así de las posibilidades en la distribución biogeográfica, y con cuánta diversidad puede haber ocurrido todo! Sin embargo, parece que podemos decir que con tanto tiempo disponible deberíamos incluso suprimir el puente intercontinental mesoatlántico, y explicar la distribución de toda la vida terrestre mediante la dispersión radial desde la región Holártica y la Antártida.

He creído durante mucho tiempo en un puente intercontinental, el más estrecho, a pesar de todo, que se muestra en los mapas paleogeográficos, durante todo el Paleozoico y Mesozoico a lo ancho del Atlántico desde Brasil hasta África. Este puente me parece imprescindible para explicar la distribución peculiar de las variadas faunas marinas del Paleozoico y Mesozoico del norte de Brasil, el geosinclinal andino, Centroamérica y la parte meridional de los Estados Unidos, por un lado, y las de Sudamérica meridional, sur y este de África, y la India, por otro. Pero este puente intercontinental de Gondwana occidental parece incluso más necesario para explicar las semejanzas de las floras y faunas terrestres, y a pesar de esto todos los biogeógrafos admiten las grandes posibilidades de la dispersión radial desde la región Holártica. Dichas rutas migratorias han sido posibles siempre desde el comienzo del Cámbrico, pero se han hecho locales y cronológicamente inoperativas por la aparición periódica de las sierras montañosas, climas desérticos sobre vastas áreas, y variaciones en la expansión del gran Tetis mediterráneo y otros océanos.

Concédase al biogeógrafo de la región holártica un puente continental desde el norte de África hasta Brasil, otro desde Sudamérica hasta la Antártida (casi existe hoy), incluso otro desde esta tierra polar hasta Australia y desde esta última a través del Mar de Arafura hasta Borneo y Sumatra y de aquí a Asia, más los medios aceptados de dispersión a lo largo de los mares de plataforma y por el viento

¹⁶⁰ Estas conexiones faunísticas son discutidas en su totalidad por Hermann von Ihering en su *Geschichte des Atlantischen Ozean*, Gustav Fischer, 1927.

y las corrientes marinas y las aves migratorias, y tiene todas las posibilidades necesarias para explicar la dispersión de la vida de los reinos terrestre y oceánico durante todo el tiempo geológico por las disposiciones actuales de los continentes. Con estos medios, se puede también explicar la dispersión de la vida con mucha más facilidad que por la forma de la Pangea de Wegener; esta tierra hipotética habría conducido a una dispersión fácil y por lo tanto a floras y faunas cosmopolitas, y eso es precisamente lo que el mundo ha visto muy raramente y no posee hoy.

CONCLUSIONES

La relación previa ha mostrado una y otra vez que las cadenas montañosas posteriores a ambos lados del Atlántico de ningún modo están relacionadas tan estrechamente en posición, estructura e historia como expone Wegener, y lo mismo sucede con las faunas marinas fósiles. No queremos decir que en modo alguno no existan semejanzas geológicas y paleontológicas a ambos lados del Atlántico, porque fácilmente se ve que existen muchas faunísticas así como estructurales, que fueron señaladas mucho tiempo antes que Wegener. Pero la dificultad total de la hipótesis de Wegener y de sus métodos reside, como hemos dicho, en que generaliza con bastante facilidad a partir de otras generalizaciones, y que presta poca atención o ninguna a la historia geológica o al tiempo en que se producían los fenómenos estructurales y biológicos discutidos. No sucede, como sostiene Wegener, que el trabajador no pueda ver el bosque a causa de tantos árboles diferentes, o que el paleontólogo necesite un geofísico para que le muestre la carretera sobre la que podría viajar. Los hechos son los hechos, y es a partir de los hechos de los que hacemos nuestras generalizaciones, desde la pequeña a la grande, y es incorrecto que un extraño a los hechos los maneje para generalizar a partir de ellos hacia otras generalizaciones.

Será interesante ver a qué han llegado otros críticos de la hipótesis del desplazamiento. Carl Diener¹⁶¹, el erudito paleontólogo de Viena, declara que a primera vista parece que la hipótesis tiene mucho de valor, pero sobre un severo análisis resultará que

no es sino un juego con posibilidades reales... Carece de hechos fundamentales de naturaleza positiva, y toda una serie de hechos paleontológicos no armonizan con ella.

Reid comenta: “La elasticidad de la hipótesis de Wegener es evidente”. Y Lake¹⁶², que la examinó extensamente, establece:

¹⁶¹ Carl Diener, *op. cit.*, p. 342.

¹⁶² *Op. cit.*, p. 338, 340 y 346.

Cualquier cosa que pueda haber sido originalmente la propia actitud de Wegener, en su libro no busca la verdad; defiende una causa, y se ciega ante cualquier hecho y argumento que le sea contrario. Buena parte de su prueba es superficial. Sin embargo, es un diestro defensor y presenta un caso interesante.

Esto es lo que resulta valioso en la hipótesis:

Ha realizado un inestimable servicio llamando la atención hacia el hecho de que las masas terrestres pueden haberse movido unas en relación con las otras. No ha probado que realmente se hayan movido, y menos todavía ha demostrado que lo hagan de la forma que imagina. Ha sugerido muchas cosas, pero no ha probado ninguna.

Berry¹⁶³ afirma en 1922:

No puedo ver el registro de dicha unión anterior [de Sudamérica y África] en todo lo que sabemos de la estratigrafía, estructura, faunas o floras... Prefiero mucho más la antigua hipótesis de los puentes intercontinentales y la subsidencia.

En cuanto a los climas geológicos como muestran Köppen y Wegener, Berry observa¹⁶⁴:

Tampoco tiene ni la más ligera idea de la relación de las faunas y floras fósiles con los problemas que intentan explicar, y por lo tanto, a dondequiera que les lleven sus conclusiones, explican algo que nunca existió.

Termier¹⁶⁵, director del Servicio Geológico de Francia, manifiesta que la teoría alemana tiene “un encanto innegable y una belleza real”. Es

un hermoso sueño, el sueño de un gran poeta. Uno intenta abrazarlo, y encuentra que no tiene en sus brazos sino un pequeño vapor o humo; es al mismo tiempo atractivo e intangible.

Con Termier y Diener, estamos de acuerdo que la hipótesis de Wegener pone en pie el método muy poco sólido de partir de la teoría de la constancia de posición de las mayores configuraciones terrestres de continentes y océanos, y opone a ella otra que agrupa todas las tierras actuales en un enorme continente que permaneció hasta el Mesozoico medio, momento en que empezó a fracturarse y las partes derivaron hasta las posiciones que se ven actualmente. Solo estamos en terreno seguro con tal que sigamos las enseñanzas de la ley de la uniformidad^[43]

¹⁶³ E.W. Berry, “Outlines of South American Geology”, *Pan-Amer. Geol.*, Vol. 37 (1922), p. 187–216.

¹⁶⁴ E.W. Berry, “The Term Oligocene”, *Amer. Jour. Sci.* (5), Vol. 13 (1927), p. 256.

¹⁶⁵ P. Termier, “The Drifting of the Continents”, *Ann. Rept. Smithson. Inst. for 1924* (1925), p. 219–36.

en la actuación de las leyes de la naturaleza. Hace mucho tiempo que se libró la batalla sobre la teoría de la permanencia de los mayores caracteres terrestres introducida por James D. Dana, y ganaron los americanos. En Europa, sin embargo, esta batalla todavía no ha llevado a alguna conclusión, puesto que existen importantes geólogos que aún siguen a Lyell y creen en la mutabilidad de los continentes y océanos, y otros que no vacilan en empujar los polos de la Tierra hacia cualquier sitio para explicar simples peculiaridades faunísticas y florísticas.

Mucho antes de esto, se le ha hecho evidente al lector que soy iconoclasta hacia la hipótesis de Wegener en su conjunto. Por otro lado, nuestra mente está totalmente abierta hacia la idea de que los continentes pueden haberse movido lentamente, de forma muy lenta en realidad, lateralmente y de forma distinta en épocas diferentes. Todo estudioso de la tectónica, en su lectura durante los últimos quince años al considerar las generalizaciones alcanzadas por un estudio de las estructuras montañosas y su significado, se debe haber repetido una y otra vez que ha existido un desplazamiento diferencial continental real. Estas generalizaciones, cuando están basadas en cadenas individuales y montañosas menores, no son excelentes, pero cuando uno empieza a considerar las Cordilleras de los Estados Unidos, con su anchura actual de más de 1.000 millas, uno se pregunta en general sobre cuánto se ha movido hacia el este California occidental. Nadie ha explicado todavía esto. Además, cuando uno vuelve a los Alpes y el mayor especialista le cuenta que su anchura actual de 150 millas originalmente fue de 500 y quizás 625¹⁶⁶, lo que significa que su límite meridional se ha movido desde las 350 a 475 millas al norte, empieza a recordar la afirmación de Galileo respecto de la Tierra: “Y sin embargo se mueve”^[44]. Más extraordinarias incluso son las afirmaciones de Termier considerando las montañas de Asia central, que poseen una anchura actual combinada de 1.845 millas de norte a sur, pero que originalmente tenían una anchura estimada de 3.600 millas. En otras palabras, el escorzo debe haber sido del orden de 1.800 millas. En consecuencia, estamos obligados a concluir que los continentes se mueven en realidad más extensamente, pero con tanta lentitud que Asia ha necesitado muchos cientos de millones de años para consumir el movimiento previamente mencionado. Pero ¿estos movimientos significan que todo, o incluso partes, del sial granítico se ha movido en la horizontal con tanta amplitud a través del sima basáltico como postula Wegener? No somos los primeros en contestar a esta cuestión, pero sentimos que debemos tener la mente abierta al menos hacia alguna proporción desconocida de los desplazamientos

¹⁶⁶ La compresión de los Alpes es estimada por Staub (*Der Bau der Alpen*, 1924, p. 7–8) entre 690 y 1.035 millas, mientras Heim afirma que como mucho solo es de 185 millas.

continentales. Sin embargo, como Termier, estamos “orientados menos por la movilidad que por la permanencia” de los mayores caracteres de la Tierra.

RETROSPECTIVAMENTE

La nueva obra de Daly, *Our Mobile Earth*, da con la piedra clave para el intento de salvar el germen de la verdad en la teoría del desplazamiento y la reconcilia con los hechos que ya maneja la geología. Siguiendo su directriz, nos hemos situado bajo la secuencia de desarrollo de la Tierra que encontramos necesaria para encajar nuestra cronología geológica precisa, por un lado, y el desarrollo y distribución conocidos de las antiguas faunas, por otro. Somos conscientes de que este plan, así como el de Wegener, presenta al menos una dificultad para la que no hay solución todavía a la vista, a saber, el derrumbe de los puentes intercontinentales y de muchas tierras limítrofes, pero confiamos en que con el tiempo los geofísicos encontrarán la forma en que esto tuvo lugar. En cualquier caso, esto parece menos insalvable que muchas inexactitudes e “imaginaciones” que se oponen a la teoría de la Pangea.

El tiempo cósmico, para nosotros, se cerró con una Tierra estratificada y fundida que dio origen no necesariamente a una corteza granítica universal (sialesfera), sino o bien (1) a una corteza localizada y de espesor variable, que cubre áreas mucho más amplias que las de los continentes actuales, o (2) a una universal, muy fina sobre la que se encuentran ahora los océanos Pacífico y Antártico; lo que una vez existió de una costra granítica sobre estas áreas forzosamente oceánicas fue “engullido y digerido” por el sustrato basáltico o simaesfera durante el Arqueozoico. Sobre esta corteza fría de sial y sima debe haberse extendido un océano universal pero con una cantidad de agua probablemente no mayor que la mitad de la actual en la superficie de la Tierra; lo demás llegó a lo largo del tiempo geológico. La piel granítica en los sitios donde se presenta era más fina que ahora, y el sustrato basáltico, en su mayor parte vítreo, era por tanto muy móvil debido a la condición de un interior terrestre sumamente caliente. Precisamente el tiempo geológico había empezado con el nacimiento de la era Arqueozoica, y entre nosotros y este comienzo del registro terrestre en las rocas se extienden aproximadamente mil quinientos millones de años.

El Arqueozoico fue la época de mayor perturbación cortical, globalmente la fina y localizada sialesfera se fue abovedando en las escasas cadenas montañosas, localmente plegadas, comprimidas, y deslizándose una sobre la otra, y a través de las profundas heridas de la fractura surgió el granito fluido, y sobre la superficie, vastos flujos de lava. La sialesfera, por entonces un mundo insular, fue creciendo

y soldándose para formar unas islas continentales cada vez mayores entre las que se extendía el mar, y con los mares, les correspondió a la lluvia y al aire intervenir plenamente en los fenómenos de erosión y sedimentación. Esta era calidoscópica topográfica y geográficamente puede haber durado un tercio de la historia geológica.

El Proterozoico fue otra era de marcado cambio del sial que duró la mayor parte de otro cuarto de la historia geológica. Pero mucho antes del cierre de esta era la sialesfera parece haber estado soldada en tres zonas de tierras transversales o latitudinales en gran parte, a saber, Holarctis, Antarctis y Equatoris (Fig. 20). La última abarcaba a Sudamérica, un puente intercontinental a lo ancho del actual Atlántico medio, África, Madagascar y Lemuria junto con la India. Antanctis tenía, además, prolongaciones a Sudamérica y Australia, que fue luego parte de esta gran tierra polar. Al norte, y también en varios lugares a lo ancho, de Holarctis, ese gran continente septentrional, estaban los mares de aguas poco profundas del geosinclinal, mientras al sur de la mayor de estas masas terrestres se extendía un vasto océano medio, el Tetis de Suess y sus diversas extensiones; todas aquellas cuencas están actualmente casi en su totalidad apiñadas en las montañas de Eurasia. Entre Equatoris y Antarctis se extendían las grandes partes oceánicas que se unen ahora en el Océano Antártico, mientras que el mayor de los océanos, el Pacífico, permaneció donde comenzó y continuó evolucionando dentro siempre de las mayores proporciones durante el Arqueozoico, y alcanzó la madurez aproximadamente en el Proterozoico medio.

Asentidas estas condiciones u otras similares, la geología progresista encuentra el conocimiento de la geología ortodoxa y concede la permanencia de los mayores caracteres de la Tierra, un conocimiento sobre el que el paleobiogeógrafo ha edificado su ciencia, y debe considerar todo esto, el tiempo y las intrincadas rutas migratorias, para explicar la evolución que han experimentado las hordas emigrantes. Una Pangea, el continente simple postulado que empezó a romperse en el Carbonífero y se escindió en fragmentos que migraron después del Jurásico, nunca explicará la vida marina y terrestre como las ve el paleontólogo.

El Paleozoico no contempló cambios acusados en los caracteres relevantes de la faz de la Tierra, pero muchos ajustes en las masas continentales hacia finales de esta era por su efecto combinado sonaron a la profecía del destino para grandes partes de la sialesfera, puesto que algunos puentes intercontinentales y la mayoría de las tierras limítrofes en todo el Mesozoico estaban siendo absorbidos por los escudos basálticos periódicamente calentados o simaesfera. En tiempos del Cenozoico se llegaría a completar lo que comenzó durante el período Carbonífero.

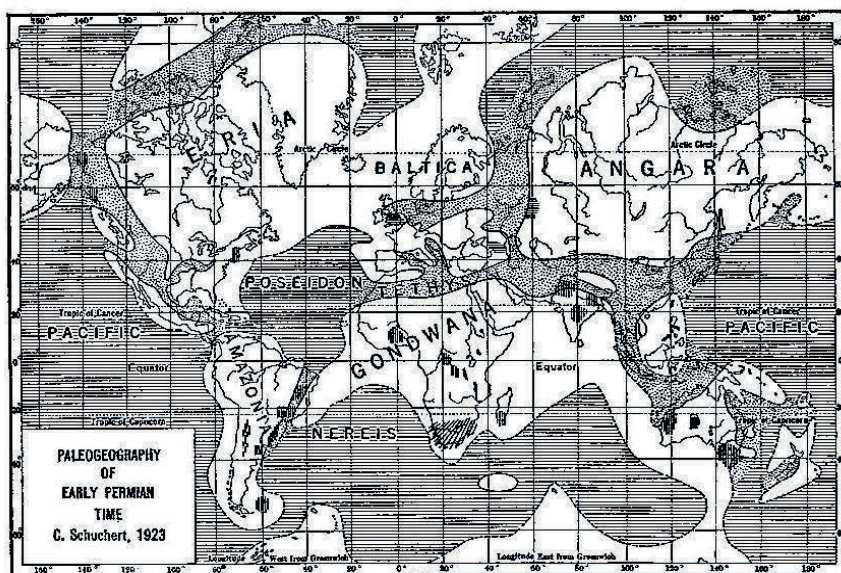


FIG. 20.— Paleogeografía del período Pérmico inferior. Los océanos están rayados, los mares epíricos^[45] y el Tetis punteados, y las líneas indican lugares de glaciación (líneas verticales, áreas de glaciación comprobada; líneas horizontales, las de glaciación incierta). En el norte está Holarctis transversal; en el centro, Equatoris; y al sur, el Antarctis. Nótese las tierras limítrofes de las Américas, que desde entonces han estado sumergidas.

Nuestra experiencia en geología histórica y nuestro atento estudio de *Antlitz der Erde* de Suess nos permite, después de leer la obra de Daly, desechar las nuevas etiquetas anteriores sobre la teoría del desplazamiento, pero incluso somos conscientes de muchas de sus dificultades, y escuchamos la advertencia del Padre Tiempo de que la nueva generación vestirá y revestirá muchas veces los caracteres de nuestra Madre Tierra antes de que los geólogos y los paleontólogos la vean correctamente en su forma de evolucionar.

ALGUNAS PRUEBAS FÍSICAS DE LA HIPÓTESIS DEL DESPLAZAMIENTO

Chester R. Longwell¹⁶⁷
New Haven, Connecticut

RESUMEN

De ningún modo es convincente la prueba propuesta hasta ahora por los defensores de la hipótesis. Los geofísicos reconocen solo pequeñas fuerzas que actúan horizontalmente sobre los continentes. La suposición de que el sima está desprovisto de una resistencia relacionada con las fuerzas seculares, no tiene en cuenta la estructura de las montañas. Es probable que sea accidental la aparente coincidencia de las líneas de costa separadas extensamente, como puede verse al comparar Australia y el Mar Árabe. Los petrólogos, así como los estratígrafos y los paleontólogos, se encuentran con que los “controles” geológicos de Wegener no están bien establecidos.

El mero hecho de que un grupo de geólogos americanos haya emprendido una discusión seria sobre la posibilidad de la deriva continental, indica un cambio de punto de vista comparativamente dentro de unos pocos años. La rigidez de la geología física de la vieja escuela no tenía sitio para algunas sugerencias como las que forman las bases de la hipótesis del desplazamiento. Por su parte, la doctrina de Taylor–Wegener muestra poca consideración hacia las ideas respetadas por su antigüedad y respaldadas por importantes especialistas. Quizás la totalidad de este iconoclasmo, de esta rebelión contra el orden establecido, haya servido para que la nueva hipótesis gane un lugar en el sol^[46]. Su osadía y su carácter espectacular atrae la imaginación tanto del profano como del científico.

Pero una idea que concierne tan de cerca a la mayoría de los principios fundamentales de nuestra ciencia debe tener unas bases más sólidas que la atracción imaginativa. Los geólogos físicos están seducidos por la hipótesis del desplazamiento, en su forma general, principalmente porque promete una solución de ciertos enigmas incómodos. ¿Cómo podemos satisfacer la demanda de los geólogos históricos para antiguas conexiones terrestres y para extensas zonas fronterizas donde no existen hoy día? ¿Por qué son tan notables las diferencias de las costas del Atlántico y del Pacífico? ¿Qué significan los rifts, los empujes, los pliegues, y otros conspicuos caracteres de la deformación cortical? ¿Por qué y cómo se formaron las montañas? Si Wegener o alguien, de otro modo, pueden

¹⁶⁷ Profesor Asociado de Geología, Yale University.

arrojar nueva luz sobre estos desconcertantes problemas, está en su derecho a ser oído. Sin embargo, a esta especulación nueva y romántica se le hacen ciertas demandas antes de que sea admitida en el respetable círculo de las teorías geológicas. Debe satisfacer la prueba del principio de la estabilidad científica, y no debe crear más problemas de los que pretende resolver. Naturalmente, insistimos en la prueba de esta hipótesis con severidad excepcional; para su aceptación necesitaría descartar las teorías válidas hasta ahora que se han convertido casi en parte integral de nuestra ciencia.

Tanto los defensores como los oponentes de la hipótesis de Taylor–Wegener buscan ayuda en el geofísico. Si este pudiera asegurarnos definitivamente que los continentes hubiesen podido o no desprenderse y derivasen por doquier, nos sentiríamos más confiados en afrontar el problema en sus aspectos geológicos. Desafortunadamente, la geofísica, igual que la geología, anda a tientas para muchos de los principios que se aplican por debajo de la superficie terrestre. Pueden discutirse las posibilidades o probabilidades, pero las conclusiones finales deben esperar. No obstante, la geofísica ha contribuido en algo al problema actual, y los datos tienen el mérito de que al menos son en cierta medida cuantitativos.

Puede adoptarse con poca objeción la suposición de Wegener en cuanto a la relación general entre continentes y cuencas oceánicas, como punto de partida. *Sial* y *sima* son términos útiles, referidos a una división en doble capa de la corteza para la cual existe una amplia prueba geológica justificada. El espesor medio de 100 km aceptado por Wegener para las placas de sial quizás sea dos veces mayor. A partir de la prueba de varias líneas convergentes¹⁶⁸, la cifra más probable parece ser de veinte o treinta millas. Sin embargo, se aceptará el punto esencial: los continentes son bloques de sial, mantenidos a flote por el material más denso en el que están inmersos. Para la discusión, desde el punto de vista geofísico, quedan dos aspectos principales: (1) ¿Existen fuerzas apreciables que actúan horizontalmente sobre las robustas masas de sial. (2) ¿Es el sima de una naturaleza tal que le permita ceder ante estas fuerzas?

Como causa de la deriva de este a oeste se han citado las fuerzas mareales, debidas a la atracción de la Luna y del Sol. Esta afirmación puede considerarse solo de forma cualitativa, mientras que estas fuerzas, y su efecto sobre la masa sólida de la Tierra, ha sido evaluada mediante un cuidadoso cálculo experimental. Michelson y Gale encontraron que la diferencia de fase entre las mareas totales observadas y esperadas es muy pequeña, demostrándose así que la Tierra sólida

¹⁶⁸ Jeffreys estima que el espesor de la capa granítica es solo de unos 16 km. H. Jeffreys, *The Earth*. Cambridge University Press, 1924, p. 87.

cede principalmente de forma elástica ante los esfuerzos mareales¹⁶⁹. Schweydar, que es totalmente favorable a Wegener, también establece que la deformación mareal es de características elásticas, y por lo tanto, no puede invocarse para explicar una lenta cesión plástica¹⁷⁰. Wegener no acepta esto como último veredicto, debido presumiblemente a que no existe otra fuerza conocida que actúe de forma consistente en dirección este-oeste en todas latitudes. Sin embargo, en el mejor de los casos, la fuerza disponible para su propósito debe ser infinitésimamente pequeña. Se calcula que la fuerza mareal total es una onceava millonésima más grande que el valor de la gravedad. Ciertamente, la pequeña respuesta rítmica en la Tierra sólida es en su mayor parte elástica, y cualquier cesión plástica debe ser casi inapreciable, si no bastante.

Schweydar ha sugerido que el efecto precesional, causado por la atracción lunar y solar sobre la protuberancia ecuatorial, puede ayudar a explicar la deriva continental. Sin embargo, de acuerdo con sus cálculos, esta fuerza solo es efectiva en el cinturón ecuatorial, desapareciendo a los 36° de latitud. Por lo tanto, no puede ser efectiva en latitudes medias y altas, y si fuera operativa para toda la deriva continental, produciría un movimiento giratorio en sentido contrario a las agujas del reloj en un continente en la posición de Sudamérica. No obstante, de acuerdo con la interpretación de Wegener, Sudamérica se ha girado algo en la dirección opuesta (Fig. 21).

La fuerza horizontal más considerable reconocida hasta ahora actúa a lo largo del meridiano, hacia el ecuador. Su acción, de forma exagerada, está explicada en la Figura 22, que representa una sección meridional entre el polo y el ecuador. La elipticidad está agrandada enormemente, para mostrar la forma general a partir de las superficies de nivel (Fig. 22) que están más alejadas del centro en el ecuador que en el polo. Sobre la superficie terrestre se dibujó una línea equipotencial adicional, para mostrar la fuerza en dirección al ecuador sobre una masa sólida. Lambert utiliza la siguiente ilustración¹⁷¹: supongamos que la superficie terrestre es perfectamente lisa y dura, y que en cualquier punto de ella se sitúa una gran esfera de 1 km de radio. En la figura, por el centro de la bola pasa una de las líneas equipotenciales a una latitud media. La vertical es ligeramente convexa hacia el ecua-

¹⁶⁹ "The Rigidity of the Earth", *Jour. Geol.*, Vol. 27 (1919), p. 585–601.

¹⁷⁰ W. Schweydar, "Bemerkungen zu Wegeners Hypothese der Verschiebung der Kontinente", *Zeit-schrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*, 1921, p. 120–25.

¹⁷¹ W.D. Lambert, "Some Mechanical Curiosities Connected with the Earth's Field of Force", *Amer. Jour. Sci.*, Vol. 2 (1921), p. 131–58.

dor, y la gravedad actúa sobre la esfera como si su masa estuviese aglutinada en el centro.

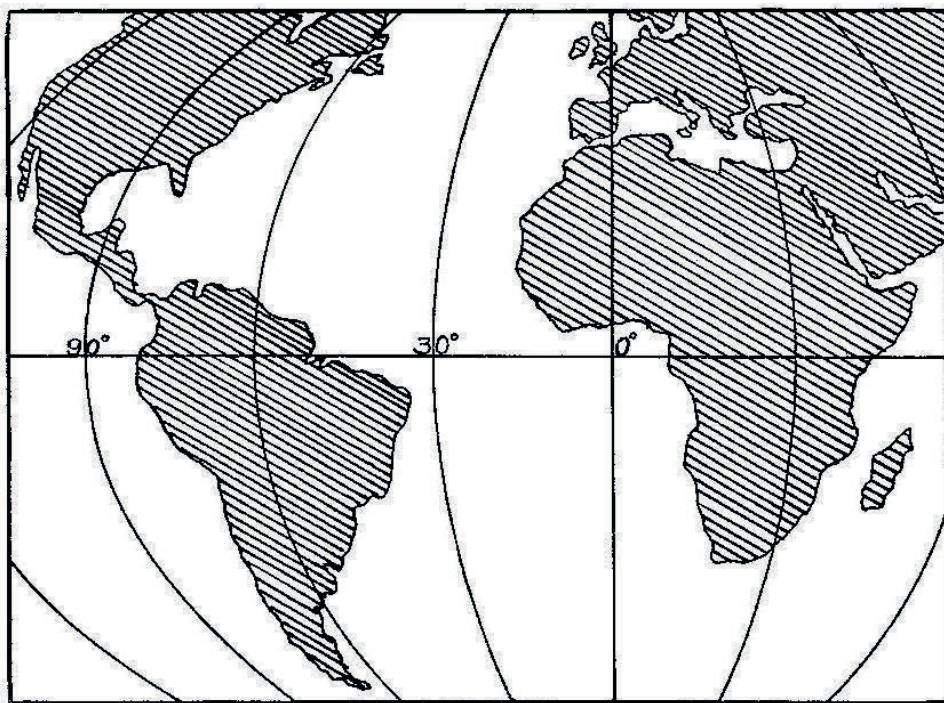


FIG. 21.— El mapa muestra la torsión en el sentido de las agujas del reloj de Sudamérica en relación con la costa africana. La fuerza precesional descrita por Schweydar habría producido una torsión en sentido contrario.

Por lo tanto, una pequeña componente de la gravedad impulsa a la esfera hacia el ecuador. Dicho de otra forma, la bola, al rodar hacia el ecuador, llega a situarse en una posición muy inferior a su nivel original como medían las líneas equipotenciales. Lambert calcula que viajaría desde la latitud 45° al ecuador en unos 16 días. De la misma forma derivaría hacia el ecuador una masa que flote en un líquido. Supongamos que la masa es un continente, ¿será impulsada a través del sima? La fuerza es muy pequeña, aunque tiene unas cuatro veces el valor de la fuerza mareal, o una tres millonésima del valor de la gravedad en la latitud de 45° , donde es máxima. Parecería, por tanto, que un continente a latitudes medias debiese mostrar una deriva mucho más intensa hacia el ecuador que hacia el oeste. Sin embargo, esto no es cierto para Norteamérica, cuya supuesta deriva hacia el oeste ha tenido una componente sur relativamente pequeña. Además, podría pa-

recer que mientras la fuerza hacia el ecuador es diferencial, siendo más intensa a 45° y disminuyendo hacia el norte, tendería a empujar las placas continentales^[47] cada una por separado, si aceptamos que tenga algún efecto en la causa del movimiento, con la formación de los rifts este-oeste. No existe tal efecto principal en cualquiera de los continentes, e incluso con fundamentos podría esperarse más que en los rifts norte-sur, que Wegener supone están causados por pequeñas tensiones mareales distribuidas uniformemente.

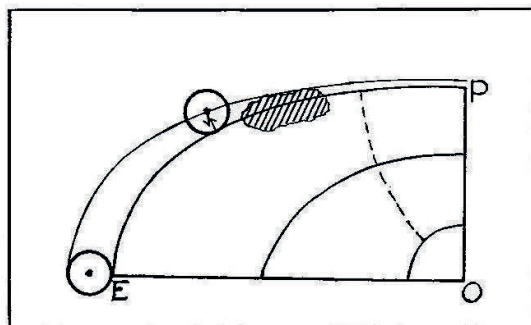


FIG. 22.— Sección meridional a través del polo (*P*) y del ecuador (*E*). Se ha exagerado la elipticidad, para mostrar la forma de las superficies de nivel y la tendencia de una esfera para rodar hacia el ecuador. La convexidad de la vertical hacia el ecuador está indicada por la línea discontinua. El área rayada representa una masa continental. Según Lambert, modificado.

Sin perder de vista la pequeñez de las fuerzas disponibles, consideremos brevemente los mecanismos de los movimientos postulados por Wegener. La Figura 23, modificada de un diagrama del propio Wegener, representa el borde de un continente que deriva hacia la derecha, la proa de un barco de sial, mientras desplaza el sima. El sima no está fracturado o roto, simplemente yace como lo hace el agua ante un témpano que flota. Por lo tanto, debe tener en cualquier parte las propiedades de un líquido viscoso. Pero si admitiésemos estas propiedades para la zona más profunda, donde se dan las altas temperaturas, ¿podemos admitir también este concepto para la zona superior? Todo lo que debe estar a la profundidad en la que el sima se vuelve con diferencia más ligero, ciertamente se trata de rocas básicas cristalinas en la zona superior, basalto y sus equivalentes, diabasa y gabro, que se encuentran entre las rocas más resistentes, y no me refiero solo a su *rigidez*, sino a su *resistencia* que de acuerdo con los datos de laboratorio, es comparable a la del granito medio. Esta zona cristalina, de acuerdo con nuestros conocimientos,

debe tener al menos una profundidad de 30 millas¹⁷². ¿Estamos dispuestos a creer que este material, superior en resistencia, es desplazado como un líquido por el sial que flota? No subrayaré, como han hecho otros, que esto no es así. Simplemente diré que, a la luz de todos nuestros conocimientos en geofísica y geología, el concepto es improbable en grado sumo.

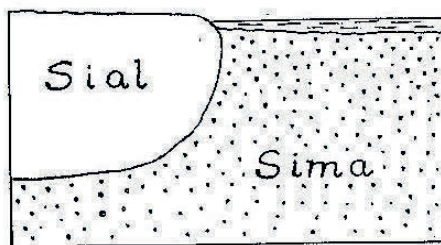


FIG. 23.— Sección transversal del margen de un continente, donde se muestra la relación del sial y el sima de acuerdo con Wegener. Las aguas oceánicas se representan por rayas horizontales.

Otra de las ideas de Wegener precisa de una prueba geofísica. Se supone que los continentes en su deriva encuentran resistencia en sus frentes de avance, con el resultado de la deformación de las rocas para construir las estructuras montañosas, como las de los Andes y las Rocosas. Si esta suposición es correcta, las fuerzas impulsoras no solo hacen el trabajo de transportar las inmensas masas continentales; también hacen el enorme trabajo de empujar y plegar las rocas continentales resistentes. La inconsistencia del argumento de Wegener es obvia. Para concebir que los continentes pueden ser propulsados totalmente, debemos aceptar que el sima está desprovisto de resistencia en relación con las fuerzas seculares. Por lo tanto, no habría resistencia, ni impulso trasero, para plegar las montañas. En cualquier caso, existe una gran discrepancia entre el trabajo realizado en la construcción de las montañas y las fuerzas aceptadas para ello. Jeffreys ha calculado que las fuerzas encargadas de mover las Américas hacia el oeste ascienden a $1/100.000$ dinas/cm²; ¡la fuerza necesaria para elevar las Montañas Rocosas es de 1.000 millones de dinas/cm²!¹⁷³ La conclusión de Jeffreys debe ser criticada en tanto que este acepta que las montañas pueden elevarse en contra de la gravedad por las mismas fuerzas responsables del plegamiento; mientras que tenemos buena prueba de que el movimiento vertical es en gran parte más tardío,

¹⁷² Daly estima que el espesor de la corteza cristalina es al menos de 40 millas. *Our Mobile Earth*, Charles Scribner's Sons, 1926, capítulo III.

¹⁷³ H. Jeffreys, *op. cit.*, p. 261.

y completamente independiente del plegamiento. Incluso, la intensidad y la gran escala de la deformación de las montañas implican fuerzas poderosas. Las débiles tensiones seculares que hemos discutido parecen ser totalmente inadecuadas para esta tarea.

Daly, consciente del trabajo a desarrollar y de las fuerzas necesarias, trata de sustituir *deslizamiento* por deriva, aceptando que en la superficie de la Tierra se forman anchos domos o protuberancias, y las masas continentales se deslizan hacia abajo por los flancos de estos domos, moviéndose sobre los vidrios basálticos calientes como si fueran suelos lubricados¹⁷⁴. Esto es una especulación interesante y estimulante; pero Daly no ha demostrado aún que en realidad se puedan dar los domos a la escala que él acepta, o que el gradiente sea el suficiente para conseguir el efecto deseado. Por tanto, hasta ahora, su sugerencia debe considerarse como puramente especulativa.

La hipótesis de Joly, descrita por Van der Gracht, tiene mucho a su favor desde un punto de vista estrictamente cualitativo. Explica admirablemente el avance y el retroceso rítmico de los mares y los grandes hechos de la geología ígnea; y proporciona una movilidad periódica no concebible bajo ningún otro supuesto. Admitiendo los principales postulados de Joly, no es difícil concebir que los continentes sufren algún desplazamiento horizontal en el tiempo; suficiente, quizás, para aliviar nuestra molestia en la búsqueda de explicación para los grandes acortamientos en las zonas montañosas. Sin embargo, no parece probable que aun así pueda ocurrir una separación amplia de las masas continentales. El consistente suelo del océano debe permanecer, incluso en la etapa más líquida, como una obstrucción para el gran desplazamiento diferencial. La zona líquida facilitaría enormemente el deslizamiento entre la corteza y el interior; pero, como señala Joly, cualquier movimiento considerable ocurriría probablemente como un resbalón de toda la capa externa sobre la interna, más que como un movimiento diferencial en la corteza. El desarrollo adicional de la hipótesis de Joly será observado con interés.

Es obvio que los resultados del examen geofísico, hasta ahora, generalmente son desfavorables a la hipótesis del desplazamiento, pero no son concluyentes. De hecho, los geofísicos nos devuelven el problema, con la declaración de que los geólogos solo pueden determinar si las fuerzas geofísicas han tenido “en la historia geológica una influencia apreciable sobre la posición y configuración de nuestros continentes”¹⁷⁵. Volvamos a examinar, por tanto, alguna de nuestras

¹⁷⁴ R.A. Daly, *op. cit.*, p. 170–291.

¹⁷⁵ W.D. Lambert, *op. cit.*, p. 138.

pruebas, para ver si es convincente. Si es así, entonces los geólogos físicos deberían contentarse con aceptar el *hecho* del desplazamiento, y dejar la explicación para el futuro.

Soy bastante consciente de que este problema ha pasado la fase de rompecabezas. Sin embargo, es un hecho el que la hipótesis se sugirió en primer lugar por la aparente correspondencia entre las costas a ambos lados del Atlántico, y estoy convencido de que esta clase de argumento tiene todavía un gran peso en los defensores de la idea. En realidad, no es improbable que tenga un efecto hipnotizador sobre el estudioso, mirando cuidadosamente el mapa de Sudamérica y África. Las líneas de costa parecen ser exactamente equivalentes, incluso en detalle, ¡Wegener debe tener razón! Considerando esta fase del asunto, me ha llevado a ampliar una sugerencia hecha por Lake¹⁷⁶. La Figura 24 muestra un boceto de mapa del Mar Árabe. De acuerdo con Wegener, este mar se ha creado desde los tiempos del Mesozoico por el movimiento hacia el noreste de la India en relación con África. Este mar tiene grandes dimensiones, la distancia desde Somalia hasta los Ghâtes Occidentales es de 2.500 millas, tanto como desde Nueva York hasta San Francisco. Aunque resulte bastante extraño, el mapa de Australia puede encajar en ese hueco casi con precisión, como se muestra en la Figura 25¹⁷⁷. No solo se corresponden las distancias, sino que la curva de la costa africana encaja en el extremo occidental de Australia asombrosamente, bien sobre la costa real o en el borde de la plataforma continental (véase la línea de 100 brazas en la figura). Curiosamente, cuando esta curva se aplica a la costa australiana, las islas del arco de Timor caen dentro exactamente del Golfo de Adén. A primera vista puede parecer que el acople es menos afortunado en la parte septentrional del mar; pero se podría mantener que al norte de Australia se sitúa una plataforma ancha y continua, a poca profundidad, como indican las líneas de 100 brazas. Nueva Guinea se sitúa sobre esta plataforma, y todos los estudiosos, incluido Wegener, consideran la plataforma como parte integrante de Australia. Evidentemente Nueva Guinea está un poco fuera de la posición y orientación en la figura; pero solo se ha tomado esa libertad en la confección del diagrama: Nueva Guinea se giró 30° en el sentido de las agujas del reloj, usando como centro de rotación el punto marcado con una cruz. No existe otra distorsión. Como expresa Wegener,

¹⁷⁶ Philip Lake, "Wegener's Displacement Hypothesis", *Geol. Mag. of London*, Vol. 59 (1922), p. 341–42.

¹⁷⁷ El trazado para estas figuras se tomó de un mapa plano; pero prácticamente se obtiene el mismo resultado con los modelos de un globo de plastilina. Todos los puntos críticos implicados caen dentro de 30° del ecuador, y por tanto la distorsión del mapa es comparativamente pequeña.

debemos usar “una cierta libertad” en la reconstrucción de las masas continentales; y en realidad, en este caso, la distorsión es menor que la necesaria en el acople de Sudamérica y África. Siguiendo el tipo de razonamiento utilizado por Wegener, supongamos que Australia quedara fuera del Mar Árabe. En el alejamiento, la protuberancia septentrional se alargó y distorsionó un poco. Más tarde, mientras el continente erraba a través del sima, y especialmente después de que Nueva Guinea fuera empujada hacia el norte contra las cadenas insulares del Pacífico, como defiende Wegener, el frente de la masa continuó retorciéndose y se modificó su contorno. Por lo tanto, en la reconstrucción debe justificarse el giro de Nueva Guinea como una ligera modificación para restaurar el contorno original.

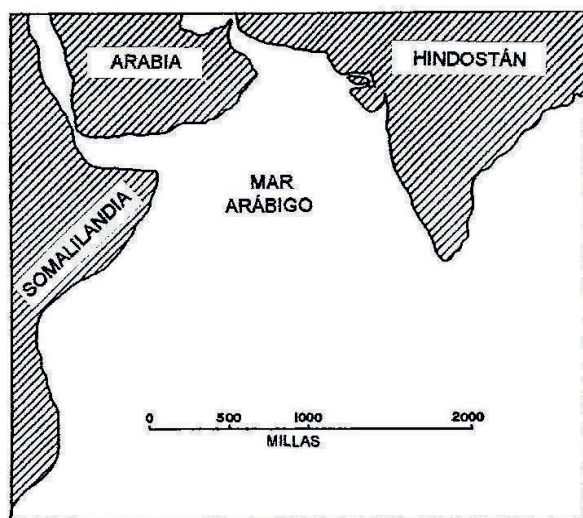


FIG. 24.— Mapa del Mar Árabe y las tierras colindantes. Nótese las grandes dimensiones. Trazado a partir del *Atlas Manual* de Andrée.

Desde luego, Wegener nunca aceptaría las suposiciones hechas aquí. No armonizan con su concepción de Pangea, como puede verse por referencia a sus mapas. Ciertamente parece no existir otra prueba, distinta de la sugestiva semejanza en la configuración costera, de que Australia nunca ocupó la posición del Mar Árabe. Sin embargo, este caso merece algún estudio, en conexión con el caso mejor conocido de Sudamérica y África, para convencernos nosotros mismos de que la aparente coincidencia de las líneas costeras separadas ampliamente, dondequiera que se encuentren, es probable que sea accidental, y no influirían sobre nadie excesivamente en la consideración de la hipótesis del desplazamiento.



FIG. 25.— Mapa de Australia y Nueva Guinea acopladas en el Mar Árabe. La línea de puntos y rayas representa la costa australiana; las rayas pequeñas muestran Nueva Guinea y las islas vecinas; el trazado continuo representa las costas de Asia y África; los puntos redondos dan la posición de la línea de 100 brazas lejos de Australia y su plataforma. Nueva Guinea se ha girado 30° en el sentido de las agujas del reloj sobre el punto x. Todos los contornos se han trazado a partir del *Handatlas* de Andree.

Para un geólogo, las pruebas más significativas son las geológicas. La comparación de Wegener de las características geológicas a ambos lados del “rift” atlántico es imponente, y si se aceptara sin dudar esta parte de su argumento, su posición sería muy fuerte. Sin embargo, los seis “controles” geológicos en los que se apoya Wegener tan confidencialmente, no están tan bien establecidos por ningún medio como para que le creyésemos¹⁷⁸. Necesariamente, un análisis completo de la hipótesis desde un punto de vista físico consideraría cada uno de estos seis puntos en sus propios méritos; pero la mayoría han sido discutidos adecuadamente por otros participantes en este simposio, y solo se mencionará aquí la prueba petrológica.

H.D. Washington realizó un excelente análisis preliminar de los datos petrológicos disponibles, usando como base el principio de las provincias comagmá-

¹⁷⁸ A. Wegener, *The Origin of Continents and Oceans*, traducción inglesa de J.G.A. Skerl, 1924, p. 56.

ticas¹⁷⁹. Si las Américas estuvieron unidas una vez a Euro-África, el examen de las viejas terrazas ígneas a ambos lados del Atlántico debería revelar características petrológicas y químicas similares para los tipos de rocas. Debido a que el examen imparcial de Washington considera todas las zonas a lo largo de la costa del Atlántico, y como los datos publicados son escasos para muchas grandes áreas, no resulta sorprendente que las comparaciones no parezcan ser decisivas o incluso significativas. Sin embargo, decididamente se opone a la hipótesis del desplazamiento el hecho de que a cualquier distancia, desde Groenlandia hasta el Cabo San Roque, no exista indicación alguna de que se haya fragmentado cualquier área de rocas ígneas relacionadas como consecuencia de la “deriva” atlántica. Las disparidades más notables se encuentran entre las áreas más críticas, a saber, Sudamérica nororiental y la costa septentrional del Golfo de Guinea, zonas que estuvieron exactamente contiguas de acuerdo con la hipótesis de Wegener. Al sur del Cabo San Roque, las rocas ígneas de Sudamérica muestran alguna semejanza, en sus características generales, con las rocas de Sudáfrica. Sin embargo, el parecido más conspicuo se encuentra en los basaltos de las altiplanicies, que son extraordinariamente parecidos en todo el mundo. Ciertamente no sería lógico argumentar, por ejemplo, que los Estados Unidos noroccidentales estuvieron en otro tiempo adyacentes al Atlántico Norte, a partir de que en ambas áreas se extendieron flujos de basaltos muy similares, empobrecidos durante el Terciario. De la misma forma, la relación aparente entre partes de Sudamérica y África no requiere los supuestos radicales de la hipótesis del desplazamiento.

No es difícil dirigir otras críticas, sobre bases físicas, contra la forma de la hipótesis del desplazamiento de Wegener. Los geólogos no pueden sino maravillarse de que las fuerzas se conspirasen hasta después de la Era Paleozoica para soldar y mantener el sial en una unidad continental, mientras que en los últimos tiempos geológicos las mismas fuerzas hayan servido para dispersar las placas de sial a los cuatro vientos. Una vez más, ¿por qué algunos continentes han sido especialmente susceptibles a las fuerzas en dirección al ecuador, mientras otros han sido conscientes solo del impulso hacia el oeste? Creemos que Eurasia y África han marchado juntas irresistiblemente, como lo muestran las potentes cadenas montañosas este-oeste del Terciario; al mismo tiempo, las Américas han derivado hacia el oeste de forma estable, bajo el influjo de una fuerza suficiente para construir las grandes Cordilleras norte-sur. A partir de estas consideraciones generales,

¹⁷⁹ H.S. Washington, “Comagmatic Regions and the Wegener Hypothesis”, *Jour. Wash. Acad. Sci.*, Vol. 13, No. 15 (1923), p. 339-47.

podría parecer que Wegener debiese estar equivocado, bien en su intento de esbozar los hechos o en su análisis de las causas.

Sin embargo, no es intención de este artículo asumir una actitud de firme oposición a la hipótesis en todos sus aspectos, aunque se ha adoptado una posición francamente crítica. Existe el peligro de que una hipótesis como esta pueda dar lugar a dos escuelas o campos extremos, cada una con algún punto de vista no científico. Los miembros de un grupo pueden saludar la idea con entusiasmo, como una panacea para todos los problemas geológicos, procediendo a descartar muchas cosas que son útiles en la ciencia en su lealtad a la nueva doctrina; mientras tanto, los del segundo grupo reciben el concepto con desdén, y lo rechazan otorgándole una seria consideración. Ambos puntos de vista son erróneos y desafortunados. No podemos desconsiderar totalmente la sugerencia de que las masas continentales han sufrido algún movimiento horizontal, porque la prueba para tal movimiento se hace más aparente incluso en la estructura de los Alpes y de los sistemas montañosos asiáticos. Si se acepta como una hipótesis de trabajo la doctrina del desplazamiento continental, si se investiga y se prueba lo suficiente junto con otras, puede producir resultados evaluables. Los miembros de esta Asociación deben tener la oportunidad de hacer importantes contribuciones apoyándose en el problema del desplazamiento, porque una buena parte del área crítica en Sudamérica y África será explorada y cartografiada en la búsqueda de petróleo. Si evitamos los prejuicios sobre esta hipótesis, y los científicos no se ciegan bien con el celo del defensor, o con la aprensión del incrédulo, podremos tener al fin unas bases firmes para la investigación geológica.

DESLIZAMIENTO CONTINENTAL Y FUERZAS MAREALES Y ROTACIONALES¹⁸⁰

Frank Bursley Taylor¹⁸¹

Fort Wayne, Indiana

RESUMEN

En la primera parte del artículo, se discute la manera en que se formaron las cadenas montañosas arqueadas. Muchos geólogos eminentes defienden una hipótesis totalmente especulativa —el hundimiento de grandes segmentos suboceánicos, con lentos subempujes en dirección hacia tierra que causan el plegamiento y levantamiento a lo largo del margen continental. Con este mecanismo se esfuerzan en explicar la elevación de las cadenas montañosas circumpacíficas. No prestan atención a la explicación de Suess, o a los hechos que avanzó en apoyo de su idea. Presentamos nuestras opiniones con una discusión cuidadosa de las semejanzas entre los mantos de hielo continental y los mantos corticales continentales. En la última parte de este artículo, se discute la interpretación de los principales caracteres producidos en el diastrofismo del Terciario y aplicamos los principios fundamentales de las ciencias de la Tierra, así como de la astronomía y cosmogonía, a Asia y a todos los demás continentes como unidades del movimiento cortical.

INTRODUCCIÓN

No han pasado muchos años desde que se tildara de aventurero a alguien lo bastante osado como para sugerir que todos los continentes, como Norteamérica y Asia, habían migrado cientos de millas en dirección horizontal, especialmente en una época en términos geológicos tan reciente como el Terciario; incluso este tema es ahora uno de los más acalorados en el foro de las ciencias de la Tierra. La mayoría de las opiniones más antiguas fueron, desde luego, especulativas, por la sencilla razón de que los hechos bien sustentados en los que se apoyaba el tema eran entonces escasos. El progreso en este campo ha sido en su mayor parte el de

¹⁸⁰ Trabajos anteriores del autor sobre el mismo tema general son: "Bearing of the Tertiary Mountain Belt on the Origin of the Earth's Plan", *Bulletin Geol. Soc. of America*, Vol. 21 (1910), p. 179–226. "The Lateral Migration of Land Masses", *Proc. Wash. Acad. of Science*, Vol. 13, No. 29 (1923), p. 445–47. "Movement of Continental Masses under Action of Tidal Forces", *Pan-Amer. Geol.*, Vol. XLIII, Feb. 1925, p. 15–50. "Greater Asia and Isostasy", *Amer. Jour. of Science*, 5th Ser., Vol. XII, Julio 1926, p. 46–67.

¹⁸¹ 420 Downing Avenue, Fort Wayne, Indiana.

la educación en la habilidad para ver hechos y establecer relaciones pertinentes en los mayores caracteres de la Tierra. Junto al empleo de conexiones causales y secuencias, uno de los aspectos más importantes de esta materia ha sido la correlación de productos distintos pero concurrentes de un proceso, como, por ejemplo, la existente entre los productos de la tensión de la región Ártica con los productos de la compresión de latitudes inferiores. Los últimos están representados típicamente por las grandes cadenas de plegamientos montañosos que forman el borde meridional de todos los continentes septentrionales, y el primero por las profundas cuencas del Ártico.

Uno de los primeros hechos en ser reconocidos por los geólogos con un significado global o mundial fue la existencia del llamado cinturón montañoso del Terciario, que forma un anillo que envuelve casi por completo a la Tierra. Parece que el aspecto global de este gran cinturón montañoso fue observado por primera vez no hace más de treinta y cinco o cuarenta años, cuando M. Neumayr publicó su mapa de las “cadenas montañosas jóvenes” de la Tierra. Pero Neumayr no comprendió su significado real. Continuó hasta que Eduard Suess señalara el verdadero método de interpretación de las formas de las cadenas montañosas, especialmente esas cadenas que constituyen el cinturón asiático del Terciario. En lugar de estudiarlas solo por el método de la sección transversal, que había sido practicado en Europa desde los comienzos de la geología, Suess estudió su *plano horizontal*, con resultados que prometían revolucionar la geología.

Las fuerzas físicas que actúan principalmente en el plano horizontal tienden a producir formas que se interpretan mejor con referencia a ese plano. En dicho plano, casi todas las cadenas montañosas de Asia están arqueadas, y son en muchos casos arcos extraordinariamente perfectos. Suess tuvo la gran perspicacia para ver que los planos terrestres de estas cadenas revelaban la forma en que se habían originado. Con casi todos los arcos convexos hacia el sur, infirió que se habían formado por el deslizamiento en esta dirección de una gran parte del manto cortical que se extendía al norte de ellos. Su principal inferencia de las formas arqueadas de las cadenas es, sin duda, cierta, pero su explicación de las causas del deslizamiento en dirección sur no es adecuada o defendible a la luz del conocimiento actual, porque aquélla dependía de las fuerzas que se derivan del enfriamiento y contracción de la Tierra, mientras que un conocimiento actual más exacto nos dice que la Tierra, con toda probabilidad, nunca estuvo fundida o cuantitativamente más caliente de lo que está ahora, y por lo tanto, no se ha contraído como consecuencia del enfriamiento. Se debe encontrar alguna otra causa del plegamiento cortical.

Aparentemente, Suess consideraba el levantamiento de las cadenas arqueadas tan simple que no ofreció una explicación detallada del proceso. Pero en vista del hecho de que diversos geólogos eminentes defienden un método diferente, a saber, el hundimiento de grandes segmentos suboceánicos con poderosos subempujes en dirección hacia tierra como causa de los pliegues montañosos marginales como los que rodean el Océano Pacífico, parece deseable explicar en detalle la opinión alternativa.

EL LEVANTAMIENTO DE LAS CADENAS MONTAÑOSAS ARQUEADAS

Junto con Suess hemos subrayado una cierta semejanza muy notable entre las formas producidas a lo largo de los márgenes frontales de los mantos de hielo y de los mantos corticales continentales. La semejanza es muy estrecha en algunos aspectos, a pesar de las diferencias físicas fuertemente acusadas entre las dos sustancias. Ambas fluyen según la forma de sustancias ligeramente plásticas, pero los mantos corticales se mueven con mayor lentitud que los mantos de hielo, y responden solo a los elementos más grandes del ambiente. Por ejemplo, Suess recalca repetidamente el hecho de que la India peninsular fue un gran obstáculo a vencer en el camino del manto cortical deslizante, y explica la cadena montañosa del Himalaya, la más grande de la Tierra, junto con el Pamirs y la Meseta del Tíbet como consecuencia principalmente de la acción intensificada contra este obstáculo. Fue el mismo obstáculo también el que elevó el gran reentrante en cuyo fondo se sitúan los Himalayas. Parece que el análisis de Suess de estas relaciones es correcto. Sobre el mismo principio, pero bajo condiciones inversas, menos la resistencia normal, la corteza empujó más hacia el sudeste de la India, formando el Archipiélago Malayo, hasta alcanzar más de 700 millas más allá del ecuador. Esto ilustra el movimiento cortical en una ruta fácil sin obstáculos, y con un vigor de movimiento intensificado probablemente por la desviación del reentrante himalayo.

El proceso de construcción de formas arqueadas está generalizado en la naturaleza y se aplica a cualquier gran masa de materia parecida a un manto, como un glaciar continental o un manto cortical continental, que es relativamente delgado en proporción a su superficie, y tiene un comportamiento viscoso o semiplástico bajo una tensión prolongada. En el diagrama, Fig. 26, la línea recta *aa* representa el frente de un manto cortical de Asia antes de que empezara a moverse. Podemos suponer que al principio la tendencia era a moverse hacia adelante por igual a lo largo de toda la línea, conservándose así la línea recta. Pero nunca se

obtiene tal resultado, porque siempre existen desigualdades. El obstáculo más ligero o la influencia retardante necesariamente provocaría un reentrante en el frente. Supongamos que se forma un reentrante en *o* cerca de la mitad de la línea.

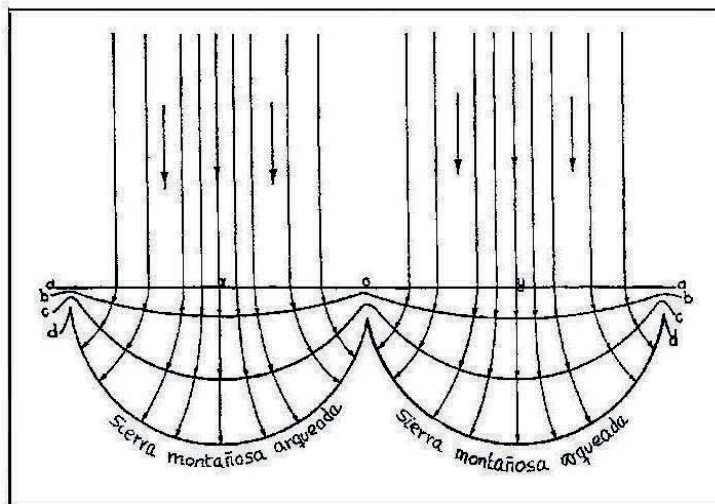


FIG. 26.— Diagrama sobre el flujo de corrientes terrestres subcorticales en la elevación de las cadenas montañosas arqueadas en Asia. Antes de que emerjan desde las profundidades las corrientes se expanden lateralmente desde el eje central, como la expansión de una corriente de hielo en un lóbulo glaciar. Las curvas *bb*, *cc*, *dd* muestran los estadios sucesivos de avance y expansión de la corriente terrestre.

El movimiento hacia adelante sería más vigoroso en ambos lados, es decir, sobre los ejes *x* e *y*. Estos dos arcos y los reentrantes relacionados con ellos se muestran en la línea *bb*. Otros reentrantes se forman a la izquierda de *x* y a la derecha de *y*, y así a lo largo de todo el frente, que de esta manera se convierte en una serie de arcos situados de un extremo a otro, todos convexos hacia el sur. Conforme avanza el movimiento, los arcos sobresalen mucho más allá de los reentrantes y estos últimos se hacen más agudos y más profundos, como muestra la línea *α*. Conforme se hace más pronunciado un reentrante, los movimientos en sus laterales se oponen cada vez más como el ángulo interlobular en el frente de un manto de hielo. Esto impide el movimiento hacia adelante en la región del reentrante, y tiende a aumentarlo a lo largo de los ejes de los arcos. Un arco individual empujado más allá de una forma semicircular puede llegar a convertirse en un lóbulo pronunciado, y en el último estadio, como en los casos de los lóbulos

terrestres iraní y malayo, probablemente desarrollará arcos subsidiarios a lo largo de su frente principal. Así, donde sea relativamente fuerte el movimiento hacia adelante del manto cortical, las formas arqueadas se hacen más pronunciadas y forman un límite festoneado, como sucede a lo largo de todo el frente meridional de Asia. La exactitud de esta teoría está firmemente comprobada mediante otros hechos, por una fuerza de desarrollo en correspondencia mayor, en especial en Asia, de todas las otras formas que se asocian por lo general con los arcos montañosos, tales como fosas, mesetas, mares de arco, cinturones volcánicos y sísmicos.

Pero la semejanza va mucho más allá. Tenemos la certeza de que en los mantos de hielo cada porción arqueada o lobulada de una morrena frontal marca el área terminal de una corriente pronunciada o flujo en el hielo. El hielo avanzó con mayor libertad a lo largo de los ejes de los valles o cuencas principales, y se expandió lateralmente allí donde se produjo el ensanchamiento de un valle sobre la horizontal, y desde aquí se movió hacia adelante, más rápido a lo largo del eje que en los laterales, este conjunto se fue hacia adelante y el movimiento de expansión dio lugar a un frente arqueado o lobular. Este proceso está bien ilustrado por las morrenas lobulares que registran posiciones sucesivas del retroceso del frente de hielo a lo largo del límite meridional de las cuencas de los Grandes Lagos.

Precisamente ocurre lo mismo con el manto cortical rocoso. Cada cadena montañosa arqueada es el área terminal de una corriente terrestre o flujo en la parte externa de la Tierra, en la corteza más profunda o cercana a ella. No se conoce demasiado bien la profundidad del plano basal sobre el que se mueven los mantos corticales, pero los datos para su estimación parecen estar cerca. En la mayoría de los casos su profundidad probablemente no está a menos de 20–40 millas, pero para Asia es probable que se encuentre bastante más profunda. Buena parte del movimiento hacia adelante de cualquier corriente como esta, sea de hielo o de roca, se transforma en movimiento lateral donde la corriente se expande para formar un frente arqueado. En el manto cortical, casi toda la fuerza del movimiento hacia adelante no se utiliza para la expansión lateral, pero aunque después de la expansión se haya reducido en una cantidad relativamente grande, esta fuerza todavía puede girar el borde anterior del manto cortical hacia arriba y construir cadenas montañosas por plegamiento y levantamiento; y lo hace porque es más fácil que moverse más hacia adelante contra el lento arrastre de la fricción basal viscosa y la resistencia de la masa cortical en la parte frontal. Plegamiento, fallamiento, aglomeración, levantamiento, avance y retroceso de los corrimientos, el resultado es el proceso global de la construcción de montañas. De esta forma, el movimiento hacia adelante de la fuerza pospuesta y no trans-

formada en movimiento de expansión, fue suficiente para causar buena parte del plegamiento y levantamiento.

Por lo tanto, el lugar y la forma del arco montañoso frontal en cualquier caso dado se determina por la relación diferencial de la fuerza que provoca el movimiento hacia adelante con las resistencias basal y frontal conjuntas. Mientras progresa la expansión lateral, el valor de la fuerza que empuja hacia adelante se reduce rápidamente en el cinturón marginal, y se distribuye por igual al mismo tiempo a lo largo de todo el arco. En los arcos de curvatura moderada, se alcanza pronto el balance crítico de las fuerzas después de que aparece una expansión pronunciada, pero en algunos casos no lo es, como en el lóbulo terrestre malayo. Así, un arco no solo marca el lugar donde se alcanzó el balance crítico en el frente de expansión, sino por su escala, su grado de curvatura, y sus variaciones de curvatura incluso expresan las relaciones de los factores involucrados de una forma muy íntima. Asia posee su frente meridional perfectamente festoneado, porque el modo más fácil de relieve para las tensiones horizontales fue el movimiento en paralelo de corrientes terrestres, que terminan en un arco frontal, y con un cinturón cortical inerte o móvil más lento entre las líneas que pasan por los reentrantes.

Los arcos de Asia, desarrollados completamente más que los de cualquier otro continente, también revelan bastante en relación con el estado de la materia en las profundidades donde prevalece el flujo rocoso sin fractura. Parece mostrar una homogeneidad perfecta en la materia emplazada en profundidad donde se propagaba el movimiento hacia adelante, sin prueba alguna de una masa central líquida fundida o cualesquiera capas o grandes bolsas de ese carácter. Estos fenómenos no son distintos de los de flotación, sino del movimiento de una masa sólida rígida sobre otra, al deslizarse la superior sobre el manto o capa, lentamente y de forma muy rígida y viscosa, por la fuerza añadida de las presiones horizontales que la afectan¹⁸². Esta capa es la equivalente del sustrato de basalto caliente y vítreo postulado por Daly¹⁸³, pero se cree que el desarrollo de la viscosidad estuvo limitado a la capa subcortical cuando el manto cortical suprayacente realmente estaba en movimiento. Las condiciones hidrostáticas no prevalecieron, ni la plasticidad global general (Lawson). Los grandes valles del rift de África oriental parecen ser solo caracteres que deberían interpretarse como resultado de la plas-

¹⁸² El estado de la materia en las profundidades en cuanto a su relación con los grandes movimientos corticales y la elevación de las cadenas montañosas, fosas, etc., se discute más extensamente en el tercer y cuarto artículos del autor mencionados con anterioridad.

¹⁸³ Reginald A. Daly, *Our Mobile Earth*, Charles Scribner's Sons, 1926.

tividad general o global, pero su restricción a África, con solo dos o tres casos dudosos en otras zonas, parece arrojar alguna duda sobre esta interpretación.

Los otros continentes, más pequeños, menos masivos, que se mueven a lo largo de distancias más cortas y probablemente sobre planos basales más superficiales, no muestran un desarrollo de cadenas marginales arqueadas comparable, y unas cuantas de ellas exhiben alguna de las extraordinarias formas asociadas bien expuestas a lo largo del frente asiático. Aparte de Asia, Australia solo muestra fosas bien acusadas, las depresiones de Kermadec y Tonga, y excepto por su profundidad, estas son incluso apenas iguales a las de Asia. En ambas Américas y en Europa, las fosas son pequeñas y están pobremente desarrolladas. Al haber permanecido inmóvil en el diastrofismo del Terciario, África carece absolutamente de fosas y de algunas cadenas montañosas de este período, las modernas cadenas del noroeste de África pertenecen, en realidad, al sistema europeo (Fig. 27).

INTERPRETACIÓN DE LOS PRINCIPALES CARACTERES PRODUCIDOS EN EL DIASTROFISMO DEL TERCIARIO

Al comprender de esta manera cómo se formaron las cadenas montañosas arqueadas y de los lóbulos terrestres del límite meridional de Asia, hemos procurado aplicar las mismas leyes y principios, primero a Asia como una unidad de movimiento cortical (Suess no incluyó toda Asia), y luego a todos los demás continentes que participaron en el diastrofismo del Terciario. Lo que sigue son algunos de los principales hechos y conclusiones:

1. Se encuentra que el cinturón montañoso del Terciario o cinturón mundial de montañas recientes se divide de forma natural en cinco partes o secciones que se corresponden con los cinco continentes con los que está asociado y que ninguna parte del cinturón se deja sin asignar. Un estudio comparado de las diversas secciones muestra que su fuerza, escala, peculiaridades locales de forma y otras características, dependen estrechamente de la magnitud del continente implicado, en especial de la profundidad y cantidad de su movimiento, y de otros elementos ambientales, tales como obstáculos en el camino del movimiento (India y África), condiciones que favorecen el movimiento más libre (lóbulo terrestre malayo), y las líneas preexistentes de debilidad cortical (Norteamérica y Sudamérica). Asia es, sin duda, preeminente sobre todos los demás continentes en extensión, resistencia, variedad y madurez de desarrollo de sus caracteres montañosos del Terciario. Norteamérica es resueltamente más débil; se movió una distancia más corta y sobre un plano basal más superficial. El resto de los continentes exhibe un

desarrollo más débil que Asia, pero varían considerablemente en sus características principales.

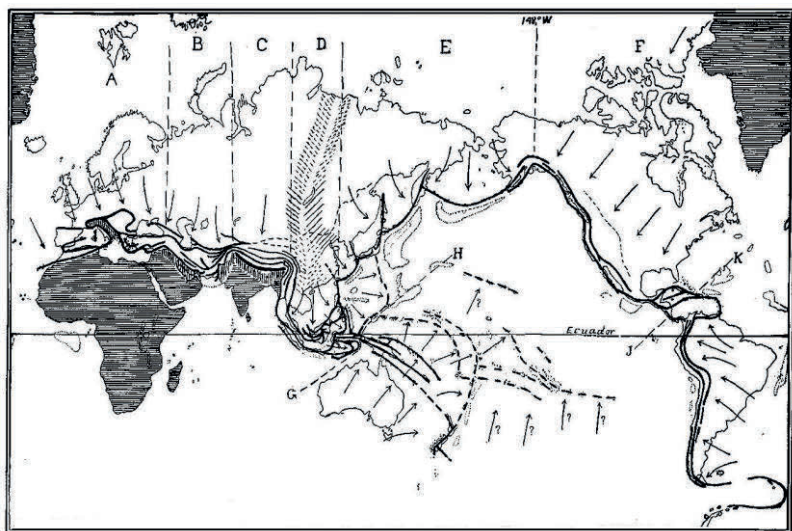


FIG. 27.— Esbozo de mapa sobre las líneas direccionales de las principales cadenas montañosas del Terciario para todo el globo. Las líneas negras gruesas son cadenas montañosas; líneas punteadas débiles, fosas y cuencas irregulares profundas en el fondo oceánico; sombreado vertical, fosas en tierra, rellenas de sedimentos. Ciertas unidades del cinturón montañoso del Terciario están indicadas por *A*, *B*, *C*, etc. *A* es la sección europea; *B*, el lóbulo iraní; *C*, el reentrante del Himalaya; *D*, el lóbulo malayo; *E*, los festones arqueados de Asia oriental; y *F*, Norteamérica. La línea *GH* divide aproximadamente la estructura asiática de la australiana, y la línea *JK*, menos segura, la división entre Norteamérica y Sudamérica. En *D*, la línea que converge hacia el sur a través del Asia central muestra aproximadamente las líneas direccionales de Ruedemann de los pliegues y foliación precámbricos. Estos sugieren un movimiento cortical hacia el sur en el lóbulo malayo. El mapa de Schuchert, referido a este último, muestra un gran golfo sobre el mismo eje general, alcanzando casi el ecuador, desde el que se excluyó la transgresión del Cretácico. Las flechas muestran la dirección común del movimiento general en todos los continentes.

Un estudio comparado cuidadoso revela de forma concluyente que las cadenas montañosas de todo el cinturón del Terciario son de origen *continental*, no oceánico, por lo que algunos geólogos tendrían que creernos. No debería pasarse por alto el hecho de que ninguna otra hipótesis o teoría que se ha sugerido tiene

en cuenta el comportamiento de estas relaciones profundamente significativas entre los continentes y las correspondientes secciones del cinturón. Pero estas relaciones arrojan luz de valor incalculable, no solo sobre los movimientos continentales y la elevación de montañas, sino también sobre los problemas relacionados con el estado físico de la materia en el interior de la Tierra.

2. Si los continentes septentrionales se movieron cientos de millas en direcciones más al sur lejos de la región Ártica, se habrían encontrado en esa región los fenómenos de tensión pronunciada que marcaron el desprendimiento y separación de las tierras. A decir verdad, todo el Ártico está lleno de huellas de este tipo. La Bahía de Baffin, el Estrecho de Davis y el Mar del Labrador constituyen la apertura de un valle de rift de identidad indudable. Esto fue reconocido hace mucho tiempo por Suess, L. de Launay y otros autores. Pero aparentemente en esa época no se vio que el Estrecho de Smith, con los canales de Robeson y Kennedy, indican un rift de compensación construido por el mismo movimiento continental. El rift entre el Labrador y Groenlandia revela que Norteamérica se ha separado hacia el sudoeste unas 560 millas. La gran cuenca profunda del Océano Ártico, como la definió recientemente Nansen, es en realidad una cuenca disyunta de Asia, con una separación máxima casi de 1.500 millas entre el extremo norte de Groenlandia y el borde sumergido de la plataforma continental al norte de Asia. La cuenca disyunta de Europa se extiende entre esta y el lado este de Groenlandia, con un deslizamiento hacia el sudeste casi de 1.000 millas. Las tres cuencas separadas en el norte complementan poderosamente la prueba de la gran compresión horizontal en el cinturón de las nuevas cadenas montañosas al sur. Las tres cuencas son correlaciones distintas de las tres secciones continentales del cinturón montañoso, y en cada caso la magnitud e intensidad del desarrollo de los pares correlativos está en perfecta armonía con la magnitud y cantidad de movimiento del continente implicado. Así, Norteamérica, con la cuenca de rift más pequeño, no tiene arcos montañosos comparables con los de Asia, y muy poco de naturaleza de fosas o arcos marinos. Asia, por otro lado, con la cuenca de rift mucho más grande, tiene el mayor desarrollo pronunciado de cadenas montañosas arqueadas, fosas, mares de arco y mesetas que se puedan encontrar en cualquier parte de la Tierra. A este respecto, Europa se sitúa entre los otros dos continentes en intensidad de desarrollo (Fig. 28 y 29).

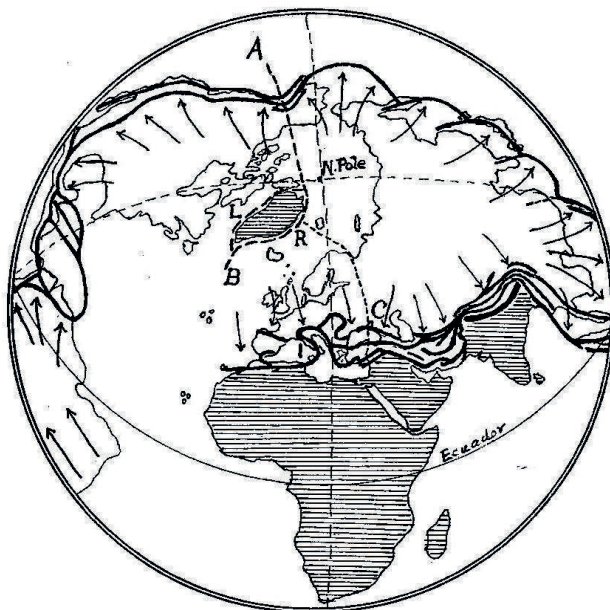


FIG. 28.— Esfera terrestre donde se muestran los movimientos de dispersión radial de los mantos de hielo septentrionales desde la región del polo Norte. Groenlandia, un fragmento residual, permaneció sin moverse. La India y África, con Arabia, permanecieron inmóviles y fueron los grandes elementos de obstrucción en el sur. Norteamérica empujó desde el sudoeste y oeste de Groenlandia. Eurasia empujó desde el este de Groenlandia y oeste del Archipiélago Ártico. La línea gruesa de rotura *ALB* divide, aproximadamente, el manto cortical de Asia y Groenlandia del de Norteamérica, y *ARB* divide Norteamérica y Groenlandia de Eurasia. La línea más fina *RC* marca aproximadamente la división entre los mantos corticales europeos y asiáticos. El frente de Asia se extiende justo a mitad de camino alrededor del globo.

3. En el hemisferio sur, la sección sudamericana del cinturón montañoso del Terciario muestra que ese continente se movió en esa época hacia el norte, con una fuerte desviación hacia el oeste. Las pruebas geológicas, geográficas y biológicas se combinan para mostrar que Sudamérica y África estuvieron una vez unidas, pero la separación original tuvo lugar antes del Terciario, probablemente en el Pérmico, por una migración hacia el este de África. Difícilmente se puede dudar de la prueba física de la unión anterior, porque 2.000 millas de costas opuestas encajan como las piezas de un rompecabezas recortado. La línea original de unión parece haber estado, al menos en parte, en la cordillera mesoatlántica.

En el Océano Pacífico, las cadenas sumergidas del Terciario que pertenecen a Australia se presentan en curvas de amplia extensión, pasando una a través de Nueva Guinea, Nueva Caledonia y Nueva Zelanda, de forma general concéntrica con la costa este de Australia. Otras líneas aproximadamente paralelas se extienden más al noreste, y muestran que Australia se deslizó en esa dirección en la deformación del Terciario.

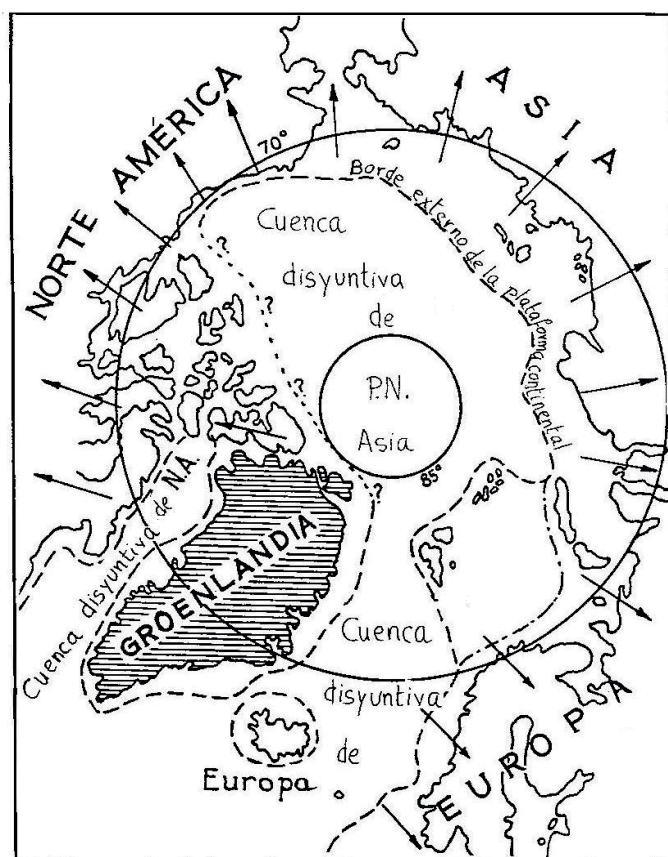


FIG. 29.— Esquema de la región del polo Norte donde se ven los valles de rift o las cuencas aisladas. Se muestra aproximadamente la magnitud mayor de la cuenca separada de Asia, comparada con la de Europa, y especialmente con la de Norteamérica. (Basado en el mapa de Nansen de la plataforma continental en la región ártica. Reproducido por Hobbs en su *Earth Evolution and Its Facial Expression*, 1921, p. 102).

Hasta ahora, las distancias recorridas por Sudamérica y Australia en el Terciario son inciertas. El frente de la Antártida directamente al sur de Australia encaja en el Gran Golfo Australiano casi con tanta exactitud como Sudamérica con África. La distancia es un poco más de 2.000 millas.⁴ Estas consideraciones muestran de forma concluyente que la distribución de la fuerza que mueve la corteza está íntimamente relacionada con la latitud y con los hemisferios, para los continentes del hemisferio norte movidos hacia el sur, y viceversa. Los movimientos de la corteza fueron radiales y dispersos desde ambas regiones polares, y tendieron a culminar en una acumulación de cadenas montañosas y altiplanicies en latitudes bajas a ambos lados del ecuador, pero, como era de esperar, los movimientos de la corteza no se ajustaron estrictamente en cualquier hemisferio con la distribución teórica de la fuerza. No obstante, la ley es fundamental, y el plan de distribución de los movimientos corticales prueba de manera concluyente que la fuerza que mueve la corteza era de origen *externo*.

Otras hipótesis y teorías corrientes del desarrollo de la Tierra no tienen en cuenta este principio fundamental, pero sin importar a qué fuerzas causales recurren para los movimientos de deslizamiento continental, deben ajustarlas a la distribución de los movimientos corticales, a saber, el deslizamiento desde latitudes altas hacia latitudes más bajas en ambos hemisferios. Pero ¿cómo se produciría una fuerza motriz cortical que se ajustase a esta ley de distribución a partir de la contracción por enfriamiento o de la consolidación de los planetesimales? ¿Cómo se ajustaría a dicha ley los climas, a los que recurre Joly, de expansión y contracción, siguiendo el ascenso su y descenso de la radioactividad? ¿Cómo sería gobernada la isostasia por dicha ley, con capacidad alegada para construir cadenas montañosas solo por levantamientos locales, con la exclusión de los grandes movimientos regionales horizontales de la corteza? Evidentemente, no se puede suponer una causa interna para haber movido los continentes según la manera observada, o haber construido las cadenas montañosas del Terciario.

Viendo que las dos Américas se han desviado hacia el oeste, como si hubiesen sido movidas por una fuerza general en esa dirección que afectase a todos los continentes, Wegener concluye que Asia y Australia también se movieron hacia el oeste. Pero cuando se estudian en detalle los movimientos y los sistemas montañosos de estos dos continentes, y se interpretan a la luz de los hechos y principios establecidos más arriba, se ve que ninguno de ellos derivó hacia el oeste. En cambio, la mitad oriental de Asia se deslizó hacia el sur con una fuerte desviación hacia el este, mientras Australia lo hizo hacia el norte con la misma dirección este. El movimiento de las Américas probablemente se

deba más al deslizamiento hacia el oeste del gran rift mesoatlántico que violentó un domo atlántico original. Es probable que este sea el mismo rift que más al sur aisló Sudamérica de África. Con la fuerte desviación de los movimientos de Asia y Australia hacia el este, apenas puede citarse el desvío de ambas Américas hacia el oeste como prueba de una fuerza general en esa dirección.

LA ACCIÓN DE LAS FUERZAS MAREALES

5. Las únicas fuerzas que encajan en la distribución observada de los movimientos corticales son las fuerzas mareales y rotacionales, y en verdad es un hecho profundamente significativo que encajen con tanta exactitud. La fuerza para el movimiento cortical que surge de la rotación axial es la fuerza centrífuga, pero la rotación no se reconoce actualmente como de origen externo. Todas las hipótesis más antiguas la atribuyen a alguna forma de contracción, bien por enfriamiento de un gas caliente previo o estado fundido, o por compactación de planetesimales. Pero a la luz de los conocimientos actuales, la hipótesis de Descartes, Laplace, Élie de Beaumont y Helmholtz y Kelvin no son defendibles por más tiempo, y al menos para algunas opiniones, la hipótesis planetesimal no está aún firmemente establecida^[48]. Si todas estas antiguas doctrinas se dejaran a un lado temporalmente por insatisfactorias, la rotación axial se quedaría sin explicación alguna, sea la que sea. En su último libro, *An Introduction to Astronomy*, 1918, el Profesor F.R. Moulton advierte: “Todas las teorías más primitivas que consideran el origen de los planetas se equivocan al explicar sus rotaciones progresivas” (p. 437). Y de nuevo, precisa: “No parecen existir razones concluyentes de por qué las rotaciones originales debieron haber sido en una dirección más que en otra. Las rotaciones observadas de los planetas parecen indicar que, por algunas razones desconocidas por el momento, los núcleos originales rotaron en la dirección de avance” (p. 439–440). Los esfuerzos de Chamberlin^[49] y Moulton por construir una teoría de la rotación, bien sobre la base de la hipótesis planetesimal o sobre la hipótesis del acercamiento de soles con una prodigiosa interrupción mareal, no son más afortunadas que las antiguas teorías. Ninguna de estas hipótesis se puede reducir a términos exactos, a no ser mediante suposiciones que no pueden verificarse, ni siquiera aproximadamente. En vista de que la fuerza mareal es, o parece ser, la única fuerza externa disponible para el movimiento de los mantos corticales, hemos de preguntarnos si esta fuerza no puede estar de alguna forma relacionada causalmente con la rotación axial. Los matemáticos afirman que en su acción directa la fuerza mareal, incluso las fuerzas ma-

reales conjuntas del Sol y de la Luna^[50], es demasiado débil para ser la causa de los movimientos de la corteza. Si esto es cierto, todavía queda una posibilidad alternativa de que la fuerza mareal pueda efectuar el mismo resultado por acción indirecta. Aquí, una vez más, se recordará que la única fuerza externa disponible a la que podamos adscribir la causa de la rotación axial, es la fuerza mareal; al menos, es la única fuerza *gravitatoria*. Si recordamos, también, que el problema de las mareas es uno de los más difíciles que han abrumado a la inventiva de la mente humana, debemos reservar el juicio sobre la posibilidad de esta relación hasta posteriores estudios de este problema. Parece estar confirmado que la acción de la fuerza mareal sobre el abombamiento de la ola acuática provoca un débil frenado sobre la rotación de la Tierra. Pero ¿es cierto que la acción de la fuerza mareal en el caso de la marea sólida producida por la distorsión de la Tierra elástica, rígida, produjese el mismo resultado? Si se tiende a producir la rotación en orden directo a su efecto, sin que importe lo tenue que deba ser, es, con ciertos límites definibles, acumulativo. El resultado de dicha acción sería que la fuerza mareal, al actuar durante millones de años, aceleraría lentamente la velocidad de rotación de la Tierra, desde luego, con un aumento concurrente y en correspondencia gradual a la fuerza centrífuga que surge de la rotación. Esta fuerza, con su aumento extremadamente lento pero inexorable del poder es, en nuestra creencia provisional, la fuerza que mueve los mantos continentales de la corteza y ha construido las cadenas montañosas del cinturón del Terciario. Es la fuerza “megatectónica” de Chamberlin, y ha hecho todo el trabajo desarrollado en el días-trofismo desde el Terciario hasta la actualidad.

6. Se muestran aquí dos grandes hechos que esperan explicación, los mantos corticales deslizantes y la rotación axial, y ambos parecen requerir el gasto de una fuerza titánica durante cientos, quizás miles, de millones de años. ¿Dónde obtendremos esa fuerza? Estos dos hechos no son del todo semejantes; por el contrario, son decididamente distintos. Pero si la fuerza mareal, al actuar a través de la distorsión elástica de la Tierra rígida, puede ser aprovechada para el trabajo de producir la rotación axial en el orden directo, al mismo tiempo moverá los mantos corticales continentales y plegará y elevará las montañas. Pero esto no es todo, a menos que salgamos totalmente del campo gravitatorio, y busquemos la causa en algún otro tipo de fuerza, como, por ejemplo, la fuerza magnética, debemos reconocer el hecho inexorable de que después de todo no existe otra fuerza externa excepto la mareal. Un imán que gire alrededor de un disco que corta las líneas de fuerza magnética establece un acople mecánico en el disco y lo hace rotar sobre su eje siempre en el mismo orden de la revolución del imán. Si la Luna fuera dicho imán y la Tierra un disco, la acción magnética de la Luna provocaría que la

Tierra girase sobre su eje en el orden directo. A menudo se habla de la Tierra como un inmenso imán, y dentro de su masa y de su atmósfera existe un enorme juego de corrientes eléctricas; y la Luna, asimismo, debe ser un imán. Pero, en la actualidad, una causa magnética de la rotación parece menos prometedora que la acción mareal sobre un planeta elástico rígido. Los astrónomos y los matemáticos aseguran que la fuerza mareal no puede producir la rotación en el orden directo, pero quizás no se haya dicho la última palabra sobre este tema.

La sugerencia de que la fuerza magnética pueda ser la causa de la rotación axial parece, tal vez, absurda, incluso ridícula. Pero esto es simplemente un aspecto del dilema. Los astrónomos y los matemáticos afirman haber probado que la rotación en el orden directo no puede estar causada por la fuerza mareal. Pero si aceptamos su afirmación, el único recurso que queda es el magnetismo; y si el magnetismo también es imposible, entonces, en el estado actual de nuestros conocimientos, no existe en absoluto explicación posible. Es una de estas o ninguna; a menos que nos dispongamos retornar a Helmholtz y Laplace, o encontremos posible el aceptar sin reservas la hipótesis planetesimal de Chamberlin y Moulton.

En conexión con este tema es interesante notar el status de la rotación axial entre los planetas gigantes y sus enormes satélites. Los períodos de rotación de los planetas actualmente son: Júpiter, 9 h 50 min; Saturno, 10 h 14 min; Urano, 10 h 48 min; Neptuno, desconocido, pero a partir del período aparente de señales casi imperceptibles puede ser 7 h 48 min. Júpiter tiene cuatro grandes satélites, uno mucho mayor que la Luna; Saturno tiene dos grandes satélites, uno mucho mayor que la Luna, y otros seis de tamaño moderado. Tanto Júpiter como Saturno tienen varios diminutos acompañantes. Urano tiene dos grandes satélites y dos de tamaño moderado conocidos actualmente. Neptuno tiene un solo satélite visto hasta ahora, pero es enorme, casi tan grande como la Luna. Si las doctrinas de Laplace y Helmholtz no son válidas, y si la hipótesis planetesimal parece inaplicable, ¿cómo explicamos estas rotaciones extraordinariamente rápidas? Esto no se reduce totalmente a tamaño y masa, ya que la masa del Sol es casi mil veces mayor que la de todos los planetas juntos, mientras que su período de rotación es de 25 días. Los efectos mareales del Sol sobre estos planetas muy distantes son extremadamente pequeños. Por lo tanto, si la fuerza mareal ha causado sus rotaciones, debe ser la de los satélites. Si la causa es magnética, una vez más debe ser provocada por la acción magnética de los satélites. Revisando este campo globalmente, existe ciertamente bastante razón para creer que la velocidad de rotación de la Tierra está siendo incrementada principalmente por la fuerza mareal de la Luna que actúa a través de la marea sólida en la Tierra rígida elástica. Por el mo-

mento, parece mucho más remota la posibilidad de una causa magnética. Pero cualquiera que pueda ser la causa de la rotación, la fuerza centrífuga que ello origina, en su aumento con el lento incremento de la velocidad de rotación durante cientos de millones de años, se presenta como una causa ideal, perfecta, desde cualquier punto de vista, para las grandes migraciones horizontales de los mantos corticales continentales y la construcción de montañas.

Puede notarse que el aumento de la velocidad de rotación causa un incremento gradual en el achatamiento de la figura de la Tierra, lo que hace descender el agua en las regiones polares y elevarse en el cinturón ecuatorial, lo que provoca así un exceso negativo de agua en aquellas regiones y otro positivo en los trópicos, según la manera postulada por Suess en sus últimos trabajos. Pero las oscilaciones sucesivas de la cifra descrita por Suess no han sido establecidas aún. La corteza de la tierra tiende a seguir al agua, y, en su alejamiento de los polos, se apiará en las cadenas montañosas y altiplanicies en dirección al ecuador.

7. Uno de los hechos más extraordinarios de la geología, y en verdad de la historia de la Tierra, está expresado por cierto aspecto del cinturón montañoso del Terciario, a saber, su llegada o comienzo relativamente repentino, y su unidad tanto en el espacio como en el tiempo. Los hechos muestran que todos los continentes que se movieron en el diastrofismo del Terciario empezaron a desplazarse aproximadamente al mismo tiempo; que la mayor actividad tuvo lugar en el período Terciario, y que todos han continuado en un movimiento más o menos activo, aunque quizás disminuye ligeramente el efecto, hasta la actualidad. Es probable que el descenso de los efectos se deba no tanto a una disminución en el valor de la fuerza del movimiento como a la acumulación de efectos que tienden a satisfacer las tensiones.

Los movimientos corticales del Terciario empezaron en el Cretácico superior, y el hecho de que tuvieran tan definida una época de comienzo y destacasen tan enérgicamente en la última parte de la historia de la Tierra, en nuestra opinión, puede explicarse de una sola forma, a saber, por *un aumento general, relativamente repentino y permanente en el valor de la fuerza motriz de la corteza*. Esto se produciría solo por el incremento relativamente repentino en el valor de la fuerza mareal, que en su giro empezó a causar un aumento muy lento en la velocidad de rotación. Este último incremento produjo el correspondiente aumento en la fuerza centrífuga que actuaba sobre todo el globo, pero con un efecto más notable sobre la corteza. La ciencia moderna no aporta nada sobre cómo se puede dar un incremento grande y repentino en la fuerza mareal. Para hacer esto es necesario retirarse de las líneas de ciertas doctrinas heredadas que se aceptan desde hace tiempo, principalmente la hipótesis de la nebulosa de Laplace.

8. Si nos permitieran acariciar lo que nos parece una explicación simple y racional del origen de nuestro gran satélite, la Luna, si nos concedieran creer que la Luna fue atrapada por la Tierra repentinamente por una captura directa del espacio, y que esto ocurrió en el período Cretácico, desaparecerían casi todas las dificultades. Veríamos en seguida la explicación de casi todo lo que esté asociado con el diastrofismo del Terciario hasta la actualidad, el deslizamiento de los continentes desde latitudes altas a más bajas en ambos hemisferios, la construcción de las grandes cuencas disyuntas del Ártico, y las cadenas montañosas plegadas y levantadas que forman el límite meridional de todos los continentes septentrionales, con muchos caracteres asociados, como las cadenas montañosas arqueadas y lobuladas, fosas, mares de arco, altiplanicies y todos los demás caracteres especiales relacionados con los movimientos de los mantos corticales y la construcción de montañas. Es cierto que la mayoría de los astrónomos rechazan actualmente la teoría del origen de los satélites por captura directa; solo unos pocos están a favor de ella. Pero los que se oponen harían bien en tomar nota de la rápida tasa en que se acumulan las observaciones en favor de la teoría. Si la Luna fue capturada en el período Cretácico, se produjo un incremento repentino en el valor de la fuerza mareal, con un aumento hasta dos veces y un quinto el valor de la fuerza mareal actual del sol, y ha continuado sin disminuir hasta la actualidad. Esto es así porque todos los grandes procesos del diastrofismo del Terciario han continuado hasta el día de hoy; la gran fuerza motriz de la corteza todavía es activa, y vemos los resultados en nuestras cadenas montañosas modernas, en nuestros terremotos actuales y volcanes activos.

9. Queda por mencionar brevemente uno de los hechos más importante, y con un significado global único y con una relación coherente con las demás pruebas aducidas. Se trata de la transgresión del océano del Cretácico sobre las tierras tropicales más bajas y de latitud media de ese período. Si seguimos las primeras épocas del Mesozoico, que estuvieron relativamente en calma, el océano del Cretácico se expandió con mayor amplitud y de una forma más repentina sobre buena parte de Europa y Asia, y con menor extensión sobre Norteamérica y África septentrional. En relación con este gran acontecimiento, el Profesor Charles Schuchert observa: “El Cretácico fue la época en la que los océanos se expandieron sobre las tierras peniplanadas aparentemente con mayor extensión que en cualquier otro período geológico conocido. Suess fue el primero en señalar esta gran expansión marina”¹⁸⁴.

¹⁸⁴ Pirsson y Schuchert, *Textbook of Geology*, Parte II (1915), p. 889; mapa, p. 891.

Es un hecho notable el que esta transgresión estuviera restringida principalmente a las tierras bajas en latitudes medias y bajas. Las tierras a altas latitudes septentrionales no estuvieron sumergidas, si exceptuamos pequeñas áreas en la América británica noroccidental y en parte de Alaska, que con toda probabilidad se situaban entonces a un nivel relativamente bajo. El hemisferio sur suministra el mismo tipo de prueba, aunque cuantitativamente mucho menor. El cambio fue tal y como esquematizó Suess, con el descenso del agua desde los polos, e inundando ampliamente las tierras de latitudes bajas. Este cambio se corresponde exactamente con un ligero incremento en el achatamiento de la figura de la Tierra. Consideraciones teóricas sugieren que, cuando la Luna fue capturada por la Tierra, sería el océano el que respondería a la nueva primera fuerza; los movimientos corticales empezaron más tarde. Pero, al ser muy lentos, no producirían efectos marcados durante mucho tiempo. Con su órbita primitivamente geocéntrica, con seguridad bastante más excéntrica que la órbita actual, la Luna podría acercarse mucho más a la Tierra en el perigeo, y su fuerza mareal sería mucho mayor en esas épocas. “La fuerza que produce las mareas de un cuerpo varía inversamente al cubo de su distancia y directamente a su masa”¹⁸⁵. Si la Luna en el perigeo estuvo dentro de 24.000 millas de la Tierra (su distancia media actual es de unas 240.000 millas), su fuerza mareal sobre la Tierra sería *mil* veces más poderosa como la actual.

No se ha encontrado todavía una explicación para la transgresión del Cretácico. Pero es evidente que la misma fuerza que causara el movimiento de los mantos corticales desde latitudes altas hacia las bajas, produciría *primero* el movimiento de las aguas de los océanos en la misma dirección. La gran transgresión precedió inmediatamente a los movimientos corticales y a la elevación de las montañas que llegaron después en el mismo período y se extendieron por todo el Terciario hasta la actualidad. Parece más probable que ambos movimientos se debieran a la misma causa, la fuerza centrífuga de una velocidad de rotación en lento aumento, que fue producida por sí misma sucesivamente por el incremento en el valor de la fuerza mareal que resultó de la captura y retención permanente de la Luna. Así, después de todo, la fuerza mareal puede ser la causa real de los grandes movimientos corticales y de las concurrentes elevaciones montañosas, no por acción directa, sino indirectamente, como la causa del incremento de la velocidad de rotación axial de la Tierra y el aumento del valor de la fuerza centrífuga que surge de este movimiento.

¹⁸⁵ *Manual of Astronomy* de Young, 1912, p. 303.

Los problemas relacionados con los períodos precretácicos de elevación de montañas más antiguas, especialmente los que tienen que ver con el prodigioso diastrofismo de los períodos precámbricos, no tienen relación alguna con la Luna como cuerpo productor de mareas. Esos problemas tienen un tratamiento totalmente diferente.

COMENTARIOS SOBRE LA HIPÓTESIS DE WEGENER

William Bowie¹⁸⁶

Washington, D.C.

RESUMEN

Se discute la hipótesis de Wegener por medio de objeciones geofísicas. Aunque no se opone en realidad al principio de la isostasia, no obstante, sus características no concuerdan con la idea de que la corteza terrestre es bastante débil en su conjunto como para mantenerse en equilibrio isostático por la acción constante de la gravedad. Se plantean cuestiones sobre la hipótesis que sugieren que no se está totalmente de acuerdo con lo que se conoce sobre la Tierra. Si el material terrestre bajo los océanos está desprovisto de resistencia, ¿por qué se dan en esas regiones terremotos violentos, y por qué el fondo oceánico mantiene un pronunciado relieve? ¿Por qué Wegener acumula tantas masas flotantes de sial en el hemisferio norte y por qué algunos de los continentes evidentemente se movieron desde el ecuador en lugar de hacia él? Se expresan dudas sobre el cambio de los polos tal y como postula Wegener.

La hipótesis avanzada por Wegener no contradice el principio de la isostasia que, a juicio de la mayoría de los estudiosos de la Tierra, ha sido bien establecido. Pero existen ciertos aspectos de la hipótesis de Wegener que no parecen concordar con la idea de que la corteza terrestre sea bastante débil en su conjunto para mantenerse en equilibrio isostático por la acción constante de la gravedad.

La hipótesis ha sido esbozada con tanto detalle por otros conferenciantes que no me tomaré más tiempo que para llamar la atención sobre algunos aspectos de la hipótesis, o al menos sobre una interpretación de Wegener de su método de trabajo que parece ser más débil desde el punto de vista de la mecánica. El propósito de este simposio es analizar, desde cualquier ángulo posible, la hipótesis de Wegener, y me parece que las consideraciones que pueden ser adversas son precisamente tan importantes como las que muestran sus puntos fuertes.

Las observaciones de las mareas oceánicas y terrestres y de la transmisión de las ondas elásticas desde los centros sísmicos parecen probar de forma concluyente que la Tierra es totalmente sólida para tensiones de corta duración. Sabemos que la forma de la superficie del geoide o la superficie de las aguas oceánicas y del agua de los canales al nivel del mar, extendida en teoría por las áreas continen-

¹⁸⁶ Director, Division of Geodesy, U.S. Coast and Geodetic Survey.

tales, es casi un esferoide. Es probable que la desviación del geoide de la superficie esferoidal no sea mayor de 100 m en cualquier lugar de la superficie terrestre. Este hecho es un claro indicio de que no existen grandes deficiencias o excesos de masa por debajo de toda la superficie de la Tierra. Si existieran, lo debería indicar seguramente la desviación del geoide de la superficie esferoidal.

Los análisis hechos por los geodestas indican que, si la idea de Pratt de la isostasia es la correcta, el grosor de la corteza terrestre es aproximadamente de 60 millas. Esta profundidad es objeto de revisión conforme se acumulan más datos, pero creo que, incluso para la mayoría de los datos disponibles, la profundidad obtenida, hasta la cual se extiende la capa isostática, llega hasta 40–80 millas, y probablemente estará entre 50 y 70 millas. Heiskanen ha hecho algunos análisis, usando datos geodésicos, de la profundidad a la que se extiende la compensación isostática bajo las masas terrestres, basados en la idea de que la diferencia en la elevación de la superficie de la Tierra se debe a la variación en espesor del material cortical más que a diferentes densidades de ese material. Sus profundidades de compensación bajo áreas continentales parecen ajustarse, en general, a las profundidades más probables encontradas para la isostasia según el modelo de Pratt.

Da la impresión de que debemos buscar las causas de los grandes cambios que han tenido lugar durante el tiempo geológico en la configuración de la superficie terrestre, en la capa que se extiende desde la superficie hasta una profundidad de 60 millas aproximadamente. Desde luego, ha existido movimiento horizontal de material subcortical para restaurar el equilibrio isostático siempre que este haya sido perturbado por la erosión y la sedimentación o por otras causas. Pero es más difícil ver el modo en que se podría haber movido horizontalmente la superficie terrestre en gran parte por el movimiento subcortical. La corteza superior es bastante fina para experimentar arrugamiento y plegamiento por los movimientos subcorticales.

Nosotros, que podemos ser clasificados como isostáticos, bien sea del modelo de Pratt o de Airy, debemos sostener que mientras el material cortical tiene suficiente rigidez residual para resistir la nivelación de la superficie terrestre con las masas continentales en su fluir sobre las masas oceánicas, debe ser bastante débil para romperse por las fuerzas gravitatorias que siempre tienden a mantener el equilibrio isostático.

Refiriéndonos de nuevo al geoide y al esferoide, debemos concluir a partir de la estrecha concordancia de las dos superficies, que la Tierra en su conjunto posee poca o ninguna rigidez residual o resistencia para soportar las fuerzas gravitatorias que tienden a dar forma de esfera a cualquier cuerpo material. La desviación de la

superficie del agua o del geoide a partir de una esfera se debe casi exclusivamente a las fuerzas centrífugas que resultan de la rotación de la Tierra, y a la variación en la elevación de la superficie terrestre que tiende a inclinar la superficie del agua hacia arriba, cerca de las masas de tierra. La mayor elevación del geoide sobre el esferoide se sitúa directamente bajo los grandes sistemas montañosos tales como los Andes y los Himalayas.

Las únicas fuerzas que pueden estar operando en parte sobre las masas continentales para hacerlas cambiar sus posiciones geográficamente, parecen ser las fuerzas hacia el ecuador ejercidas por un cuerpo flotante debido al cambio en la dirección de la gravedad con la elevación, y las fuerzas mareales. Existen otras fuerzas que han sido sugeridas por Wegener y otros autores como causas posibles de la deriva continental. Todas estas fuerzas, incluyendo las dos mencionadas, son excesivamente pequeñas; de hecho, son tan pequeñas que no parece posible que pudieran fragmentar las masas continentales y les hicieran derivar sobre la Tierra.

Se ha establecido, por astrónomos y por otros, que el plano del ecuador terrestre puede cambiar su inclinación con la eclíptica en unos 3° . Este cambio del ecuador es bastante rápido ya que, en la época actual, su tasa de variación es tal que solo se requerirían 22.000 años para modificar la inclinación en 3° . Se considera que dicho cambio es aproximadamente el límite que siempre se alcanza. El movimiento es oscilatorio, con un incremento del ángulo en unos 3° y una disminución posterior en una cantidad igual.

Si el ángulo entre el ecuador y la eclíptica cambiase en 1° ó 2° , alargándolo en esa cantidad, entonces los veranos septentrionales y meridionales serían más cálidos como media de lo que lo son actualmente, mientras que los inviernos serían en correspondencia más fríos. Por otro lado, si el ángulo disminuyera en $1-2^\circ$, los veranos en los extremos septentrionales y meridionales de la Tierra serían más fríos que en la actualidad. Los inviernos, por otra parte, serían ligeramente más cálidos que en el presente, ya que el Sol no estaría tan lejos más allá del ecuador durante los inviernos como está ahora.

Esta variación en el clima, debido al cambio en el ángulo entre el plano del ecuador y de la eclíptica no afectaría en modo alguno a la posición del eje de rotación dentro de la masa terrestre. Excepto para una ligera modificación debida a varias causas, los polos Norte y Sur estarían donde están ahora, y habría simplemente un cambio en la temperatura media de diferentes partes de la Tierra como resultado de la variación en el ángulo en cuestión.

Wegener ha discutido en su obra con cierta amplitud la idea de la existencia de un cambio de los polos Norte y Sur durante el tiempo geológico, pero nos deja

algo en la duda en cuanto a si este cambio se debió a un deriva de las masas continentales sin la existencia de cualesquiera cambios en la posición del eje de rotación dentro de la masa de la Tierra, o si existió un cambio real del eje, lo que provocó que los polos asumieran nuevas posiciones en relación a los continentes que deben considerarse han permanecido fijos.

El matemático W.D. Lambert, de la oficina del U.S. Coast and Geodetic Survey en Washington, ha encontrado en sus cálculos que el cambio de una masa continental tan grande como Eurasia a través de 45° de latitud cambiaría el eje de rotación de la Tierra dentro de la masa terrestre en algo así como medio grado. Schweydar efectuó un cálculo similar y aunque llegó a un valor algo mayor que el de Lambert, encontró incluso que la variación será solo de $1-2^\circ$.

Un cambio de los polos de incluso 5° sería mucho menor de lo que necesita Wegener para explicar los cambios en latitud, que según afirma se han debido a la migración polar. Si ha existido alguna variación en la relación entre las masas continentales y los polos, tienen que haberse debido al movimiento de los continentes en lugar de a un cambio del eje de la Tierra.

Me resulta difícil entender cómo todo o casi todo el sial (masas continentales) habría estado originalmente en el hemisferio norte, como indica el mapa de Wegener que muestra el sial en relación con las áreas oceánicas antes de la disgregación del material continental. Me parece que el sial debería haberse distribuido en un cinturón a lo largo de las zonas ecuatoriales, desde los más remotos períodos geológicos. Si las presiones causantes de la deriva de los continentes tienen resultantes que funcionan hacia el ecuador, seguramente en ese momento la masa total de sial no se habría congregado en el hemisferio norte.

No obstante, aceptemos que el sial estaba en el hemisferio norte antes de la disgregación. ¿Cómo podría derivar más allá del ecuador la mayor parte de Sudamérica y toda la Antártida? Puede parecer que las fuerzas habrían arrebatado esas masas hasta el ecuador, sin causar cualquier otro cambio en la latitud. Puesto que hasta la Antártida está implicada, tenemos el fenómeno de una deriva tanto polar como ecuatorial. En la actualidad, la mayor parte del sial está todavía en el hemisferio norte y buena parte de este está cerca del Océano Ártico. Puesto que ha transcurrido bastante tiempo para que actuaran sobre el sial las fuerzas en dirección al ecuador, ¿cómo es que las masas de Norteamérica y Eurasia no están más al sur?

Una de las posiciones del polo Norte en el pasado, de acuerdo con Wegener, fue en el Pacífico septentrional o en el Mar de Behring. Si eso fuera cierto, entonces parecería que una gran parte de Eurasia estuvo en el pasado mucho más

abajo del polo Norte que en la actualidad. Si es así, entonces cuando cambió el polo a su posición actual, bien por modificación de la posición del eje de rotación dentro de la masa de la Tierra o por la deriva de los continentes, Eurasia debe haber derivado hacia el norte más que hacia el sur. Esto está en contradicción con lo que se supone que fue la deriva de los continentes.

Siempre me he quedado perplejo en cuanto a porqué Norteamérica, Sudamérica, África, Australia y la Antártida se habrían fragmentado a partir de la masa original única que, de acuerdo con el mapa de Wegener, debe haber ocupado la posición actual de Eurasia. ¿Es posible que Eurasia esté anclada en el interior de la Tierra mientras los otros continentes descansan sobre el sima como si se tratara de un manto de hielo de Groenlandia sostenido por el agua, después de que el manto se haya extendido más allá de lo que puede considerarse el litoral? ¿Ha sido la flotabilidad del sima la que desprendió el sial que forma los continentes que han cambiado de posición, como los icebergs se desgajan del frente del manto de hielo por la flotabilidad del agua?

Si Eurasia no estuvo anclada firmemente al interior de la Tierra, se habría movido más rápido bajo las pequeñas fuerzas supuestas por Wegener de lo que lo hicieron Norteamérica y Sudamérica y otros continentes. Cuanto más alto se sitúa el sima sobre el nivel del mar mayor es la fuerza que actúa sobre él para arrastrar la masa hacia el ecuador. Puesto que Asia tiene una elevación media de más de 3.000 pies mientras la elevación media de Norteamérica es solo de unos 2.500 pies, Asia derivaría más rápida que Norteamérica y Sudamérica, y evitaría el desarrollo de cualquier rift entre ellas. Incluso aunque Eurasia se mantuviera anclada al interior de la Tierra mientras los demás continentes quedan libres para derivar por el sima tan pronto como se hubieran separado de la masa principal, se habría requerido, a mi juicio, una fuerza tremenda para fracturar el sial. De acuerdo con Wegener, el sial tiene la suficiente rigidez residual para mantener su superficie irregular y evitar su aplastamiento por la presión hidrostática ejercida por el sima. ¿Pero es posible que el sial, que puede resistir dichas fuerzas compresivas tremendas resultantes de la gravedad, sea tan débil en resistencia a la tensión como para permitir la fracturación de los grandes bloques, incluyendo fisuras de miles de millas de longitud y presumiblemente muchas millas de profundidad? No me parece posible que la resistencia a la tensión del sial pueda ser tan baja como para permitir la disgregación de la masa original por las presiones excesivamente pequeñas supuestas por Wegener.

Para que los continentes pudieran errar como postula Wegener, el sima debería de carecer totalmente de rigidez o fuerza residual. Tendría que ser rígido

para las presiones que actúan durante cortos períodos de tiempo, pero debería ceder como el alquitrán o el lacre a las presiones que operan durante muchos años. ¿Pero cómo puede el sima carecer totalmente de rigidez residual en vista del hecho de que la mayoría de los terremotos más violentos tiene lugar bajo los océanos, presumiblemente en el sima? Se entiende generalmente que un terremoto es el resultado de la ruptura de una roca debida a las diferencias de presión que pueden acumularse en la corteza. Para que pueda existir una rotura de la roca cortical debe tener la rigidez residual suficiente para acumular presiones más allá del límite elástico del material. Me parece que la existencia de terremotos bajo los océanos es un argumento en contra de un sima sin rigidez residual, pero si los continentes se movieran por el sima bajo las pequeñas fuerzas supuestas por Wegener, el sima no tendría rigidez residual alguna, sea la que sea. Por lo tanto, nos parece que el fenómeno de los terremotos es contrario a la teoría de la deriva continental.

Se supone que el sima, de acuerdo con mi comprensión de la hipótesis de Wegener, es un material homogéneo. Incluso la resistencia al cambio de posición de las masas continentales estará ausente del sima aunque esté más o menos mezclado con el material siálico bajo algunas porciones del área oceánica, una mezcla del sial y del sima sin formar barrera alguna para la migración de los continentes. Puede parecer que si el sima y el sial están mezclados, el sial, siendo más ligero, subiría a la superficie y, por lo tanto, la mezcla se separaría pronto. Incluso aunque el sima tuviera diferentes densidades, su carencia de rigidez residual provocaría su disposición en capas con el material más denso en el fondo y el más ligero en la parte de arriba.

Si el sima no tiene rigidez residual podría parecer que las cuencas oceánicas deberían tener profundidades uniformes. Los fondos estarían nivelados como una marisma. Esto, de hecho, no es así, porque existen porciones de los fondos oceánicos que están muy arrugados con grandes cambios en la profundidad del agua en distancias comparativamente cortas. Si los fondos oceánicos se componen totalmente de sima, no podrían existir profundidades oceánicas incluso durante tiempos muy breves.

Existen islas que descansan sobre pedestales que forman altas cordilleras sobre los fondos oceánicos. Según entiendo yo la hipótesis de Wegener, se supone que estas masas serán remanentes del sial dejado atrás mientras los continentes derivan de un lugar a otro. ¿No parece más extraño que masas de sial comparativamente pequeñas se fragmentaran a partir de una gran masa a la deriva y se quedaran atrás? Las fuerzas que actúan sobre la masa grande podrían, ciertamente, mantener unido el sial en su conjunto y no permitir que los fragmentos se

desprendieran y se dispersaran sobre todas las áreas oceánicas. Nos enfrentamos con el problema del mecanismo por el cual pueden ahora estar las masas insulares a miles de pies sobre la superficie del agua, cuando en un período anterior presumiblemente estaban bajo el nivel del mar. ¿Qué proceso se emplea bajo la hipótesis de Wegener para cambiar la elevación del área insular?

De acuerdo con Wegener, el sial que deriva a través del sima se encuentra con suficiente resistencia como para arrugar el frente de la masa en movimiento y formar los sistemas montañosos. Me parece que esta es una condición imposible, ya que si el sial puede moverse por el sima, no podría existir el baluarte opuesto al sial que distorsionase la masa. No podemos considerar un sima que tenga tanto la calidad de un material sin rigidez residual y al mismo tiempo tener una rigidez superior en exceso de la del sial que deriva. Esta es una contradicción en la hipótesis de Wegener que ha creado probablemente el mayor antagonismo hacia ella.

De acuerdo con J.W. Gregory, por lo general se reconocen tres clases de montañas: el tipo plegado, el tipo falla normal, y el tipo meseta. El último tipo de montañas mencionado se forma por el desgaste de una porción del material elevado de la altiplanicie, dejando remanentes que sobresalen como cordilleras y picos. El primero de los tres tipos puede considerarse que se ha debido al aplastamiento del material cortical por fuerzas compresivas horizontales, pero los otros dos tipos tienen que deberse a movimientos verticales más que a horizontales. ¿Dónde encontramos algún tipo de movimientos verticales, a partir de las fuerzas usadas por Wegener, para explicar su hipótesis? Si aceptamos la idea de isostasia de Pratt, entonces, a mi juicio, incluso solo la primera clase de montañas mencionado debe estar producido por movimientos verticales, como resultado de una disminución en la densidad del material cortical inferior. El movimiento horizontal de material que se observa en esas montañas es, a mi juicio, meramente secundario para la expansión y el levantamiento vertical.

De acuerdo con las investigaciones isostáticas, se ha encontrado que el grosor de la corteza terrestre bajo las áreas montañosas es aproximadamente de 60 millas, si se usa la idea de Pratt o de Airy. Sobre la teoría de que el material cortical tiene rigidez residual mientras el sima no lo posee, tenemos más difícil el problema para explicar la habilidad del sial para mantener su forma en contra de la presión hidrostática ejercida por el sima. El sial está en equilibrio isostático y por tanto cede rápidamente ante las fuerzas gravitatorias resultantes de la erosión y sedimentación. Esto parece indicar que existe una debilidad en el sial que imposibilitaría el mantenimiento de las raíces que se extienden 60 millas o más dentro del sima no rígido. Si la diferencia en elevaciones de un área continental y un área oceánica próxima es de dos millas, debería existir entonces una diferencia de pre-

sión cerca del fondo del sial equivalente a un peso de dos millas de roca. Este peso tendería a forzar hacia arriba el sial, aplastándolo, y haciéndolo fluir sobre el sima.

Es para mí difícil entender cómo, en el estado original, líquido o sólido, del sima y del sial, este último se habría agrupado en masas de un espesor de unas 60 millas. El sima, siendo plástico y más pesado, tendería a impedir un hundimiento del sial conforme se enfriaba. Si el sial se formó sobre el sima por consolidación y enfriamiento, es de suponer, de acuerdo con la hipótesis de Wegener, que se habría formado un espesor más uniforme o una escoria, más que grandes bloques de unas 60 millas de espesor. Incluso si se moviera bruscamente por las fuerzas mareales o de otra clase, habría sido arrastrado dentro de una franja comparativamente estrecha que se extiende a lo largo del cinturón ecuatorial alrededor de toda la Tierra. Sería difícil amontonar el sial y que las pequeñas fuerzas que son la base de la hipótesis de Wegener obligasen a sus raíces a penetrar hacia abajo en el sima más denso.

Lo que he dicho es una crítica destructiva, pero creo que todas las cuestiones que he planteado son correctas, y seguramente la hipótesis de Wegener ganará muchos adeptos entre los que ahora son sus adversarios, si pueden ser respondidas de una manera convincente por sus defensores.

DISCUSIÓN DE LOS CONTINENTES FLOTANTES

David White¹⁸⁷

Washington, D.C.

RESUMEN

Los mapas de Köppen–Wegener sobre los agregados continentales y los datos climáticos a lo largo del tiempo geológico, están abiertos a una crítica seria. Si los continentes pudieron fragmentarse y derivar en otras épocas geológicas, ¿por qué no lo hicieron en las eras más primitivas durante las mayores revoluciones diastróficas? Los geólogos no deberían olvidar el principio de la isostasia.

El dilucidar la cuestión sobre los continentes flotantes recae principalmente en los geofísicos y en los geólogos históricos^[51]. La ausencia de consideración y de una atenta lectura sobre la materia descarta cualquier opinión mía. Sin embargo, tengo la impresión de que mientras el agregado continental combinado y los datos indicados y los climáticos teóricos mostrados en los mapas de Köppen y Wegener publicados recientemente, proporcionan hábiles hipótesis en la explicación de la extraordinaria distribución de la flora del Carbonífero, el Jurásico, el Cretácico medio, e incluso del Eoceno, estas se encuentran, en ese aspecto, abiertas a una seria crítica, incluso para un lego en geología.

La observación de los mapas muestra una separación muy insignificante de las masas continentales hasta el Cretácico y relativamente pequeña hasta el Eoceno. ¿Por qué, bajo las condiciones en las que se basa la explicación del aislamiento de los continentes por la deriva, se habrían mantenido unidos tan estrechamente hasta el Terciario? La Tierra pasó por grandes ciclos de la historia, incluyendo dos largas eras de sedimentación y de notable volcanismo, seguida cada una por una importante revolución diastrófica y por metamorfismo, y la vida de los órdenes inferiores se fue diferenciando bastante, de forma relativa, a través de un tiempo geológico necesariamente largo, antes de la llegada del Paleozoico. ¿Por qué esta dislocación y la deriva de las masas continentales no tuvo lugar a finales del Proterozoico, o del Arqueozoico, o incluso en conexión con el diastrofismo postpaleozoico, en lugar de esperar una era tras otra y a través de las más grandes revoluciones diastróficas, hasta finales del Cretácico, o posiblemente incluso hasta un movimiento diastrófico insignificante de fecha aún posterior?

¹⁸⁷ National Research Council.

Evidentemente los defensores de la teoría mantendrían los continentes yuxtapuestos hasta esta última fecha antes que encontrar las exigencias de los paleontólogos. Pero, teniendo en cuenta los principios de partida, ¿cómo es que las condiciones que favorecen la migración diferencial, y de esta forma, el deslizamiento de los continentes hacia los cuatro rumbos de la Tierra, no tuvieran lugar hasta una época tan tardía, geológicamente hablando, casi como ayer?

Las discusiones como este simposio, dirigido con erudición e imparcialidad por el Dr. Van der Gracht, son estimulantes y rentables porque alientan el pensamiento y la opinión de mentes abiertas. Independientemente de que se establezca o no la validez de la teoría de la migración de los continentes flotantes, será de gran valor porque incitan a investigar la distribución de la vida en los períodos sucesivos y por las conclusiones sobre el clima y sus causas a partir del estudio de la distribución en conjunción con las relaciones, conexiones, relieve y configuraciones continentales. Mi más profunda convicción es que los climas, tanto del pasado como del presente, están controlados por estos factores, a los que hay que añadir la extensión y la posición de los mares epicontinentales, los cambios en el volumen, velocidad, temperatura y densidad de las corrientes oceánicas en particular, y posiblemente también los grandes períodos de fluctuación excepcional en la radiación solar. La cuestión de los climas incluye un complicado grupo de problemas que lamentablemente han sido olvidados por los geólogos, y que invitan a su más seria consideración en cooperación con los físicos, oceanógrafos y meteorólogos.

Finalmente, permítaseme instar a los geólogos, en todas las consideraciones de cualquier teoría de la flotación continental, para que no pierdan de vista el hecho de que el equilibrio isostático es, y presumiblemente lo ha sido desde la época Arcaica, casi mucho más perfecto que el indicado por las anomalías positivas y negativas.

DISCUSIÓN DE LA TEORÍA DE WEGENER

Joseph T. Singewald, Jr.¹⁸⁸

Baltimore, Maryland

RESUMEN

Las dos premisas fundamentales en las que se basa la teoría del desplazamiento de Wegener, a saber, (1) la flotación de los continentes de sial sobre una capa viscosa subyacente de sima, y (2) el desplazamiento del sial continental por fuerzas tangenciales, son ambas reconocidas por los geólogos. El desacuerdo en gran medida está en la aplicación de estas premisas a la solución de los problemas de la Tierra. Wegener defiende un caso difícil sobre pruebas circunstanciales. Pero su razonamiento no es del todo convincente. A pesar de las objeciones que se han alzado frente a la teoría, posee un alto grado de probabilidad y está apoyada por numerosas pruebas. Las dificultades entre Wegener y sus adversarios se deben en gran medida al desacuerdo frente a los hechos observados.

La teoría del desplazamiento de Wegener está basada en dos premisas fundamentales:

1. La flotación de los continentes de sial sobre una capa viscosa de sima subyacente.

2. El desplazamiento del sial continental por fuerzas tangenciales. Los geólogos y los geofísicos están hoy de acuerdo, casi unánime, sobre la primera premisa. La demostración de la misma está basada en la teoría de la isostasia. Todo geólogo también reconoce que las fuerzas tangenciales causan desplazamientos de la corteza terrestre. Son tan numerosos los ejemplos de empujes y pliegues sobre superficies planas que representan muchas millas de traslación, que es imposible dudar en ese punto. Por lo tanto, el desacuerdo con la exposición de Wegener debe descansar en las inferencias que extrae de estas premisas, en su aplicación como explicaciones de ciertos fenómenos de la corteza terrestre, en la inadecuación del mecanismo del proceso del desplazamiento, y posiblemente en la prueba misma.

La psicología de la presentación de Wegener está en la observación de cierto fenómeno que sugeriría una teoría con una explicación plausible para algunos fenómenos con los que se han estado enfrentando los geólogos. Luego se dispuso,

¹⁸⁸ Profesor de Geología Económica, Johns Hopkins University.

más que a probar su teoría, a defenderla como un abogado^[52]. Recopiló abundantes datos a partir de numerosas fuentes en apoyo de la misma. Gran parte de la prueba concluyente apoya la isostasia y los movimientos tangenciales de la corteza terrestre, pero no demuestra que la construcción de las montañas, el vulcanismo, las transgresiones y la migración de los polos, sean el resultado de la deriva continental. Incluso esta prueba está entretejida dentro del argumento con el objeto de que el lector se lo crea. Otra parte de la prueba es tan errónea, o debe representarse de tal forma para que sirva a su propósito, que solo puede ser de peso para el que ya acepta la teoría. Al mismo tiempo, se hacen suposiciones opuestas a las pruebas geológicas para que la teoría pueda explicar los fenómenos. Si se entró en la discusión en el papel de abogado con ánimo de refutación, sería fácil recorrer el libro de Wegener capítulo por capítulo, y aparentemente ganar su caso, por la existencia de multitud de ejemplos con los que uno puede rechazar los argumentos propuestos en apoyo de su teoría, en la cual sus conclusiones son *non sequitur*^[53], o en la que sus suposiciones son contrarias a la mejor prueba disponible. Sin embargo, el propósito de esta discusión no es argumentar a favor o en contra de la teoría, sino examinarla y probarla para saber si nosotros, los geólogos, deberíamos aceptarla o rechazarla.

A uno le da la impresión, tras una lectura cuidadosa de Wegener, de que este ha mantenido una fuerte disputa a favor de la deriva continental sobre pruebas circunstanciales a partir de la geología, la paleontología y la paleoclimatología. La prueba geofísica establece un considerable grado de probabilidad para la teoría. La discusión geodésica, prácticamente admitida por Wegener, no es concluyente; incluso ese capítulo se presenta de tal forma que conduce al lector no precavido a aceptar que la prueba geodésica apoya la teoría, y es un buen ejemplo del alegato especial al que se recurre en el libro. Su tratamiento de la mecánica del proceso es menos completo y menos satisfactorio que su demostración del hecho de la deriva continental. Incluso la aplicación de la idea de la deriva continental es menos convincente como explicación de la formación de las montañas.

En una breve discusión es imposible recoger los puntos conocidos de antemano de una forma detallada y concreta, e incluso la más breve consideración incluye la repetición de buena parte de lo que se ha dicho y se dirá por otros participantes. Aun así, intentaré un análisis de los argumentos propuestos por Wegener.

El capítulo sobre los argumentos geofísicos es una excepcional demostración bien presentada de:

1. La diferencia en la composición de los continentes y el fondo oceánico, demostrada por la frecuencia de los niveles medios de tierras y mares y por la naturaleza del campo magnético terrestre.

2. La permanencia de los océanos y continentes, demostrada por la conclusión precedente y por la isostasia.

Estas dos conclusiones se deshacen de una manera eficaz de la teoría de los puentes intercontinentales. Una tercera conclusión, que prepara el camino para su teoría de la deriva continental como causa del plegamiento de las montañas, es que el sima es más plástico que el sial, conclusión basada en la mayor suavidad de los fondos marinos y la ausencia en ellos de montañas plegadas. Aunque demos de la validez de la conclusión, los argumentos que la apoyan no lo son. El sima, tanto como el sial, no pueden levantarse más de lo que pueden ser compensados. Pero los 100 km superiores de sima no difieren tanto en la gravedad específica del sima inferior como lo hace el sial del sima subyacente. Por lo tanto, el ajuste por depresión sería más difícil en el primer caso que en el segundo, y la opresión lateral sería más importante en el sima que en el sial, incluso aunque no existiera diferencia en la viscosidad. Además, solo es la erosión superficial y el consecuente ajuste isostático, los que nos revelan las montañas plegadas sobre los continentes. Generalmente hoy día se acepta bastante que la elevación de las regiones montañosas continúa algún tiempo después del plegamiento. En consecuencia, nadie puede decir si el sima del fondo oceánico está plegado o no. A pesar de la distinción hecha por Wegener entre un sólido blando y un fluido viscoso, su explicación para la formación de las montañas en el margen anterior de un continente a la deriva, por el abombamiento del borde continental contra el viejo sima endurecido del fondo del Pacífico, hace igualmente plausible la suposición de que el viejo sima es más viscoso que el viejo sial. Los argumentos geofísicos demuestran la posibilidad de un desplazamiento de los continentes, pero prestan poco peso a que sea ese desplazamiento la causa de la formación de las montañas.

Los argumentos geológicos, paleontológicos y paleoclimáticos son circunstanciales. El peso que se les otorga depende en su mayor parte del grado de correspondencia que uno exija en las masas continentales que se postula han derivado en fragmentos, y del grado al que uno acepte la explicación lejos de la carencia de correspondencia en los márgenes de las masas separadas. Si los continentes han ido a la deriva, está claro que el movimiento no fue una simple traslación lineal, de modo que se destruyó una cierta tasa de correspondencia; e imparcialmente uno no puede insistir en la correspondencia exacta como un prerequisite para aceptar la teoría. Sin embargo, no podemos ayudar con el sentimiento de que si existiera mayor acuerdo entre los geólogos para las observaciones comprometidas, la cadena de pruebas sería mucho más fuerte. Los climas geológicos se explican por la migración de los polos, y esta migración es un factor

importante en la creación de las fuerzas que se conciben como causa del desplazamiento de los continentes y del plegamiento de las montañas. Pero los geofísicos no admiten la migración de los polos, por lo que estamos así ante otro débil eslabón del argumento.

El capítulo sobre los argumentos geodésicos realmente es el más desafortunado en la obra de Wegener, porque desvía de una forma tan patente el razonamiento, e inclina al lector a una actitud de exigir con mayor severidad la prueba, que le parece dudoso. El capítulo empieza con la declaración: “La teoría del desplazamiento posee la ventaja sobre todas las demás teorías, que puede ser probada por determinaciones astronómicas fiables”, una frase que formulada así implica que las observaciones astronómicas han demostrado el desplazamiento de los continentes. Incluso la prueba del cambio de longitud es más pobre y está basada en observaciones inciertas; y la del cambio de latitud es igualmente más pobre y, en tanto que fidedigna, va en la dirección opuesta a partir de lo exigido por la teoría. Aun si fuese aceptable, la prueba es inadecuada para demostrar las migraciones continentales, y las modificaciones encajan en los límites de cambios efectuados por desplazamientos puramente locales en la corteza terrestre.

En el capítulo sobre “Aclaración y conclusiones” lo que es discutible son las inferencias y los corolarios de la teoría. El que la Fosa de Atacama en Chile se deba en parte a una caída del sima adyacente por un hundimiento del margen continental debido a la fusión de los pliegues montañosos orientados hacia abajo y su transporte hacia el este por la deriva hacia el oeste del bloque, está en contra de que en los Andes haya habido más levantamiento que subsidencia desde su plegamiento. No se ha intentado explicar por qué una capa de sial que ocupase todo el globo, en otra época uniformemente delgada, se acumuló primero en una masa de tierra simple de mayor grosor solo en una parte del planeta, y luego empezó a separarse en fragmentos a la deriva. Uno se maravilla de por qué operaron solo a partir del Carbonífero Superior los procesos de desintegración. Las fuerzas evocadas por Wegener como explicación del desplazamiento diferencial estuvieron operativas tanto antes como después del Carbonífero.

A pesar de las objeciones que pueden plantearse a la teoría de la deriva continental, posee un alto grado de probabilidad y está apoyada por numerosas pruebas. En efecto, buena parte de la teoría de Wegener en lo que se refiere directamente al título de su libro, *El origen de los continentes y océanos*, podía aceptarse con razonable seguridad. Su ampliación para explicar la formación de las montañas, entra en un terreno incierto. Aquí, una vez más, encontramos dificultades desde el principio por el desacuerdo entre los observadores en cuanto a los hechos. Así, Wegener ve un viejo fondo del Océano Pacífico contra el que se ha encorvado el

continente americano en su deriva hacia el oeste. Daly, recientemente, en *Our Mobile Earth*, ve un viejo fondo del Océano Pacífico circundado por un cinturón montañoso a ambos lados, que representan los geosinclinales colapsados en los márgenes tanto de América como de Asia causados por el deslizamiento de los continentes en la cuenca oceánica. Si existe el cinturón montañoso de Daly en el Pacífico, la explicación de la deriva de Wegener es inadecuada. La misma dificultad existe para comprender la latitud del cinturón montañoso este-oeste, o mediterráneo, si es el resultado de una deriva de los continentes hacia el ecuador.

COMENTARIOS SOBRE LA HIPÓTESIS DE WEGENER

Edward W. Berry¹⁸⁹

Baltimore, Maryland

RESUMEN

Nos oponemos a la hipótesis de Wegener porque (1) el método que presenta no es científico, (2) no está apoyado por la geofísica, (3) se equivoca en la explicación de los climas geológicos, y (4) en su sentido paleontológico, crea más problemas de distribución de los que resuelve.

Coincido bastante con el Dr. Van der Gracht en que deberíamos considerar sin prejuicio las ideas de Wegener y de otros autores en lo que respecta a la deriva continental. Al mismo tiempo, me parece que no sería muy cauto, para una explicación verosímil de las causas desconocidas de los movimientos terrestres, que permitamos a nuestro entusiasmo atorar nuestro juicio dando demasiado por sentado lo que al fin y al cabo son hipótesis, y que ni siquiera merecen el término de teorías. Indudablemente tales hipótesis son de gran valor por lo que estimulan la discusión de problemas, pero habría que tener presente que la imaginación, por sí misma, nunca ha ensanchado los límites del conocimiento.

Mi principal objeción a la hipótesis de Wegener reside en su método^[54]. En mi opinión, este no es científico, sino que toma el rumbo corriente de una idea inicial, una búsqueda selectiva por la literatura de pruebas que la corroboren, e ignora la mayoría de los hechos que se oponen a la idea, para terminar en un estado de autointoxicación en el cual la idea subjetiva llega a considerarse como un hecho objetivo. Sin duda se reconocerá esta secuencia en las ejemplificaciones de varios representantes de la filosofía geológica americana.

La probable solidez de cualquier hipótesis o teoría es proporcional a los hechos verificados a partir de sus premisas, y en parte a los que concuerdan con cualquier clase de prueba colateral. Yo mantengo que los hechos de los geofísicos no proporcionan apoyo alguno a las ideas de Wegener, sin embargo ofrecen pocas refutaciones positivas de acuerdo con los puntos de vista de algunos estudiosos en este campo.

¹⁸⁹ Profesor de Paleontología, Johns Hopkins University.

Si las fuerzas centrífuga y mareal son las causas de la deriva occidental y de la rotación de las Américas, estas mismas fuerzas provocarían que Eurasia se moviera con mayor rapidez, puesto que la masa de esta última es mucho mayor; por lo tanto, nunca se podía haber producido el rift del Atlántico.

Se considera que las derivas polares postuladas son consecuencia directa del desplazamiento continental, pero los cambios implicados en relación con la masa son tan pequeños que resultan totalmente inadecuados para explicar su supuesto efecto.

Las observaciones geodésicas que se citan para mostrar los cambios de posición en la superficie de la Tierra, son extremadamente insignificantes y se deben probablemente a ligeros errores de observación, como en Groenlandia, o son discordantes, como en California, y en cualquier caso son de mucho menor orden de magnitud que los cambios conocidos en el interior de las masas continentales debidos al sobreempuje.

Yo cuestiono totalmente la validez del argumento basado en el modelo geográfico. Es inconcebible que masas de tamaño continental pudieran moverse sobre grandes arcos como estos y conservar intactos sus márgenes, ya sean costeros o continentales. Como en realidad no lo son, y las discrepancias observadas se explican como corrientes ascendentes en el frente, o por detrás, del continente que se mueve, y están tan cualificadas por los “sí” y los “y”, que resulta bastante inútil intentar una crítica detallada. Al mismo tiempo, si en consideración al argumento se concede la validez de este método, habría que observar, como puntualizó Henry S. Washington en 1923, en lo que hasta ahora sabemos de petrología, que las rocas de ambos lados del Atlántico están totalmente en contra de las ideas de Wegener, en lugar de ser favorables, incluso en la región del Atlántico Norte.

En mi opinión, la hipótesis yerra totalmente en la explicación de los climas geológicos. Obviamente Wegener no sabe qué climas geológicos eran semejantes, ni me parece que esté familiarizado con los hechos establecidos de la geología histórica, puesto que muchas de sus determinaciones de la edad son erróneas.

Tampoco considero que la hipótesis de Wegener pueda explicar la distribución de los organismos fósiles o recientes. La deriva continental, exactamente como en el caso de los supuestos puentes intercontinentales sobre áreas oceánicas que se apuntó para reemplazarlos, crea más problemas de distribución que los que resuelve. Esto es un tema bastante amplio y muy complicado como para intentar entrar en detalles incluso de una manera más sencilla. Como un simple ejemplo al azar de la clase de hechos discordantes, existen 34 géneros de plantas

terrestres, la mayoría de las cuales existen todavía, en el Eoceno inferior del sudeste de Norteamérica, que nunca se han encontrado en el Viejo Mundo, cuya invasión se habría producido sin dificultades si los continentes hubiesen estado en esa época en las posiciones que les asigna Wegener.

De la teoría de Joly, basada en los cambios radiactivos en la corteza terrestre, solo puedo decir que es altamente interesante. Por el momento no puede comprobarse o refutarse; por lo tanto, apenas se podría citar en confirmación de la hipótesis de Wegener.

De las declaraciones en la obra de Wegener en las que yo admitiría una excepción, incluyo su declaración de que las “inundaciones de los bloques continentales en general han disminuido gradualmente en el curso de la historia de la Tierra”. No son posibles medidas seguras de áreas de inundación, pero podríamos considerar la transgresión del Cretácico superior como más extensa que la del Precámbrico, por citar solo un caso, y podrían citarse otros. En total, yo negaría que la elevación de las montañas sea debida a fuerzas tangenciales, o que los Andes se construyeron sobre una plataforma continental. Si hay algo claro en la historia de los Andes es que son montañas de geosinclinal. El ejemplo de Wegener de inundación en el frente del polo Sur que se mueve, así como su elevación por detrás, no es correcto en el ejemplo sudamericano que él imagina.

Lamento que la brevedad haya necesitado declaraciones categóricas por mi parte, pero tengo la sensación de que es tan inútil discutir el interior de la Tierra hasta que tengamos más datos, como lo es intentar una prueba “científica” de una vida futura, o de la inspiración divina del Pentateuco.

OBSERVACIONES SOBRE LOS TRABAJOS PRESENTADOS POR LOS DEMÁS PARTICIPANTES EN EL SIMPOSIO

W.A.J.M. van Waterschoot van der Gracht

SUMARIO

La crítica que se ha expresado en este simposio está dirigida en su mayor parte en contra del concepto de deriva continental de Wegener. Los argumentos pueden dividirse principalmente en argumentos geofísicos sobre las posibilidades y explicación de la deriva, y argumentos geológicos y paleontológicos contra los hechos citados en apoyo de la deriva de Wegener y las consecuencias que se podrían esperar tuviese esta, tal y como expone el defensor de su teoría.

Un rasgo sobresaliente de este simposio es que la mayoría de esos participantes que atacan la teoría de Wegener, expresan por sí mismos que no se oponen fundamentalmente al concepto de algo semejante a una deriva intra- e intercontinental, incluso a gran escala. Este es un paso hacia adelante muy importante. Como dije en los comentarios finales de mi propio artículo, se necesitarán varias generaciones antes de que se resuelva de forma plausible este complejo problema, si es que se resuelve. Pero para aproximarnos a la verdad, es necesario cooperar. El carácter más gratificante de este simposio, en el que participan eminencias internacionales, es que tal cooperación parece ser mucho más estrecha, y que existe una mínima tendencia en resumidas cuentas a dejar de lado la idea de una deriva continental relevante como algo visionario, acientífico^[55] e imposible. Existen todavía grandes diferencias de opinión, pero nuestras mentes se han abierto algo más: hay menos empeño en diferir que en intentar resolver algo en que podamos estar de acuerdo; existe más colaboración constructiva para aproximarnos a la verdad.

RÉPLICAS A ALGUNAS DE LAS CONSIDERACIONES MÁS DESTACADAS

Las siguientes réplicas a los argumentos de los oponentes no quieren decir, en principio, que se defiendan las teorías de la deriva continental de Wegener o de otros autores. Su principal objetivo es mostrar que existen opiniones distintas, y que muchas de las objeciones no necesitan permanecer sin respuesta. Desde luego, algunas presentan dificultades reales. Muchas están basadas en un conocimiento aún muy limitado de los hechos, pero son útiles para el propósito de esti-

mular el progreso del pensamiento y la investigación. La crítica debería ser, ante todo, constructiva, y no debemos olvidar que el exceso de confianza, de una forma u otra, puede estar basado en la carencia de hechos suficientes, en errores conceptuales.

Los argumentos geofísicos han sido adelantados principalmente por Bailey Willis, Chester R. Longwell, Rollin T. Chamberlin, John Joly, J.T. Singewald, Jr., J.W. Gregory, G.A.F. Molengraaff y William Bowie.

Los argumentos *geológicos y paleontológicos* concretamente los han usado Charles Schuchert, R.T. Chamberlin, Bailey Willis, J.W. Gregory, E.W. Berry, G.A.F. Molengraaff y William Bowie.

También puntualiza Wegener la dificultad planteada por varios observadores americanos al considerar las tillitas, y subraya la necesidad de una conclusión más definitiva teniendo en cuenta la realidad de estas discrepancias paleoclimatológicas.

Los artículos del Profesor Schuchert y del Profesor Chamberlin dan una sinopsis completa, aunque breve, de las objeciones que pueden plantearse en contra de la teoría de la deriva y, como tales, son de particular valor en este simposio.

F.B. Taylor una vez más da una excelente descripción de su punto de vista sobre las causas de la deriva de los continentes, tal y como está concebida bajo su teoría.

Replicando primero a los principales argumentos geofísicos, puedo referirme en su mayor parte a mi propio artículo. Desafortunadamente, el tiempo solo permitió un discurso más abreviado de lo que en realidad habría pronunciado, y me impidió entrar en tantos detalles como preparé en el artículo para su publicación.

Desde luego, todos los oponentes están interesados en la suficiencia de las fuerzas que los defensores de la deriva usan en la explicación de los fenómenos por los que ellos abogan. Este punto estaba bien desarrollado en mi propio artículo. Todos admiten que esta es una dificultad bastante real, para la que aún no se ha ofrecido una respuesta satisfactoria. Incluso los hechos apuntan hacia una deriva marcadamente lateral. Schuchert lo establece claramente en la conclusión de sus observaciones. Las grandes Cordilleras Americanas, las cadenas Alpinas, y de una forma más notable la compresión Lemúrica de Asia, no pueden concebirse sin los desplazamientos laterales de una magnitud de 1.000 millas. Esto es menos de lo que estipula Wegener, pero es tan grande que si aquella es probable e incluso se admite, los otros también pueden tener lugar. Los defensores de los puentes intercontinentales también afrontan una dificultad que no solo no ha sido contes-

tada sino que parece definitivamente estar en contradicción con los fenómenos aceptados de la isostasia, a saber, la rotura y subsidencia hacia las profundidades oceánicas de áreas terrestres transoceánicas entre continentes. El Profesor Schuchert, “retrospectivamente”, confía en que “los geofísicos alguna vez encuentren la manera en que se produjo esto”. ¿No debemos expresar la confianza de que encuentren también la manera en que se realizó la deriva?^[56]

No podemos negar por más tiempo la realidad de una deriva relevante, aunque no es posible aceptar el plan de Wegener. Hace falta una explicación, pero no parece tan imposible físicamente como la subsidencia de los puentes intercontinentales, la única otra alternativa ofrecida hasta ahora.

Este problema se discute aún más en mis observaciones sobre el artículo del Dr. Bowie (sección 14).

1. La principal objeción del Dr. Willis está relacionada con *la compresión de los Andes en el frente occidental de las Américas*. Este autor no consigue ver la forma en que se pudo dar esta compresión, puesto que el sima es más rígido que el sial, e ilustra su punto de vista con el símil del intento de introducir un cincel de plomo dentro del acero.

Éste es un concepto erróneo frecuente en relación con las propiedades físicas de la materia que se aplican a este problema: una confusión de “*rigidez*” con “*rigidez residual*”, o “resistencia”. El sima tiene mayor “rigidez” que el sial, pero este último, en conjunto, posee una “resistencia” mayor. Es decir, tiene mayor resistencia frente a tensiones de larga duración. La definición de Daly y Jeffreys de “resistencia” es: “la capacidad para resistir permanentemente *la acción de una gran presión continuada*”. Sin embargo, la “rigidez” es la “resistencia *instantánea*, elástica, a la distorsión”. El que una sustancia sea “dura” o “blanda” como el acero o el plomo, no tiene nada que ver necesariamente con su “resistencia”. Buscando símiles, se podrían usar sustancias cuyas propiedades están más dentro de nuestro alcance, debido a que podemos manejarlas a temperatura ambiente, a presión ordinaria y a intervalos de tiempo. Me referiré de nuevo a la cera de abeja y al alquitrán. El alquitrán tiene gran “rigidez” (más viscosidad), pero una resistencia extremadamente pequeña, mientras que la cera de abeja posee poca rigidez, pero una resistencia considerable. Podemos introducir perfectamente bien un cincel de cera de abeja blanda en un bloque de alquitrán duro, *a condición de que empujemos nuestro cincel con suficiente lentitud*. Esto es lo que sucede tanto en el ajuste isostático como en el frente del continente que flota sobre el sima. Si se movió con bastante lentitud, posiblemente no se necesitaría comprimir en todo el frente. Sin embargo, la compresión existe. Es probable que esté causada por la gran rigidez de la corteza superior de sima, el fondo oceánico, comparado con sus capas más profundas. Des-

de luego, el sima también se deforma, pero no conserva su deformación permanentemente como lo hace el sial. Se comporta como el alquitrán. Las figuras modeladas a partir del alquitrán no perdurarán, sino que fluyen una vez más deshaciéndose, mientras que las figuras modeladas a partir de la cera de abeja sí lo harán; se ha comprobado que duran siglos. Todo el argumento del Dr. Willis está basado en su confusión de estas propiedades físicas.

Estas observaciones se aplican también a la objeción del Dr. Bowie, que es exactamente la contraria. Este no concede resistencia alguna a todo el sima; por lo tanto, no comprende de qué forma se podría plegar el frente de las masas continentales. En mi opinión, la explicación reside en la considerable resistencia de la corteza superior del sima del fondo oceánico, una resistencia que está ausente bajo las masas de sial. (Véase la sección 14).

El Dr. Willis dice más adelante:

¿Cómo es que la masa continental más ligera es atraída hacia adelante por una fuerza menor a través de la masa suboceánica más densa, que permanece inmóvil bajo una atracción más fuerte?

El sima necesariamente no permanece inmóvil bajo una intensa atracción. ¿Todo el proceso, posiblemente, no es más parecido al hielo que flota sobre el agua que fluye (“corrientes subcorticales” de Ampferer), que a una balsa que navega sobre un charco sin corrientes? No lo sabemos: ambos procesos pueden estar presentes, especialmente si el Dr. Joly tiene razón. Las mareas acuosas podrían retardar la velocidad rotacional de la corteza, empujando los témpanos de sial hacia el oeste, mientras que las mareas en un sima periódicamente fluido también retardarían la esfera de sima, y causarían una corriente submarina con tendencia hacia el oeste. La primera atracción actuaría siempre, la última solo periódicamente, pero al mismo tiempo la movilidad de los témpanos de sial bajo la atracción de las mareas oceánicas sería mucho mayor cuando el sima está fluido que cuando está solidificado. Además existen las atracciones precesionales y las centrífugas. Esto es tremendamente complicado. Probablemente actúan otras fuerzas, de las que aún no tenemos conocimiento.

Finalmente, el Dr. Willis utiliza el argumento de la menor resistencia a la tensión de las rocas, comparada con su resistencia al aplastamiento. Todo esto se refiere exclusivamente a experimentos de laboratorio con tensiones de corta duración, que afectan a la rigidez; no a tensiones de larga duración, que afectan a la resistencia. Las consideraciones del Dr. Willis pueden aplicarse perfectamente a las capas superiores fuertemente enfriadas del fondo oceánico, pero no a las principales masas de sima, más profundas, situadas bajo el sial de los continentes, o

subyacente a la corteza externa de sima bajo los océanos. Debemos observar menos los experimentos con muestras de rocas en nuestros laboratorios que lo que vemos en el laboratorio de la naturaleza *cuando se mantiene el equilibrio isostático*.

2. El Dr. Willis formula también una objeción, basada *en las pruebas de una ligera compresión, más que tensión, sobre la costa del Atlántico oriental de Norteamérica y Sudamérica*. Existe, como ahora parece estar todo el mundo de acuerdo, una diferencia intrínseca entre el fondo oceánico del Pacífico y el del Atlántico. Si esta diferencia intrínseca no existiera, la objeción del Dr. Willis sería perfectamente correcta. Sin embargo, la sismología, así como la isostasia, marcan con amplitud esta diferencia. Los sismólogos llegan a la conclusión de que debe existir abundante sial en el fondo del Atlántico. Incluso Gutenberg representa estas grandes cifras como una corteza de sial de un espesor medio de entre 20 y 30 km. La duda sobre este gran espesor es considerable, pero *existe* una marcada diferencia sísmica. También se da una compensación isostática en las costas del Atlántico, mientras que esto no ocurre en las costas tipo Pacífico, en especial en las costas continentales del Pacífico *oriental*. Esto se refiere concretamente a los litorales de Asia y Nueva Zelanda, así como a la costa este de África.

Todo esto está en relación evidentemente con el hecho de que las costas orientales de las dos Américas no muestran tanta tensión como se debería esperar. Es cierto que el problema no está carente de dificultades. Fue mi intención, en mi propio artículo, no hacer mucha presión sobre el argumento de Wegener de que los contornos de las costas americanas se acoplan bastante bien a las de Europa, y particularmente de África. (Esto también se relaciona con el argumento del Dr. Schuchert y otros). *Si existe tanto sial en el fondo del Atlántico, habría que preguntarse de dónde procede este material*. Si los continentes se acoplan perfectamente a ambos lados del rift, no podría haber llegado desde los litorales. Una posible solución es que hubiese tenido lugar una enorme expansión plástica ya antes de que se rompiera realmente la corteza superior. Argand pone un enorme énfasis en la probabilidad de que las compensaciones del sial inferior, debilitado, quedaría retrasado en mayor grado que el material situado por encima de la corteza. Posiblemente la curiosa constitución, aún dudosa, del fondo del Atlántico, puede explicarse si aceptamos que allí no tenemos una delgada corteza de sial, sino una mezcla de sial, en su mayor parte impregnada íntimamente por material básico. Podríamos esperar tal mezcla en las capas más profundas de las masas continentales. En mi opinión, existe poca prueba de un extenso rift antes del Carbonífero, quizás un Atlántico ancestral, cerrado de nuevo por el diastrofismo caledoniano. Ahora debemos encontrar, en nuestro actual Atlántico, las viejas compensaciones profundas de las antiguas montañas caledonianas, levantadas hasta la cima del

fondo oceánico, pero no de sial puro ni lo bastante ligero como para flotar hacia arriba y emerger sobre el nivel del mar como las grandes islas atlánticas, que son verdaderas piezas de la corteza externa de los continentes (Esto se amplía en las secciones 4 y 11).

Existe alguna dificultad con el fondo del Atlántico. Espero que las determinaciones gravimétricas submarinas de Vening Meinesz, y los sondeos sínicos mucho más detallados del Servicio Geodésico y Costero de los Estados Unidos, nos aporten lo antes posible más datos adicionales que necesitamos urgentemente.

Estas observaciones se aplican también a algunos de los argumentos ofrecidos por Molengraaff, Gregory, Berry y Longwell, y en particular al interesante ataque de Schuchert sobre el “acople perfecto” de Wegener.

3. En su punto undécimo, el Dr. Chamberlin cae en la misma confusión que yo consideré una excepción en la discusión del artículo del Dr. Willis. Consecuentemente, debo remitirme a mis comentarios anteriores. El argumento principal del Dr. Chamberlin es que las rocas oceánicas “débiles” habrían de localizarse dentro de la mayoría de los pliegues del globo. Pero, mientras que el sima es más *rígido* que el sial, este último es *más resistente*. Esta es la razón por la que el *sial está plegado y conserva su forma mucho más estable*. Naturalmente, el sima también está perturbado, en concreto la corteza suboceánica más rígida (Pacífico oeste y otras fosas). La corteza suboceánica más externa de sima debe haberse plegado, pero su material conserva su forma menos estable, y en consecuencia sus pliegues deben ser ahora menos llamativos, incluso si no estuvieran en su mayor parte enterrados bajo el océano y los últimos sedimentos, depositados sobre la plataforma continental. En consecuencia, el sial menos rígido es el que muestra los pliegues principales y permanentes, así como las fallas. Este problema puede explicarse por los argumentos adicionales en el artículo del Dr. Singewald, al que hago referencia aquí. También me refiero a mi contestación al Dr. Bowie, sección 14. Esta misma distinción entre las características del sial y el sima responden al punto decimosegundo del Dr. Chamberlin. Desde luego, la peniplanación afecta solo a la superficie del sial, que tiene resistencia y la forma más estable.

4. El Dr. Schuchert y el Dr. Chamberlin atacan a Wegener por limitar sus argumentos y su análisis de la deriva continental a la historia geológica reciente. En lugar de secundarles en esto, creo que deberíamos alabar el método de Wegener por no conducirnos a una discusión de las condiciones en períodos geológicos muy remotos, ya que tenemos tan pocos hechos y tan pocas pruebas fiables de naturaleza regional amplia. En sus escritos, así como en su obra sobre el clima

geológico, publicado en cooperación con el Dr. Köppen, Wegener subraya la necesidad de limitar un análisis algo detallado a los períodos que comienzan a finales del Paleozoico.

Esto no significa, como parece asumir en concreto el Dr. Chamberlin, que los que se adhieran a la teoría de la deriva deberían creer que esta estuvo limitada a la historia geológica muy tardía, y que todos los continentes permanecieron unidos en una masa única durante todo el tiempo geológico, para romperse en fragmentos solo muy recientemente. El Dr. Singewald plantea la misma objeción, al igual que el Dr. White. El Dr. Schuchert apunta al curioso hecho de que una deriva así se habría limitado en su mayor parte al período entre los diastrofismos del Permo–Carbonífero y del Terciario, un área de tranquilidad particularmente pronunciada en la historia de la Tierra, desprovista de diastrofismos mayores e incluso de actividad volcánica muy intensa. *Sin embargo, sigue siendo posible la deriva continental en el viejo Paleozoico o más antigua, pero simplemente no fue discutida en detalle por Wegener, debido a que los hechos relevantes son bastante poco conocidos.*

Personalmente me inclino a creer que un sial, originalmente universal, se amontonó en núcleos *en época precámbrica muy remota*, que más tarde coalescieron en una simple Pangea, pero no lo sostengo del todo, y tampoco pienso que Wegener crea que este continente ancestral hubiera permanecido sin deriva y sin fracturación de una forma importante hasta después del Jurásico. La enorme cantidad de pliegues primitivos prueban suficientemente lo contrario. También coincido con el Dr. Chamberlin en que el desarrollo del diseño de los continentes actuales es muy primitivo, concretamente del Precámbrico. Mencioné antes que existen indicios de que, ya en las primeras etapas a principios del Paleozoico, debió existir un enorme rift, que ocupó aproximadamente la posición del actual Atlántico. Es muy posible que esta área geosinclinal debió haber sido de mucha mayor importancia que un mero geosinclinal epicontinental. Tuvo que ser una especie de Atlántico paleozoico, que, como puntualicé antes, en su mayor parte fue cerrado por el diastrofismo caledoniano, cuyas huellas encontramos ahora a cada lado del actual rift atlántico, incluyendo las cadenas saharianas africanas. Esta vieja línea de debilidad paleozoica (que debe haber estado precedida por líneas todavía más primitivas) debió tener mucho que ver con el proceso que, una vez más, desgastó y abrió el actual Atlántico en el Mesozoico. Es muy posible que este rift sea muy viejo, y en consecuencia puede ser bastante admisible, como dio a conocer el Dr. Chamberlin, para explicar las cadenas montañosas anteriores al Cretácico a ambos lados del Atlántico por esta vieja línea de debilidad. Desde luego, esto presentaría estas montañas en estrecha relación con los actuales litorales del Atlántico. Esto también contesta a gran parte de los argumentos del Profesor Schuchert (los pliegues

montañosos de Piedmont, y el gran geosinclinal “Franciscano” más o menos norte-sur a lo largo de la costa este de Sudamérica).

El plegamiento póstumo también tiene alguna relación con esto, pero debo observar aquí (punto 4 del Dr. Chamberlin) que, como habría de esperarse, este plegamiento póstumo es mucho más pronunciado a lo largo de las costas pacíficas que de las atlánticas, donde, después de los pliegues de los Apalaches, y en menor medida el pliegue Pérmico en Brasil, casi es ínfimo, y donde parece ser que los ajustes se deben en su mayor parte a la isostasia.

A pesar de la posibilidad de fracturación y deriva de finales del Proterozoico y principios del Paleozoico, evidentemente la Pangea ancestral finalizó su estructura en el Precámbrico, a lo largo de líneas que nos vemos forzados a considerar globalmente, a pesar de los rifts atlánticos, tanto el actual como otro posiblemente más primitivo. Esto lo pudo demostrar E. Argand¹⁹⁰ en su análisis de la vieja estructura regional y las posibles virgaciones Precámbricas del antiguo Gondwana, antes de la separación de Sudamérica de África.

5. Las observaciones previas también se refieren ampliamente a las objeciones del Profesor Longwell. Este da un excelente análisis sin prejuicios del problema, y al igual que el Dr. Schuchert, destaca, en concreto, *el acople imperfecto*.

No puede tomarse con seriedad el símil de Longwell y Lake sobre el hecho de que los contornos de Australia podrían hacerse encajar en las costas del Mar Árabe, porque no existen las más remotas semejanzas estructurales o geológicas. La más seria de sus objeciones tiene que ver con la identidad geológica de las orillas opuestas del Atlántico. También el Dr. Chamberlin menciona el ajuste erróneo (punto 9), como indica, con una cierta amplitud, el Dr. Molengraaff. (Véase la sección 10).

Sin embargo, la principal dificultad de Longwell es que no puede abrigarse la idea del gran desplazamiento como una probabilidad desde el punto de vista geofísico, porque *no ofrece explicación verosímil alguna de los mecanismos implicados*. Insistiré sobre este punto. La objeción es seria y todavía sigue vigente, a menos que el razonamiento de Joly resista la última prueba. Sin embargo, los grandes mantos de corrimiento aún resisten una objeción similar, y todavía existen. Como sugiere Schuchert, ¡deberíamos referirnos a la defensa de Galileo! Nuestro conocimiento debe mejorar mucho antes de que podamos explicar todo lo que quisiéramos.

6. El Profesor Berry no es favorable a la concepción de Wegener; prefiere las hipótesis más viejas de los puentes intercontinentales y la subsidencia (1922). Tie-

¹⁹⁰ É. Argand, *Tectonique de l'Asie*, Brussels, 1922, p. 337, fig. 6.

ne una dificultad particular con el acople, y establece de forma correcta que posiblemente el modelo geográfico no se conservaría con tanta exactitud de forma comparada en delgadas masas de dimensiones continentales, en su deriva a lo largo de tales distancias.

Otra dificultad que señala Berry es la cuestión de por qué el impulso mareal podría mover la gran masa de Eurasia con mayor lentitud que la masa más pequeña de América; debería ser al contrario, en cuyo caso no existiría el rift del Atlántico. Las fuerzas centrífuga y mareal influirían sobre la mayoría de las masas más grandes. El Dr. Bowie plantea la misma cuestión.

Si no aceptáramos que la deriva intercontinental estuvo limitada con posterioridad al Paleozoico, la dificultad perdería mucho de su peso. En mi opinión, parece haber existido un cambio considerable, e incluso inverso, en la deriva *relativa*. Quizás la profundidad de las compensaciones, que variaron en relación al plegamiento y la erosión, tuvieron algo que ver con esto, en particular si Joly tiene razón. Argand¹⁹¹ defiende inversiones muy considerables de la deriva hacia el ecuador para la región Tética en su evolución de los Alpes y el Mediterráneo actual. El Dr. Gregory también recalca esto en su artículo. Yo también hago referencia en mi respuesta a Bowie (sección 14).

Desde luego, coincido plenamente con Berry en que la principal dificultad en todo este tema es que sabemos extremadamente poco de todo lo que se discute aquí, y que esto hace muy difícil la crítica pormenorizada. Por esta razón no deberíamos ir mucho más allá del detalle, que en realidad es “inútil”, sino intentar fijar las líneas de prueba más importantes. Necesitamos este detalle; no solo es útil sino necesario, pero no podemos sacar conclusiones definitivas antes de que llegue a estar correlacionado y establecido con suficiente certeza.

7. Yo sé que el Profesor Molengraaff se inclina de un modo favorable hacia la idea de la deriva continental, sin secundar necesariamente a Wegener en todos los aspectos. Tiene dificultades con la concepción de una *deriva hacia el oeste* casi en exclusiva, tal y como subraya de acuerdo con la idea del Dr. Joly.

Creo que la deriva hacia el oeste fue el movimiento posiblemente más mencionado y discutido en los argumentos que conciernen a la deriva de Wegener. También lo es la deriva que sería el resultado principal de los argumentos de Joly. Pero asimismo debemos considerar el ajuste de las masas hacia el ecuador, además de, muy posiblemente, algunas tensiones causadas por la contracción. Más aún, debe existir un flujo plástico externo de las masas continentales interiores ha-

¹⁹¹ É. Argand, *op. cit.*, figs. 22–25, p. 357–59.

cia sus márgenes, más o menos, aunque no exclusivamente, en el sentido de las ideas de Suess y Daly.

Todavía existe otra tensión externa al movimiento, probablemente de una magnitud lo suficientemente lenta como para vencer la resistencia elástica del sial. Esta fuerza en concreto sería muy pronunciada sobre las costas oceánicas, donde se da un cambio brusco entre las condiciones continentales y oceánicas, como revelan las ondas sísmicas. Wegener menciona esto en las páginas 176 y 177 de su libro. Resumimos estas condiciones en la siguiente tabla, tal como lo expresó:

MAYOR PRESIÓN EN LOS BLOQUES CONTINENTALES QUE BAJO
LOS FONDOS OCEÁNICOS

Océanos (atmósferas)	Continentes (atmósferas)	Profundidad (o altitud) en m	Exceso de presión en los continentes en atmósferas
	0	100	0
0	38	0	28
470	1.330	-4.700	860
27.000	27.000	-100.000	0

A 100 km se acepta el equilibrio isostático, de ahí que sus presiones sean iguales, pero a 4.700 m, por lo tanto sobre el fondo del Pacífico o cerca de él (profundidad media 4.028 m), existe un exceso de presión de 860 atmósferas en los bloques continentales.

Esto conduce a que el borde del bloque de sial continental tienda a deslizarse dentro del océano. La sobrecarga marginal por depósitos de la plataforma o por las cadenas montañosas marginales incrementaría esta tendencia, y forzaría al margen continental a penetrar aún más en el océano.

Una deriva general hacia el oeste, en el sentido de Joly, no excluye una aparente deriva *relativa* hacia el este en la parte de Madagascar, Australia y Nueva Zelanda. Todos estos movimientos son relativos. No parece probable que África haya permanecido en su lugar; esto es solo una suposición de Wegener. Todo debe haber derivado principalmente hacia el oeste y hacia el ecuador, pero con una tasa diferente, dejando rezagado un témpano continental al otro. Si tiene razón, Joly postula una deriva hacia el oeste *absoluta* mucho mayor de *toda* la corteza de lo que podría explicar el desplazamiento *relativo* de los continentes.

Si no pudiéramos aceptar el cambio real del eje de rotación de la Tierra, el Profesor Molengraaff debe también tener presente que *debemos dejar que África de-*

rive, principalmente hacia oeste, así como hacia el ecuador, porque el movimiento de los polos es en su mayor parte hacia el este y también lejos del actual ecuador. En realidad tenemos pruebas de que esto tuvo lugar, y se generaron las tensiones que podríamos esperar, debido a que la deriva hacia el oeste está indicada por la carencia de compensación sobre la costa oriental de África, así como por el gran rift africano. Esto último sugiere con firmeza la tensión de un carácter similar al que produjo los festones insulares oceánicos sobre la costa este de Asia y provocó que Nueva Zelanda se desprendiera de Australia. No es imposible que el rift africano, tan relacionado con su costa oriental y de edad tan reciente (en su mayor parte del Pleistoceno inferior), sea el comienzo de un fenómeno similar al que causó los festones insulares y el desprendimiento de Nueva Zelanda.

8. Esto nos lleva a la objeción del Dr. Chamberlin (punto 6) en relación con el plegamiento paleozoico de Australia, ya contestada en mi introducción. Esto no contradice a Wegener. La cordillera *frontal* de la Pangea, los Andes en su sentido más amplio, atravesaría lo que ahora es la Antártida, la *costa este* de la actual Australia, y finalmente Nueva Zelanda y Nueva Guinea, que en principio estuvieron unidas todavía en Australia. Cuando se formaron las cadenas montañosas paleozoicas de Australia oriental, este lado de dicho continente era frontal, separándose a la deriva del (entonces) polo Sur¹⁹². Los pliegues jurásicos de los Andes australianos no eran más largos en la tierra australiana, pero sí en lo que llegó a ser luego Nueva Zelanda. Los pliegues larámicos naturalmente están ausentes, debido a que por este tiempo el movimiento se invirtió o al menos llegó a estacionarse. La deriva hacia el oeste fue tomando posesión de estas regiones, con lo que Nueva Zelanda quedó aislada de Australia en el Cretácico. Esta inversión se hace más evidente aún si intentamos explicar la migración del polo Sur por la deriva, y no por el desplazamiento del eje. En consecuencia, no existió causa alguna para la presión frontal larámica. Sin embargo, los pliegues alpinos ciertamente están presentes en Nueva Guinea, y originaron la actual gran cadena de montañas de nieves perpetuas. Posiblemente continúan sobre la gran plataforma australiana oriental, al oeste de las depresiones de Kermadec y Tonga. Las Islas Salomón, Nueva Caledonia, y quizás también el grupo de las Fiji, debieron estar conectadas con dichas cadenas en el mar de plataforma. Esto estaría de acuerdo con el plan, concretamente para Nueva Guinea, que se mueve de forma activa hacia el ecuador, en dirección norte y noroeste, y es frontal. (Este análisis de la deriva está mucho en la línea de Taylor).

¹⁹² Compárense mis observaciones sobre el artículo del Dr. Bowie, sección 14.

9. En el punto 7 el Dr. Chamberlin se maravilla de dónde situaría Wegener los pliegues pleistocénicos, que podrían generarse de la deriva de Norteamérica. Siento que el Dr. Chamberlin usase un mapa Mercator más que un globo; esto es más engañoso en el caso de la deriva continental a altas latitudes, y en el pasado fue ya argumentado por otros autores. El uso del globo muestra que Norteamérica no derivó hacia el oeste como un bloque, sino que *rotó* alrededor de un punto situado en algún lugar de Alaska. Consecuentemente, los pliegues alpinos y otras cordilleras aún más tardías deben haberse expresado con más intensidad a lo largo de las costas pacíficas (California). Este es el verdadero caso. La anchura de la plataforma también se reduce allí de forma considerable, pero se hace mucho más ancha más al norte. Este escenario está de acuerdo con la teoría de Wegener, en cuanto a que implica la deriva relativa entre Norteamérica y Europa. No obstante, el cambio geográfico del polo requiere una deriva adicional en dirección sur y oeste tanto de Norteamérica como de Eurasia: esto puede explicar la gran presión en las Rocosas canadienses en el Eoceno superior, y la desviación general de la cordillera al oeste de Alaska (Taylor).

10. El Profesor Molengraaff también menciona *el rumbo de los Apalaches*, en conexión con sus dificultades al considerar la deriva hacia el oeste. No debemos olvidar que si, como en mi opinión es extremadamente probable, ha cambiado el mapa de forma considerable sobre los polos, lo que en la actualidad es norte, no lo fue siempre así. Me refiero de nuevo al mapa de Köppen–Wegener de los continentes y de la distribución de los climas en el Carbonífero. Si este mapa es correcto, es evidente que a los Apalaches americanos *le correspondió un rumbo casi hacia el este en ese período, lo que hizo de ellos una auténtica cadena ecuatorial, bastante de acuerdo con la mayor parte de los Altaides euroasiáticos*. El Profesor Schuchert llama nuestra atención al hecho de que, en el sistema montañoso a lo largo de la costa atlántica americana, existe mucha más conexión con Europa en estas cadenas que son de edad Caledoniana, que en los pliegues Permo–Carboníferos. Este autor niega cualquier continuidad de los Hercinianos y los Apalaches.

El rumbo de las montañas sudafricanas es más que un rompecabezas. Considerándolas unidas a las Sierras de la Patagonia noroccidental, forman un arco convexo hacia el sur en África, pero gradualmente con dirección norte en Sudamérica. Schuchert discute con todo detalle las semejanzas y, en su opinión, aún mayores discrepancias, entre la estructura de las montañas de Sudáfrica y las Sierras sudamericanas. En su opinión, la semejanza está limitada a la orogenia a finales del Proterozoico. Estas montañas no están en concreto sobre el margen de la vieja Pangea. Esta tensión marginal afectó a las montañas del PermoCarbonífero de Australia oriental, y los antiguos núcleos en los Andes sudamericanos, proba-

blemente también alrededor de la Antártida. Las montañas sudafricanas y las Sierras patagónicas se parecen más a una cadena intracontinental. Argand¹⁹³ las incluye en sus “virgaciones del viejo Gondwana”. Obviamente esta región requiere de un amplio estudio en relación con nuestro problema.

11. Me inclino en coincidir totalmente con el Profesor Molengraaff en que la dorsal mesoatlántica, con su gran anomalía positiva en un océano por regla general compensado, sea posiblemente el rift primario sobre el que actualmente se amontona en grandes cantidades el sima basáltico. La mayor parte de esta dorsal debe ser sima, no sial, pero los bloques de sial aislados son bastante comunes en las islas a lo largo de la dorsal. ¿Son aquéllos piezas de los antiguos bordes del rift ancestral? (Aquí discrepo con Wegener.)

12. Había sacado la impresión del libro del Dr. Joly de que este se oponía más a la deriva intercontinental (a la que yo consideraba casi una necesidad si sus deducciones eran, por otra parte, correctas). Me agradó ver a partir de su artículo que dicha impresión era errónea. Desde luego, sabemos que en las deducciones de Joly también existe base para el argumento¹⁹⁴.

Recalco, en concreto, el razonamiento de Joly de que una fuerza que comprimiese el lado occidental de Norteamérica y Sudamérica (en varios períodos), dentro del enorme complejo actual de los Andes, también podría cambiar estos continentes en su conjunto, probaba que existió la desigualdad suficiente de empujes en los márgenes continentales opuestos. Desde luego, el gran problema continúa: ¿de dónde procedían estas fuerzas? Aquí Joly ofreció la mejor explicación disponible por el momento, aunque no debe ser todavía definitiva.

13. El Dr. Gregory no tiene *a priori* objeciones hacia la hipótesis de la deriva, pero cree, en principio, que la distribución de los océanos y continentes se debe más a movimientos *verticales* que laterales de la corteza. En última instancia deberían ser el resultado del ajuste de la corteza sobre un interior que se encoge. Gregory menciona la disposición tetraédrica de la tierra y el agua. La alteración de los períodos de reposo cortical y de revolución deben explicarse por otros procesos que los sugeridos por Joly, por ejemplo la lenta subsidencia de grandes áreas de la corteza debido a la contracción del interior. Incluso menciona la teoría de Darwin del origen de los atolones por subsidencia de un gran continente del Pacífico.

Muchos de los argumentos de Gregory ya han sido contestados en el texto de mi artículo. Yo no puedo entender de qué forma estos movimientos verticales

¹⁹³ É. Argand, *op. cit.*, fig. 6.

¹⁹⁴ Véase el artículo del Dr. Gregory.

podrían causar las grandes cadenas montañosas y su medida de compresión aceptada en la actualidad. Esto se aplica no solo a las cadenas plegadas, sino también a las fallas normales y altiplanicies, que pueden explicarse por deformación principal, por empuje lateral de toda la masa de sial, con la fracturación del escudo externo (el "*plis de fond*"¹⁹⁵ de Argand). Esto también se encuentra en las objeciones del Dr. Bowie. En apariencia estos movimientos verticales probablemente no son sino la expresión del empuje lateral, parcialmente disuelto en los componentes verticales (las cuñas de Chamberlin). Sin embargo, parecería que Gregory tiene en cuenta un cierto deslizamiento de las masas continentales lejos de las protuberancias en la superficie terrestre, bien parcialmente (Suess y Argand), o en el sentido de Daly. En realidad, este debe ser en parte el caso, como mencioné en la breve discusión de la teoría de Daly; en concreto debe haber ocurrido en el gran geosinclinal tético, y ofrece alguna explicación para los enormes mantos de corrimiento de las montañas alpinas. No obstante, apenas explicaría la compresión lemurica de Asia y la deriva resultante del bloque índico, a menos que consideremos que este último, y no África, permaneció más o menos inmóvil. Probablemente este sea un cuadro mucho más correcto.

Admito totalmente que *no todas las islas oceánicas son sima puro*. Dije en mi artículo, así como en mi réplica al Dr. Molengraaff, que debería existir sial en muchas de ellas, en vista de su aparente equilibrio isostático. Cuando hablé de islas de sima, mencioné las "verdaderamente oceánicas", lo que no significa tanto las que eran oceánicas geográficamente, sino usando el término como una característica física, en el sentido de que fueran aparentemente todo sima, masas de material volcánico básico amontonado sobre el desnudo fondo de sima del océano, y en consecuencia con una gran anomalía positiva. En vista de la menor resistencia del sima, desde luego tales islas no pueden ser tan permanentes como las islas de sial. Varios hechos parecen sugerir que continuamente sufren subsidencia, cuando no se rehacen por nuevas efusiones de basaltos, o se mantienen cerca de la superficie por la actividad de organismos recifales.

Posiblemente no puedo estar de acuerdo con la suposición de la subsidencia de una gran masa de Tierra en lo que ahora es el Pacífico. La mejor explicación de la barrera de arrecifes y atolones, en mi opinión, la ha dado Molengraaff¹⁹⁵. Esto está de acuerdo con la isostasia y la plasticidad del sima; sería inconcebible una masa terrestre hundida en el Pacífico.

14. En este simposio y en otros foros se expresan numerosos argumentos en el sentido de que la corteza es bastante rígida para permitir una deriva de las ma-

¹⁹⁵ *The Coral Reef Problem and Isostasy*, Amsterdam, 1916. Un artículo muy notable.

sas de sial. El Dr. Bowie muestra con claridad la diferencia entre rigidez y resistencia. La corteza terrestre es en su totalidad lo suficientemente débil para que se mantenga en equilibrio isostático por la constante acción de la gravedad, pero en conjunto es sólida para tensiones de corta duración. Bowie mantiene que la Tierra, considerada en su conjunto, posee una rigidez pequeña o no residual (“resistencia”) debida a que las desviaciones del geoide a partir de la superficie esferoidal probablemente no son en ninguna parte mayores de 100 m. Incluso el Dr. Bowie es, si no, tan consciente como cualquiera de la grave dificultad que entraña el que las fuerzas que se defienden como causa para la deriva sean excesivamente pequeñas.

Bowie plantea dos dificultades principales respecto de la concepción de Wegener, además de la objeción bastante general a su idea de que el eje real de rotación terrestre podría cambiar materialmente su dirección en el espacio.

(a) Si tenemos un sima bajo los océanos, prácticamente desprovisto de fuerza, ¿cómo podemos explicar que los terremotos más intensos se produzcan bajo los océanos; por qué existe un relieve tan enorme en el fondo oceánico, en lugar de estar dicho fondo tan nivelado como un banco de arena; y, finalmente, por qué ofrece el sima tanta resistencia a la deriva de los continentes de sial para plegar sus bordes frontales en montañas como los Andes?

Me parece que la respuesta a dichas cuestiones es esta: el sima, considerado *globalmente*, tiene verdaderamente una rigidez residual o resistencia pequeña, pero bajo los fríos océanos (por lo general a 0°C), existe una corteza de gran resistencia. Este sima cortical superior está ausente bajo los continentes. Es esta la corteza inmensamente “más fuerte” del fondo oceánico, la cual mantiene *temporalmente* el relieve del fondo, o acumula tensiones que son desencadenadas por los terremotos, y arruga el frente de los continentes. En el concepto de Joly, esta corteza suboceánica de sima varía periódicamente de espesor. No sería lo bastante resistente como para detener la deriva, probablemente nunca alcance la resistencia de los materiales siálicos, pero su rigidez residual bastaría para explicar los efectos a los que considera excepciones el Dr. Bowie. Su inestabilidad, comparada con el sial, explica la frecuencia de este efecto.

(b) Para Bowie es difícil de entender que casi todas las masas flotantes de sial (continentes) de Wegener se encuentren en el hemisferio norte. El sial debería distribuirse en anillos a lo largo de la zona ecuatorial; esto habría ocurrido muy tempranamente en el tiempo geológico. Si existe una fuerza que origine la deriva de las masas hacia el ecuador, ¿cómo podría derivar la mayor parte de Sudamérica y toda la Antártida más allá del ecuador, en lugar de, como mucho, llegar hasta él?

El que las masas continentales se concentren en su mayor parte en el hemisferio norte es válido solo para el período actual y la última mitad del Terciario. En la concepción de Wegener, el Pacífico septentrional se situaba sobre el polo Norte hasta finales del Terciario. De forma similar, el polo Sur estaba cerca del actual Cabo de Buena Esperanza. El ecuador dividía entonces Pangea con bastante equidad, lo que dejaba la misma cantidad de área continental en cada hemisferio. Antes del período Terciario, y concretamente en el Permo–Carbonífero, existió un claro exceso de sial cerca del polo Sur. ¿No fue este exceso el que causó la compresión de las cadenas montañosas del Permo–Carbonífero, *a lo largo de todo el ecuador (en esa época)*, lo que indica en gran parte una mayor presión desde el sur (en ese período)? Después del Jurásico, la principal masa de Pangea se fracturó. Los rifts primitivos se originaron todos alrededor del polo Sur (en aquella época): las masas de Sudamérica, África, India y Serindia se movieron desde este polo, lo que provocó desde entonces la apertura de los océanos Atlántico sur e Índico. Solo la Antártida, por alguna oscura razón, permaneció anclada y más o menos polar de forma constante; las demás masas continentales se movieron gradualmente hacia el ecuador. En el Mioceno (siempre siguiendo los mapas de Wegener), el ecuador cruzó Sudamérica septentrional, África central, y Malasia, en lugar de los Estados Unidos sudorientales, Europa central y el norte de China en el Permo–Carbonífero. Esto solo se lograría por el empuje de las masas en el hemisferio septentrional hacia y sobre el polo Norte. ¿Cómo pudo ocurrir esto en contra de la dirección de las fuerzas que habrían prevalecido allí? Este es el auténtico problema, más grave de lo que planteó Bowie. La única razón parece ser el gran exceso de continente en el hemisferio sur.

Las condiciones se invirtieron a fondo en el Plioceno y en el Cuaternario inferior: de acuerdo con los mapas de Wegener, existió aún un mayor exceso de masas continentales en el hemisferio norte que ahora. Entonces la deriva se hizo más prominente en el hemisferio norte y se ensacharon los océanos Atlántico Norte y Ártico. Un poco antes del Terciario las masas septentrionales comenzaron una deriva muy activa desde el polo Norte: la deriva de Taylor, causante de las grandes cadenas terciarias, se limita casi por completo al hemisferio norte. El ajuste aún está lejos de completarse, y todavía continuaría. En California tenemos la clara prueba de una tendencia actual para la deriva hacia el sur del continente en relación al Pacífico. Probablemente podríamos encontrar movimientos similares por todas partes, si tuviésemos los datos precisos que poseemos para las fallas del gran rift de California.

El esquema anterior, *en líneas muy generales*, parece razonable. Desde luego, debemos esperar bastantes detalles en conflicto. Los sucesos reales deben haber sido tremendamente complejos.

Los mapas de Köppen–Wegener no solo muestran estos ajustes entre los dos hemisferios, sino también una tendencia hacia una mejor distribución de las masas continentales a lo largo de todo el anillo ecuatorial de lo que fue en el caso de la antigua Pangea. Esto también se ajusta a la concepción de Bowie.

Parecería, por lo tanto, como si, verdaderamente, el esquema de Wegener concordase bastante con lo que habríamos de esperar que ocurriese, de acuerdo con Bowie. La principal dificultad permanece: ¿cómo se produjo la acumulación de la espuma sílica original en una única Pangea en tiempos del Paleozoico primitivo, de forma que debió alterar considerablemente el equilibrio de la rotación del globo?

15. Antes de dejar los argumentos geofísicos, debería mencionar una publicación muy reciente de J.E. Evans¹⁹⁶, aún cuando no tenemos el privilegio de contarle entre los participantes en este simposio. Evidentemente el Dr. Evans no se opone a la hipótesis de la deriva continental. Cito lo siguiente:

Parece razonable creer que a finales del Paleozoico las principales masas terrestres estuvieron unidas en una gran masa continental, agrupadas en torno a África como centro, y que desde entonces han derivado en dirección este, sur y oeste hacia el centro del Pacífico.

Esta deriva estaría más de acuerdo con Taylor y Daly que con Wegener. El Dr. Evans no acepta el cambio de posición real del eje terrestre, pero no ve objeción a un cambio de la corteza en relación al núcleo de la Tierra, y sobre sus polos de rotación, cambiando así la posición *geográfica* de los polos. También considera el impulso mareal como causa de la deriva. Más adelante sostiene:

Se ha sugerido que el centro de gravedad del interior de la Tierra no coincide exactamente con su centro geométrico, así que existe un punto sobre la superficie terrestre donde las fuerzas de la gravitación alcanzan un máximo, y hacia el que tienden a moverse tanto las aguas oceánicas como las masas continentales. Si este es el caso, y la corteza de la Tierra cambia relativamente hacia el interior, el punto de máxima gravitación ocupará una nueva posición sobre la corteza terrestre y la deriva se dirigirá hacia esta última.

Esta forma de pensar también merece tenerse en cuenta; sin embargo, esta fuerza no puede ser excesivamente pequeña. Debió existir cuando no había más que una Pangea a un lado del globo.

¹⁹⁶ J.E. Evans, "Anniversary Address of the President", *Quarterly Journal, Geol. Soc. of London*. Octubre, 1926.

16. *Los argumentos geológicos y paleontológicos*, concretamente los del Dr. Schuchert, giran en gran parte en torno a la cuestión de si existe o no un acople lo suficientemente perfecto entre las líneas litorales de los continentes, tal como se acepta de haberse desplazado bajo las teorías de la deriva, concretamente la hipótesis de Wegener, y también si sus faunas y floras encajan suficientemente con estas ideas.

El Dr. Schuchert nos da una sinopsis notable de las objeciones estructurales, geológicas y paleontológicas a la teoría de la deriva de Wegener. Sus argumentos están estrechamente relacionados con los argumentos geofísicos; ya tuve ocasión de referirme a su artículo casi en cada una de mis observaciones previas. Schuchert analiza sucesivamente todos los puntos de Wegener del acople entre los continentes americanos y los de Europa y África, y nos aporta una versión más clara y bien sustentada de la prueba opuesta a la teoría.

El punto del acople físico de los litorales ya se trató en los argumentos geofísicos. Subrayaré una vez más en que personalmente no ataco en demasía la importancia de un acople perfecto. Lo que todos podemos, o necesitamos, esperar, en mi opinión, es un *paralelismo* general del contorno, pero que pueda incluso ser objeto de una distorsión muy considerable, causada por el plegamiento o arrugamiento en témpanos comparativamente finos de los continentes a la deriva. Cuanto más recientes sean los diastrofismos que afectan a un continente durante o después de su separación de su vecino, más deficiente debe haber sido un acople exacto. No me refiero solo aquí a los cinturones montañosos intensamente plegados, sino también al arrugamiento general de los continentes tal como describió hábilmente Émile Argand ("*plis de fond*").

Además de una suficiente concordancia de litorales, también existió una semejanza general de la estructura y de la sedimentación, pero una vez más no se necesita aquí que las series sean del todo *idénticas*. Deberíamos contentarnos con una semejanza suficiente para garantizar la conclusión de que los territorios estuvieron una vez unidos y formaron una misma provincia geológica importante. No necesitamos buscar la continuación, sobre las costas opuestas, de cada carácter menor, como en un rompecabezas. Creo que raramente encontraremos una continuidad perfecta. Las actuales líneas de costa estuvieron una vez próximas, pero no necesitamos que hayan sido del todo adyacentes. Sin embargo, cuanto más reciente sea la separación mayor debería ser la semejanza. El acople debería ser bastante más perfecto en la mayor parte del Atlántico norte que en el sur. Sin hacer caso de estas observaciones, las discrepancias que Schuchert destaca y sus observaciones geológicas, son de la mayor importancia. Muchas de ellas requieren una investigación más profunda. Su artículo es de gran valor para la esta discu-

sión. Su análisis de la discrepancia entre Terranova e Irlanda es digno de tenerse en cuenta y de una crítica más profunda, porque estas regiones han estado estrechamente adyacentes desde la época del Paleozoico medio hasta el Pleistoceno.

Los mares epicontinentales, o los caracteres marinos aún más importantes, como el Tetis, deben tenerse en cuenta debidamente. Si creemos que existen, más o menos a lo largo del actual rift atlántico, cadenas montañosas más viejas (las Caledónidas), que representan la “cicatriz” de un rift más antiguo curado, el plegamiento posterior (Altaides–Apalaches) debió haberse visto afectado fuertemente y desviado por estos bloques caledonianos más antiguos. Claramente vemos cómo ocurre esto en el actual lado europeo, en Bélgica, Holanda y las Islas Británicas, y podríamos esperar lo mismo a lo largo de la costa atlántica de Norteamérica. Si existió un rift más antiguo, debe haber permanecido en una zona más débil regionalmente, pero tienen que haber sido más resistentes los enormes bloques de la “cicatriz” caledoniana fuertemente consolidada, al menos en ciertas regiones (Macizo del Brabante, región de Piedmont).

La región del Tetis es en especial difícil de desenmarañar. La discontinuidad de las cadenas del Atlas y de los Pirineos, que están ausentes como tales en el lado americano, es un problema de esta naturaleza. Schuchert llama nuestra atención correctamente hacia la existencia de pliegues contemporáneos en las Antillas. Wegener cree que la separación ya había progresado considerablemente cuando se perfeccionaron los pliegues europeos en el Oligoceno.

Wegener deja un vacío de mar entre América y Europa en la región del Tetis. Aquí sitúa Schuchert su océano mediterráneo “Poseidón”, 1.500 millas en cualquier dirección, desde América Central hasta la latitud de Long Island, y apunta hacia la necesidad paleontológica de una amplia conexión de este mar con el Pacífico centroamericano.

La región del Tetis Euro–americano es verdaderamente oscura. Simplemente se necesitaría dejar un espacio en blanco sobre el mapa paleogeográfico. Si se permitiese dejar espacios en blanco sobre nuestro actual globo geográfico, seguramente podría permitirse para los períodos geológicos del pasado. Si la actual geografía de la Tierra no se conoce completamente (y su mapa actual geológico menos todavía), aunque en cualquier momento podamos ir a verlo, no puede usarse como un argumento serio el hecho de que los vacíos existan en nuestro conocimiento de las fases más primitivas. Cuanto más retrocedamos, naturalmente empeora esta dificultad. *Una vez más destaco cuán necesario es que nos limitemos a los caracteres relevantes y no tropecemos en los detalles*, muchos de los cuales se conocen de un modo imperfecto, si no es que son en realidad contradictorios. *Los caracteres rele-*

vantes, si se miran de una forma abierta, en mi opinión sugieren continuidad, tanto estructuralmente como en la sedimentación. Esto ya lo reconoció Suess y muchos otros, bastante antes de que se pensase considerar el Océano Atlántico como posterior al Permo–Carbonífero. El Océano Poseidón no es objeción, ni es un vacío si se conecta con el Pacífico Centroamericano, un vacío que podría ser un mar epicontinental.

La misma observación se aplica a la falta de semejanza de las rocas ígneas a ambos lados del Atlántico. ¿Fueron estas regiones comagmáticas? Como las rocas ígneas poseen múltiples orígenes, su composición es diferente incluso a distancias muy cortas sobre nuestros continentes. Probablemente algunas se originaron en lo alto del sial, otras en las capas más profundas, mientras que algunas pueden ser sima puro, pero es difícil de determinar lo que constituye el sima auténtico tipo basalto¹⁹⁷. Sin embargo, como debía esperarse parece existir más semejanza entre las mesetas de sima efusivos que entre las rocas siálicas efusivas o intrusivas. Muchas rocas ígneas ácidas pueden ser refundidos, bien de un material sedimentario o ígneo primitivo, o una mezcla. El mismo grupo de volcanes superficiales adyacentes a menudo expulsan lavas muy diferentes. Incluso las islas oceánicas con un aparente núcleo de sial, por ejemplo la Isla de Ascensión¹⁹⁸, muestran una gran variedad de materiales efusivos ígneos.

17. El Dr. Chamberlin cree que los “mares de plataforma, o mares epicontinentales, por sus márgenes y situaciones durante todo el tiempo geológico, parecen incompatibles con una gran masa continental única” (Punto 5). *¿Por qué habrían de serlo?* Ya he mencionado que Wegener discute la Pangea solo desde el Paleozoico; pero lo que nosotros no necesitamos aceptar es que obligatoriamente, o incluso probablemente, permaneciera inmutable en períodos más primitivos.

Los mares de plataforma y los mares epicontinentales tienen muy poco que ver con la deriva intercontinental. La deriva no provocó muchos cambios materiales en las actuales unidades continentales, que fueron siempre continentes y nunca verdaderos océanos, pero cambió su situación relativa en el mapa. Su relativa emersión o hundimiento tuvo muy poco que ver con su deriva. No estoy de acuerdo con Wegener en esta parte de su argumento. El Dr. Joly lo intentó explicar mejor.

Sin embargo, parcialmente estos mares epicontinentales, incluyendo los actuales mares de plataforma, deben haber estado influidos por la fracturación y el estiramiento de la antigua Pangea. El Tetis, en concreto, fue un mar de esta

¹⁹⁷ Washington y Keynes, *Jour. of Science*, Octubre, 1926.

¹⁹⁸ R.A. Daly, 1926.

naturaleza, y probablemente lo sean el Golfo Pérsico, el Mar Rojo, las actuales cuencas mediterráneas, el Golfo de México y el Caribe. La distribución de muchos de los mares epicontinentales debe indicar zonas de debilidad y tensión, concretamente cuando se conectan con verdaderos geosinclinales. Si se presiona el sial y se estira hasta que tenga un menor grosor, por isostasia aparece una depresión geosinclinal. No veo que exista en este caso inconsistencia de tal importancia como para estropear este esquema relevante.

18. Cuando entramos en el terreno del *clima* y de la *paleontología*, hemos de ser aún más cuidadosos para no perder de vista los caracteres más importantes. Apenas existen condiciones más complejas que las que afectan al clima y a la distribución de la vida y sus modificaciones evolutivas.

Consideremos primero el *clima*. En comparación, la meteorología es una ciencia nueva. Las actuales condiciones climáticas están completamente llenas de rompecabezas, sin hacer caso de la posibilidad de las observaciones reales y de las estadísticas. Evidentemente existen influencias cósmicas, y parecen bastante probables ciertos cambios periódicos, incluso en época histórica, aunque hasta ahora solo se indicaban vagamente. En el período geológico más cercano, el Pleistoceno, los problemas se hacen todavía más graves: la última edad de hielo fue un período muy complejo, sujeto a oscilaciones de una magnitud muy considerable, en una época que cubre casi toda Inglaterra con un manto de hielo, y en el período Interglacial europeo más importante llegó a ser tan templado que los hipopótamos se desarrollaron bien en las mismas Islas Británicas. El Dr. Schuchert hace ver brevemente la variación y confusión en las indicaciones glaciales en el hemisferio sur durante la edad de hielo del Permo—Carbonífero. Sería natural que solo durante este vasto intervalo de tiempo las regiones del polo Sur hubiesen estado sometidas a oscilaciones interglaciales periódicas muy considerables. ¿Por qué habrían de ser menos acusadas que en el Pleistoceno?

Existen argumentos considerables en cuanto a cuál era el clima de la Tierra, en su totalidad, durante el período glacial del Permo—Carbonífero. A.P. Coleman¹⁹⁹ realizó una excelente sinopsis de este problema.

Existen muchas indicaciones de un clima templado: la flora de los Yacimientos de Carbón por lo general se considera indicativa de condiciones de selva lluviosa tropical; los *Foraminífera* y los insectos eran grandes y abundantes²⁰⁰; las marismas salinas y los depósitos de sal, tanto en el Pennsilvaniense como en el Pérmico, indican que se formaron en un clima templado, árido, concretamente si

¹⁹⁹ *American Journal of Science*, 1925.

²⁰⁰ C.O. Dunbar, "Kansas Permian Insects", *Amer. Jour. of Science*, 1924.

contienen cantidades importantes de sales potásicas (Texas y Alemania). Por otro lado, encontramos sin duda depósitos glaciares de una magnitud que excede en mucho los del Pleistoceno de América o Eurasia, extendiéndose a latitudes tan bajas como las del último período glacial, incluso si cambiamos el ecuador, como hicieron Wegener y Köppen. Todos los yacimientos glaciares de finales del Paleozoico del hemisferio sur son mucho más potentes que la deriva del Pleistoceno: el Dwyka 2.000 pies, el Talchir 1.000 pies, las tillitas de Bacchus Marsh 1.635 pies. Evidentemente las condiciones glaciales también duraron mucho más tiempo.

El período glacial del hemisferio sur terminó principalmente en la época de transición entre el Carbonífero y el Pérmico, pero las tillitas de Kuttung de Australia eran del Carbonífero medio.

Uno de los argumentos principales de Wegener para la deriva continental es la explicación que se permite para el problema de estas glaciaciones, y su asociación total con la flora de los Yacimientos de Carbón, que se acepta es tropical. En su artículo, como contribución en este simposio, Wegener menciona las discrepancias de las glaciaciones citadas en Norteamérica, en medio de lo que habría sido su cinturón de selva lluviosa tropical.

Muchos autores mencionan las “tillitas” de este tipo y otras huellas de un clima glacial para muchas localidades: Sir W. Dawson (1872) para Nueva Escocia, confirmada por A.P. Coleman (1925); S. Weidman (1923) para las Montañas de Arbuckle y Wichita de Oklahoma; R.W. Sayles (1919) y otros para la Cuenca de Boston (tillita de Squantum); C.A. Süssmilch y T.W.E. David (1919) las revisaron todas, incluyendo los conglomerados de Fountain de Colorado, y varios conglomerados citados del cinturón de Yacimientos de Carbón de Europa.

Hemos de ser muy cuidadosos con las “tillitas”. No consideramos probado que cualquiera de los conglomerados del Permo–Carbonífero de Texas, Kansas y Oklahoma, y concretamente de Colorado, puedan considerarse como de origen glacial. Nadie que esté familiarizado con las lluvias torrenciales, en concreto como se dan en los desiertos o a lo largo de los cinturones áridos, puede sorprenderse de que los grandes espesores de material desclasificado, groseramente clástico y parcialmente angular, se depositen por las inundaciones generadas por dichas lluvias. Estas inundaciones son extremadamente violentas, aunque de corta duración. Las corrientes son casi más de barro que de agua, y la mezcla es de tal densidad que no transportará solo cantos rodados increíblemente grandes, sino que también impedirá cualquier clasificación del material. No es preciso el hielo para

explicarlo. Vemos las mismas cosas que ocurren *ahora* en todos los desiertos, incluyendo los del Oeste americano.

Los grandes cantos rodados aislados de otra forma en cienos marinos finos no necesitan ser transportados por hielo flotante. Los grandes árboles harán lo mismo, puesto que pueden transportar con ellos hacia el mar grandes rocas atrapadas en sus raíces.

Incluso los cantos rodados afacetados y estriados no necesitan ser glaciares, a menos que la estriación sea bastante común. Tales rocas, sorprendentemente como los cantos rodados glaciares y erráticos, en los conglomerados pérmicos de Europa noroccidental, con claros indicios de características “glaciares”, se consideran ahora meramente como fragmentos esquilados. En una ocasión, en 1909, yo²⁰¹ fui responsable de la descripción de uno de estos conglomerados europeos como tillita.

Por desgracia, no estoy familiarizado personalmente con la tillita de Squantum, pero recientemente tuve una conversación con Lawrence La Forge del U.S. Geological Survey sobre este tema. No me dio la impresión de que este depósito fuera con toda seguridad de origen glaciar.

En cuanto a *la naturaleza tropical de la flora de los Yacimientos de Carbón*, esto debe entenderse solo en el sentido de que esta zona representa el cinturón de selva lluviosa. No es necesario que represente una elevación de la temperatura tan alta como en nuestros actuales bosques lluviosos ecuatoriales. Evidentemente allí se dio un período (¿cósmico?) de disminución térmica durante el Permo–Carbonífero, similar aunque aparentemente menos pronunciado que el del Pleistoceno, y bastante distinto del Mesozoico más templado y de los primitivos períodos del Terciario. Es muy probable que, incluso en el Pleistoceno, las tierras altas en latitudes bajas transportasen mucho más hielo glaciar que ahora. En el Permo–Carbonífero las montañas eran jóvenes, y presumiblemente muy altas. Nuestros picos montañosos tropicales muestran morrenas pleistocénicas de 3.000 a 4.000 pies por debajo del actual límite inferior de los glaciares; los Alpes estuvieron cubiertos por un manto de hielo coherente. Como la prueba de glaciación es tanto más pronunciada en el Permo–Carbonífero que en el Pleistoceno, los glaciares tuvieron que darse en una extensión aún mayor. Sin embargo, parece difícil de creer que, como afirmó Weidman en contra de la opinión de Dunbar, los hielos marinos flotantes y los glaciares costeros descendieron hasta el nivel del mar en la región de Arbuckle. Weidman describe los suelos rocosos arañados, pulidos y es-

²⁰¹ Citado por Süssmilch y David, 1919.

triados bajo el conglomerado de Franks de los Arbuckles, similares a las rocas estratificadas en Sudáfrica, por debajo de Dwyka, y en Australia por debajo de las tillitas de Kuttung.

Aún si consideramos como frío el clima general del Permo–Carbonífero, y la flora de los Yacimientos de Carbón no como tropical, en el sentido actual, sino meramente como ecuatorial, existen discrepancias que son difíciles de explicar y requerirían oscilaciones interglaciales del clima mucho más pronunciadas que en el Pleistoceno. Las principales indicaciones del elevado calor realmente son los depósitos salinos del Pennsilvaniense de Utah y Nuevo México, y especialmente los depósitos pérmicos de sales potásicas de Texas, adyacentes a las montañas glaciares (?) de Arbuckle y Wichita de Oklahoma. Estas transportan minerales que, de acuerdo con Van't Hoff y otros, requieren para su formación soluciones de 80°C. Tales temperaturas en salmueras concentradas se dan en los desiertos tropicales, pero serían difíciles de explicar si la radiación solar se redujera de tal forma que fueran posibles los glaciares a nivel del mar en la zona ecuatorial.

Se han citado depósitos “glaciares” de otros períodos geológicos para casi todas las zonas del globo, que más tarde fueron refutadas. Algunos otros, que en apariencia son reales, están (en esa época) bien a altas latitudes, o son pequeños y locales, y evidentemente están conectados con lo que deben haber sido entonces altas montañas, como las tillitas del Eoceno de las Montañas de San Juan en Colorado. Este último material procede claramente de sierras altas, tal y como debería esperarse allí de forma natural en el Eoceno. Parecen ser morrenas de glaciares alpinos restringidos y no de auténtico hielo terrestre. Se comprobó que otras tillitas procedían de diferentes períodos a los que se asignaron originalmente.

Teniendo en cuenta la complejidad general del problema del clima, me parece todavía más convincente el análisis de Köppen–Wegener como uno de los argumentos más sólidos a favor de la deriva. Así piensa, aparentemente, el Dr. David White. El Profesor Berry evidentemente es de una opinión por completo diferente, pero no va más allá en su objeción.

Se ha publicado recientemente un interesante libro²⁰² de C.E.P. Brooks, donde se discuten totalmente las teorías de Köppen y Wegener. Brooks considera la teoría de la deriva como una posibilidad evidente para la explicación de los problemas climáticos, pero está tan fuertemente impresionado por las dificultades mecánicas que no considera probable tal deriva, y ofrece otra explicación. Sin embargo, parecen insuperables las dificultades inherentes en su teoría. Ante todo,

²⁰² C.E.P. Brooks, *Climate through the Ages*, Nueva York, 1926.

requiere en el Permo–Carbonífero un gran continente de Gondwana muy elevado, similar a las actuales tierras altas de Asia, que se habría hundido bajo el océano. La isostasia, si está vigente en todo (¿quién lo niega?), anula esta posibilidad. Incluso en este caso, los centros de glaciación de Brooks, tan cercanos al ecuador, parecen imposibles sin las condiciones glaciales enormemente más pronunciadas en el hemisferio norte, concretamente en el norte de Asia, donde entran en contradicción con los datos paleontológicos. Se acepta que sus corrientes antárticas frías en su ancestral Océano Índico, entre África y Australia, han causado las condiciones glaciales en la India, *y cruzado después el ecuador* en lo que habría sido un golfo terrestre cerrado, incluso más apto para generar las corrientes cálidas que las actuales del Caribe y del Golfo de México. Las aún dudosas condiciones glaciales en Nueva Inglaterra, que sin embargo Brooks acepta como reales, ¡habrían tenido lugar en las costas expuestas directamente a las corrientes cálidas del Tetis ecuatorial!²⁰³ Debo confesar que prefiero la concepción de Köppen y Wegener, sin tener en cuenta todos sus problemas y dificultades. Las condiciones continentales pueden excluir la glaciación real ante la carencia de precipitación, como ocurrió en Siberia durante el Pleistoceno, pero bajo tales condiciones, seguramente acompañadas por el frío más intenso, nunca podríamos esperar una vegetación como la que encontramos en los depósitos de carbón del Asia nororiental. Si los polos han permanecido donde están ahora y las heladas regiones del Permo–Carbonífero en el hemisferio sur no se han separado a la deriva, no puedo concebir cualquier explicación plausible para las condiciones climáticas contemporáneas en el hemisferio norte, sin considerar la posible glaciación local de las altiplanicies, incluso (en ese caso) a bajas latitudes.

19. Restan *los argumentos paleontológicos*. Hay pocos temas como la paleontología en los que exista mayor diversidad de opiniones prácticamente sobre cualquier cosa. Solo necesito mencionar la dificultad constante de correlacionar con seguridad las formaciones por sus contenidos fósiles. El problema se hace especialmente difícil para las faunas marinas epicontinentales en comunicación restringida con los mares abiertos. Aquí, constantemente, se desarrollan formas especiales, o sobreviven ciertas especies mucho más tiempo que en los océanos o en las cuencas adyacentes. Los mares epicontinentales que desaparecen más tarde abren mayores vías para la migración. La mayoría de los depósitos que discute el Dr. Schuchert fueron epicontinentales, o al menos cerrados y terrestres (incluso su Océano “Poseidón”).

²⁰³ C.E.P. Brooks, *op. cit.*, fig. 29, frente a la p. 282.

Los mares epicontinentales son igualmente importantes para las faunas o floras terrestres. Ellos constituyen barreras locales temporales, que, sin embargo, pueden haber persistido lo suficiente como para permitir una considerable diferenciación. Las altas sierras y altiplanicies hacen lo mismo.

Finalmente, incluso la actual distribución de la vida está llena de problemas. Evidentemente ciertas formas han emigrado lejos, pero dejaron pocas huellas o ninguna a lo largo de las rutas por las que viajaron, y ahora se encuentran enormemente separadas (el tapir). Incluso las razas humanas, que tienen su historia y sus leyendas, y no dejaron otras huellas que sus simples huesos, presentan una gran complejidad. Aquí hemos de ser más cuidadosos que nunca para no añadir mucha más importancia al detalle, o ser bastante confiados.

Si nos limitamos a un escenario más relevante, puede negarse la necesidad de ciertos puentes intercontinentales destacados. El Dr. Schuchert no solo los admite, sino que los considera necesarios. Casi siempre existe la controversia, pero las mayorías y las minorías son claras y muy evidentes²⁰⁴. Sin embargo, las opiniones son particularmente confusas para las conexiones entre Norteamérica y Europa, especialmente para el Mesozoico, cuando, de acuerdo con Wegener, progresó el aislamiento, pero era todavía incompleto. Esto parece lo único natural, en vista del proceso gradual de separación y la prevalencia de los mares epicontinentales y del Tetis, incluyendo el Poseidón de Schuchert, en lo que más tarde se convertiría en un rift oceánico. También parece existir una opinión bastante unánime para la conexión entre Australia y África, y África y Madagascar, una conexión anterior al Cretácico entre Brasil y África, y una conexión antes del Eoceno entre Madagascar y la India. Las conexiones entre Norteamérica y Sudamérica solo están controladas por las condiciones mediterráneas del Tetis, y por los mares verdaderamente epicontinentales y los istmos de conexión.

El Dr. Willis también se incorpora a este argumento. Por otra parte me alegra que coincida conmigo en que la distribución de los organismos, animales y plantas, a ambos lados del Atlántico “representen un argumento irrefutable para una conexión anterior entre Sudamérica y África”. El Dr. Willis también coincide conmigo en que esta conexión no puede haber sido un gran continente en el pasado. Sin embargo, Willis busca cadenas de islas, o un istmo de conexión, similar al que actualmente une Norteamérica y Sudamérica. Ahí no estoy de acuerdo con él. Las conexiones entre Norteamérica y Sudamérica *no están en una región oceánica*, sino en un área geosinclinal, esencialmente continental, que ha estado sujeta en su mayor parte solo a la inundación epicontinental y a la depresión de Tetis. El *rift*

²⁰⁴ T. Arldt, 1917.

del Atlántico, y en mucha mayor proporción el Océano Pacífico, son “océanos” completamente diferentes, sin considerar la profundidad que exista, y evidentemente ha existido, localmente, en pequeñas áreas de los mares Mediterráneo, Tetis y centroamericano. Ninguno de estos “ojales”, como los llama Argand, pueden compararse de alguna forma con verdaderos océanos en cuanto a magnitud y permanencia, ni siquiera con océanos tan imperfectos como son el Atlántico y el Ártico.

En otra parte discutimos la idea de que las verdaderas islas oceánicas y otras dorsales de sima no pueden considerarse como áreas terrestres permanentes. *En mi opinión, la isostasia se opone absolutamente a la idea de que pudieran hundirse grandes masas sílicas continentales a tales profundidades en el sima, que estarían cubiertas ahora por 4 ó 5 km de agua.* Los bloques de sial son caracteres terrestres permanentes, incluso en islas actualmente mediooceánicas. Temporalmente pueden estar inundados por mares en comparación poco profundos, pero no se puede concebir que sean rebajados hasta las profundidades oceánicas. Se requiere un rift para ello, un sima desnudo, o algo así. Este argumento parece deshacerse irrefutablemente de los puentes intercontinentales, incluso de la forma de istmo, a través de verdaderos océanos. Si esto es correcto, solo una deriva independiente puede haberse deshecho de esas conexiones terrestres transoceánicas anteriores.

Más que cualquier otra cosa, la paleontología y la biología necesitan de una investigación más profunda antes de que podamos esperar una respuesta de ellas a toda cuestión que surja, no solo en conexión con la deriva continental, sino con casi todo problema de geología y evolución. Sin embargo, aún aquí siento que el escenario *general* apunte hacia las semejanzas, que pueden explicarse por la deriva mucho mejor que por los todavía más inconcebibles “puentes intercontinentales”. Por otro lado, las diferencias, en concreto de faunas terrestres (reptiles africanos), pueden estar causadas por los mares epicontinentales, en modo alguno en conflicto con la teoría de la deriva. Esto se aplica incluso a las diferencias marinas.

Todo este simposio se presenta como una prueba de la insuficiencia de lo que hemos estado enseñando en el pasado para explicar los hechos, y, también, de nuestra incapacidad para construir nuevos intentos en una explicación ajustada con todo lo que ahora creemos es una realidad, bien sea en geofísica, geología o biología. J. Arthur Thompson cita la declaración del Profesor Bateson de que nuestra confianza en el pasado estaba fundamentada principalmente en la ignorancia. Las futuras generaciones probablemente sentirán lo mismo sobre nuestras creencias actuales. Sin embargo, no debería desalentarnos el que nos esforcemos

siempre por encontrar la verdad. Si lo hacemos así honestamente, siempre llegaremos un poco más cerca. Esto es lo que podemos esperar en cualquier caso en el reino de la ciencia. Cuanto más profundos sean nuestros pensamientos y nuestras investigaciones, más se multiplican los problemas, más se espolean nuestras ardientes mentes hacia actividades futuras. ¿No reside esencialmente aquí el atractivo de la ciencia, y no es esto inmensamente mejor que la actitud durante la última mitad del siglo pasado, cuando tantos creyeron haberlo resuelto todo?

NOTAS DE LA TRADUCCIÓN

- [1] Everette Lee DeGolyer (1886–1956) fue un eminente geólogo norteamericano que destacó por la aplicación de técnicas y métodos geofísicos en la prospección petrolífera.
- [2] Para explicar la estructura del Glarus (Alpes suizos), Arnold Escher había introducido, en 1866, la teoría del *doble plegamiento*. Esta idea de un plegamiento recumbente sería apoyada inicialmente por Albert Heim, en 1878, en oposición al acortamiento cortical defendido por Eduard Suess tres años antes, en su importante estudio sobre el origen de los Alpes. En 1884, Marcel Bertrand propuso la existencia de un único empuje en dirección sur–norte, que había originado un cabalgamiento de largo recorrido (centenares de kilómetros) caracterizado porque tanto los ejes como los flancos de los pliegues eran aproximadamente horizontales. Hans Schardt (1893) bautizó estos pliegues como *mantos de recubrimiento*, y su existencia sería divulgada extensamente por Maurice Lugeon (1902a,b, 1903) dentro de la llamada *teoría de los mantos de corrimiento*, que como controversia geológica perduraría hasta principios del siglo XX; véanse, además, Bertrand (1894), Brouwer (1981), Ellenberger (1982), Greene (1982, cap. 8), Haller (1982), Heritsch (1928), Masson (1976, 1983), Milnes (1979), Oldroyd (1990, cap. 8), Sarton (1914), Schaer (1991), Schardt (1908), S.G.F. (1985), Trümpy (1988, 1991, 2001), Trümpy y Lemoine (1998). Por otro lado, resulta sorprendente, como ha señalado Trümpy (1999), que la estructura de los Alpes (véase por ejemplo Collet, 1926, 1927) no jugara un papel decisivo en el desarrollo y aceptación de la deriva continental, cuando la teoría de los desplazamientos daba una explicación bastante racional del acortamiento cortical al menos para los últimos 165 Ma, tal y como habían constatado algunos de los más eminentes geólogos suizos (entre ellos, Émile Argand, Albert Heim o Rudolf Staub, entre otros), y para los que el fijismo geológico resultaba algo completamente inadecuado (Brunnschweiler, 1983); véanse además Carándell (1928), Debelmas (1975), Hsü (1995), Ray (2004).
- [3] Las teorías orogénicas anteriores a la deriva continental han sido estudiadas desde un punto de vista histórico por Birot (1958, cap. 2, p. 377–443), Greene (1982), Jacob (1925), Meunier (1911, cap. IV, p. 90–128), Moret (1950), Nölke (1924), Pfannenstiel (1970), Şengör (1982a); véanse además Broc (1969, 2ª parte, cap. II), Choubert (1981), Dewey y Bird (1970a,b), Dewey y Horsfield (1970), Ellenberger (1984), G.S.A. (1923), Holmes (1933), Hsü (1996), Lemoine *et al.* (2000), Ollier (1981, cap. 19, 1990, 2003), Ollier y Pain (2000), Schmidt–Thomé (1960), Şengör (1991), Smith (1976); véanse también Cebull (1973), Dennis (1980), sobre los diferentes significados que ha tenido el concepto de *orogenia* a lo largo de la historia.
- [4] Durante el siglo XVII, algunos autores habían afirmado que la Tierra se había ido encogiéndose mientras se solidificaba y endurecía la parte más externa, lo que en gran medida condicionaba la estructura del paisaje. Entre estos autores cabe reseñar a Descartes (1644, p. 217–225), en cuyo modelo cosmogónico la Tierra era un sol actualmente *apagado* y en colapso. También, Isaac Newton, en una carta dirigida a Thomas Burnet en 1681 (Brewster, 1855, p. 447–454; Turnbull, 1960, p. 329–335; García Cruz, 2006), sostenía que la desgasificación explosiva de la Tierra, y el consiguiente arrugamiento, eran los responsables de la configuración externa del planeta. En las primeras décadas del siglo XIX, el astrónomo francés Etienne–Marin Bailly había planteado la existencia de un fuego interior

en los planetas, que progresivamente iba decayendo hasta apagarse. Estas ideas desembocarían en la *teoría de la contracción* propuesta inicialmente por Élie de Beaumont (1829), y más tarde también por Prévost (1839, 1840), según la cual Tierra debía haber pasado por un estado de incandescencia de acuerdo con la *hipótesis nebular* (incorporada también décadas después a la *hipótesis planetesimal*) sobre el origen del sistema solar (véase nota [5]). Consecuentemente, el planeta se habría ido contrayendo, conforme se enfriaba a lo largo del tiempo. La liberación de la tensión compresiva en la capa externa durante este colapso térmico era la causa de la actividad tectónica, y se habrían formado así las montañas, en otras palabras, las cadenas montañosas no eran sino *arrugas* en respuesta a un enfriamiento progresivo. Esta teoría sería desarrollada en los años siguientes por diversos autores (entre otros, Dana, 1847, 1863, p. 716–740, 1873a,b, 1875, p. 735–756; Thomson, 1862; Suess, 1875, 1885, vol. I; Heim, 1878; Davison, 1887; Darwin, 1879a,b, 1887; y más tarde Jeffreys, 1924, 1926), e incorporada a esa filosofía geológica *oficial* a la que se alude continuamente en el simposio y contra la que se enfrentaba Wegener; véanse también Dott (1997), Fallot (1939), Greene (1982, cap. 10), Holton y Brush (1976, p. 421–428), Lees (1953), Lyttleton (1974), Meunier (cap. I, p. 26–41), Nölke (1924, p. 130–185), Oreskes (1999, caps. 1–2), See (1907), Wood (1985, caps. 2–3).

- [5] La *hipótesis planetesimal* explica el origen de los cuerpos planetarios, entre ellos la Tierra, mediante la *acreción de planetoides* o *planetesimales*. Fue propuesta a principios del siglo XX en oposición a la *teoría nebular* de Kant (1755) –basada originalmente en una pequeña obra de Thomas Wright de 1750– y Laplace (1796a,b). La idea inicial, meramente descriptiva, se debe a T.C. Chamberlin (1901) y F.R. Moulton (1905), y sugería la colisión del Sol con otra estrella. El material desprendido se habría condensado en pequeños cuerpos denominados planetesimales, cuya agregación o acreción posterior dio lugar a los diferentes planetas. Sobre esta idea, J. Jeans (1917, 1919, caps. I y XII, 1923, 1924) introdujo la *hipótesis mareal*, según la cual el paso de una estrella más masiva que el Sol provocó sobre este un efecto mareal. La condensación diferencial del material en el filamento formado originaba los planetas. Esta hipótesis ha tenido diversos añadidos y modificaciones (entre otros, Jeffreys, 1924; Weizsäcker, 1944 1946; Kuiper, 1951). Actualmente cohabita junto a nuevas ideas que tienden a explicar mejor el origen del sistema solar; véanse, sobre la historia de las distintas teorías, Brown y Mussett (1981), Brush (1977, 1981, 1996), Cameron (1988), Jaki (1978, caps. 5–8), Ter Haar y Cameron (1963), Woolfson (1969, 1993, 2000, caps. 4–5); véanse también Adams (2010), Chamberlin (1905, p. 195–254, 1916, p. 1–9), Chamberlin y Salisbury (1906), Chamberlin y Moulton (1909, 1928), Chiang y Youdin (2010), Dermott (1978), Fairchild (1904), Gamow (1963, p. 25–31), Luu y Jewitt (2002), Mather y Mason (1939, p. 618–630), Meunier (1911, cap. I, p. 26–41), Moore (1957, cap. 13), Newton y Jones (1990), North (1994, cap. XVI), Ringwood (1979), Rioja y Ordóñez (2006, p. 136–156), Runcorn *et al.* (1988), Ruskol (1981).
- [6] A lo largo de varios siglos, el término *Terciario* pasó de ser originalmente *formación o terreno*, a ser considerado *era*, *período* y posteriormente *época*. Durante el simposio, se alude implícitamente al Terciario como *período*. A principios del siglo XXI desapareció oficialmente de la escala geológica, y fue sustituido por *Paleógeno* y *Neógeno* como los dos primeros períodos del Cenozoico, términos que, por otro lado, ya existían desde mediados del siglo XIX; véase García Cruz (2020, p. 280–282).

- [7] Tras el descubrimiento de la radiactividad a finales del siglo XIX, diversos autores reconocieron su importancia para la explicación de algunos hechos relevantes de interés geológico, entre otros, Joly (1908, 1909a,b,c, 1925, 1926) y Holmes (1911, 1925, 1926, 1928b, 1931, 1933), lo que, inevitablemente, dio lugar a las correspondientes controversias. Al margen de la edad de la Tierra (véase la nota [41]), la idea más importante tuvo que ver con el supuesto *enfriamiento progresivo* del planeta, y todas sus consecuencias. Entre estas hay que destacar la *teoría de la contracción* (véase la nota [3]). Era evidente que si existía una fuente interna de calor, independiente del *calor primordial*, la Tierra no se estaba enfriando, y por consiguiente era discutible el colapso térmico como origen de las orogenias. En las primeras décadas del siglo XX, durante la discusión, por un lado, de todo lo concerniente a la radiactividad como fenómeno físico (Arons, 1965), y, por otro, de su relación con la geología, se produjo una de las rupturas epistemológicas más trascendentales para muchas de las ciencias de la Tierra. Algunos de los aspectos históricos al respecto pueden verse también en Burchfield (1975), Greene (1982, cap. 12), Lewis (2000, 2002), Nudds (1986), Romer (1964), Wyse Jackson (2002).
- [8] En la leyenda de esta figura parece existir una contradicción entre las temperaturas promedio del mes más cálido (10°C) y el más frío (18°C), que deberían estar intercambiadas. Consultada la edición original alemana (Köppen y Wegener, 1924, cap. 1, p. 11, fig. 1), estos datos figuran tal y como los recoge Gracht.
- [9] El primer autor que propuso la existencia de una capa de materiales ácidos que descansaba sobre otra de naturaleza básica fue Bernhard von Cotta en 1858; también W.L. Greene, en 1877, era partidario de la misma idea (Joly, 1925, p. 19; Loewinson-Lessing, 1936, p. 63). Los términos precisos para tales capas, *sal* y *sima*, fueron acuñados por Eduard Suess (1909, vol. III, p. 626) para definir los materiales terrestres en los que predominaban, respectivamente, los silicatos aluminicos y magnésicos. Wegener (1922b, p. 22), siguiendo una sugerencia epistolar de Gerald Pfeffer, propuso *sial* en sustitución de *sal* para evitar la confusión que podría derivarse del término latino para designar a las “sales”. Véase también Wegener (1929, p. 55). La clasificación de este tipo de materiales se remonta en realidad al científico alemán Robert Wilhelm Bunsen (1811–1899), más conocido por sus aportaciones en el campo de la química. Su interés por la geología le llevó a Islandia en 1845 para la observación de la erupción del volcán Hekla. Como conclusión de numerosos análisis de los componentes de las lavas, llegó a clasificar las rocas no sedimentarias en dos grandes grupos: *traquíticas ordinarias* (ácidas) y *piroxénicas ordinarias* (básicas) (Bunsen, 1851, 1853; Wilcox, 1999; Young, 2003). Por otro lado, Bunsen desarrolló asimismo, en 1847, una teoría sobre la acción de los géiseres que sería aceptada por la geología (Bunsen, 1847a,b; Darrow, 1923, p. 212; Schacher, 1970).
- [10] El término *substrato* (en el original, *substratum*) hacía referencia a una “delgada” capa bajo la corteza terrestre, formada por “basalto potencialmente eruptivo”. Véase, por ejemplo, Daly (1926, cap. III). En él flotaban las masas de sial continental, y no solo abarcaba el sima, sino que se discutía incluso su posible extensión a varias decenas de kilómetros de profundidad, dentro ya de lo que constituye el *manto*.

- [11] Depósitos de Carbón (*Coal Measures*, en inglés) es un término litoestratigráfico en desuso. Se aplicó por primera vez en Gran Bretaña (Escocia y Gales) a un conjunto de rocas sedimentarias clásticas del Carbonífero superior (entre 307,0–298,9 Ma), que se intercalaban con estratos ricos en carbón.
- [12] En un manuscrito fechado en 1728, Luigi Ferdinando Marsili (1658–1730) ilustra por primera vez lo que posteriormente se conocería como *isostasia*, e introduce el concepto de *raíces de las montañas*, al que también se referiría indirectamente Voltaire en 1768 (Vai, 2006; Carozzi, 1983). Como tal fenómeno geológico, la *isostasia* fue descubierta en ese siglo XVIII, durante la expedición geodésica hispano-francesa al Perú con objeto establecer con precisión la longitud del meridiano terrestre y zanjar la controversia sobre la figura de la Tierra (Airy, 1845; Bouguer, 1749; Fernie, 1991a,b, 1992; Fischer, 1975; Greenberg, 1995; Hoare, 2004; Lafuente, 1983; Lafuente y Delgado, 1984; Lafuente y Mazuecos, 1987; Ruiz Morales y Ruiz Bustos, 2000; Smith, 1987; Terrall, 2002; Todhunter, 1873). Tras diferentes estudios sobre la topografía terrestre, el término sería acuñado por Dutton en 1882, y presentado “oficialmente” en 1889 en una conferencia ante la Philosophical Society de Washington (Dutton, 1876a,b, 1882, 1889). Las *anomalías gravimétricas* observadas en las masas continentales se entendían como una ordenación de la masa provocada de algún modo por la topografía, tal y como había sido sugerido por Sir John Herschel en 1836 en una carta a Charles Lyell (Babbage, 1838, p. 225–237). Durante mucho tiempo se discutieron diversos modelos de equilibrio isostático (Airy, 1855; Pratt, 1855) para explicar esta compensación. Ya desde los inicios del siglo XX se había señalado la importancia que tendría la isostasia en campos como la geodesia y la geofísica, además de la geología en general (Hayford, 1911). En los años 1920 no existían suficientes datos para dilucidar cuál de los dos modelos era el correcto; incluso el propio Wegener (1929, p. 47) sugiere una solución ecléctica para sus explicaciones corticales: modelo de Airy para las cadenas montañosas, y modelo de Pratt para la transición hasta los fondos oceánicos. Esta solución, defendida también poco después por Gutenberg (1939, p. 179), parece estar más cerca de la realidad para determinadas situaciones, a pesar de que durante décadas ha predominado el ajuste de Airy; véanse además Barrell (1914, 1919), Bowie (1922), Eaton (1928), Joly (1925, cap. II), Kaban *et al.* (2004), Mather (1967, p. 92–99), McCunn (1973), Moore (1957, cap. 12), Moritz (1990), Orme (2004), Strasser (1956), Walcott (1970), Watts (2001, cap. 1, p. 1–47), Zach (1814).
- [13] Los primeros resultados de estas investigaciones se publicaron el mismo año del Simposio (Vening–Meinesz, 1926), y se completarían en las décadas siguientes (Vening–Meinesz *et al.*, 1934; Vening–Meinesz, 1948). Estos confirmaban la *universalidad* de la teoría de la isostasia puesto que era aplicable tanto a las masas continentales como a las cuencas oceánicas.
- [14] Gracht intuye aquí, correctamente, la renovación del fondo oceánico, una de las ideas fundamentales de la teoría de la Tectónica Global, heredera de la deriva de Wegener.
- [15] Una nueva intuición correcta de Gracht, en este caso sobre la naturaleza de los fondos oceánicos como llanuras basálticas que crecen a partir de las dorsales por efusiones volcánicas submarinas, los *bordes constructivos* de la Tectónica de Placas. La misma sugerencia la había hecho con anterioridad Molengraaff, en 1916, e insiste en ella

- también en su contribución al Simposio. Algunos años después, Baker (1932, 1936) haría la misma interpretación. Véase la nota [34].
- [16] Véase el análisis de los precursores de Wegener efectuado en el *Prefacio* (p. 21–42).
- [17] La migración polar, definida como el cambio de posición de los polos en función de la variación en la inclinación del eje de rotación de la Tierra, ha sido trascendental en las investigaciones sobre la deriva continental. Durante el siglo XIX había sido defendida por autores como J.C. Maxwell o Sir George Darwin, aunque no fue hasta principios del siglo XX cuando se iniciaron los estudios geofísicos más precisos en relación con el paleomagnetismo, aunque como era de esperar, las críticas también se expresaron en este sentido; véanse, por ejemplo, Briden (1970), Collinson y Runcorn (1960), Pan (1968), Gordon (1987), Hapgood (1958), Northrop y Meyerhoff (1963); véase además Evans (2003).
- [18] El origen de la Luna sigue siendo controvertido incluso después de los estudios realizados sobre los materiales aportados por los viajes espaciales (programa *Apolo*). De las tres hipótesis más importantes, actualmente es la de la *captura* (aducida por Taylor puesto que encajaba mejor con sus ideas) la más desechable; más aceptación tienen las de la *fisión a partir de la prototierra* (Darwin, 1880, 1898), en especial su versión de la *precipitación* de los silicatos en un anillo de sedimentos evaporados del protoplaneta (Ringwood, 1970), o la de la *acreción coetánea* con la Tierra y en órbita geocéntrica, estas últimas dentro de la hipótesis planetesimal; véanse Binder (1981); Languévin (1987). También a partir de los viajes espaciales algunos autores han retomado la hipótesis de la *gran colisión* (propuesta en los años 1940 por R.A. Daly), según la cual la Luna tuvo su origen como consecuencia de la colisión entre la Tierra y un cuerpo planetario del tamaño de Marte. Véase también Canup (2004), Halliday y Drake (1999), Kaula y Harris (1975), Mackenzie (2003), Palme (2004), Ringwood (1979), Singer (1977), Stevenson (1987), Taylor (1987), Taylor (1994), Woolfson (2000, cap. 9).
- [19] Las primeras reconstrucciones de la Pangea en favor de la deriva fueron realizadas entre otros por Du Toit (1937), Dingemans (1956), Carey (1955, 1958b) y Krishnan (1967), Tarling (1971). Los acoples continentales mediante ordenador fueron efectuados por primera vez por Bullard *et al.* (1965), Diets y Holden (1970), y Smith y Hallam (1970); véanse otras reconstrucciones paleogeográficas en Donovan (1987), Eicher y McAlester (1980), Gondon (1998), Livermore *et al.* (1986), McElhinny y Valencio (1981), Murphy y Nance (2005), Ricou (1994), Rogers (1996), Rogers y Santosh (2004, cap. 4–9), Schettino y Scotese (2005).
- [20] La idea sobre la existencia de un *interior de los continentes* había sido definida inicialmente por Alexander von Humboldt como una unidad *geográfica* en relación con la estructura del Asia Central (Humboldt, 1843). Como concepto geológico fue utilizada por James D. Dana ya desde la primera edición de su conocido tratado de Geología, y aplicado a Norteamérica como un carácter perfectamente diferenciable de los *bordes* continentales, sobre todo en cuanto a su mayor grado de *estabilidad* estructural respecto de estos últimos (Dana, 1863, p. 731–735). Poco después, también lo emplearía Ferdinand F. von Richthofen en sus estudios geomorfológicos, dentro de su monumental obra sobre China (Richthofen, 1877, p. 4–6). En las primeras décadas de siglo XX, en esos años en que se acababa de proponer la deriva continental, algunos geólogos consideraban que la estructura de la corteza terrestre se podía dividir en dos categorías: zonas de *deformación* y zonas

de *estabilidad*, que coincidían respectivamente con los bordes (o geosinclinales; véase, más adelante, nota [24]) y con el interior de los continentes. Como se verá a lo largo de las páginas de este simposio, el interior continental no se consideraba tan estable como habían supuesto Dana o Richthofen; incluso ya se hablaba también de una posible deriva *intracontinental*. Por otro lado, y en relación con las categorías mencionadas anteriormente, el geólogo austriaco Leopold Kober propuso el término *cratógeno* (posteriormente, Hans Stille lo sustituiría por *cratón*), como definición de zonas opuestas a los *orógenos* (Kober, 1921, p. 21; 1928; Stille, 1936, p. 830). A lo largo del simposio, no se utiliza ni una sola vez el término de Kober, pero sí el de interior continental, probablemente debido a la gran influencia de Dana en la geología, y Richthofen en el campo de la geomorfología. Ambos términos, en realidad, no solo no son sinónimos, sino que, además, no tiene relación alguna entre sí, como ya dejara claro Şengör (1999). La idea original de Humboldt, Dana y Richthofen solo tiene un significado *geométrico*: en el interior de los continentes no coinciden sus características climáticas, geomorfológicas, y mucho menos geológicas; por otro lado y de acuerdo con la geología movilita, los cratones se forman en el interior de una placa y no de un continente; véanse, además, Brito Neves y Alkmim (1993), Dott (1985).

- [21] Gracht sugiere aquí el carácter cíclico de este fenómeno, insistiendo en ello más adelante (p. 57–58). Décadas después, esta idea la desarrollaría Wilson (1966) mediante el “ciclo” que lleva su nombre. Viene a representar las diferentes fases de formación, apertura y cierre, de un océano mediante la fracturación y desplazamiento cíclico de las masas continentales (véase también Jacobs *et al.*, 1972). La teoría cíclica de Wilson puso los cimientos para que Anderson (1982) planteara la existencia de diversos *supercontinentes* a lo largo de la historia de la Tierra, con una dinámica muy concreta cuya fuerza motriz sería la conducción y pérdida de calor a través de la corteza terrestre. Esta hipótesis desembocaría en el *Ciclo del Supercontinente* (Anderson, 1994; Gokhale *et al.*, 1997; Murphy y Nance, 1992, 1999; Nance *et al.*, 1986, 1988; Worsley *et al.*, 1986), que actualmente ha trascendido su marco geológico, con importantes repercusiones incluso para el desarrollo y evolución de la vida en la Tierra; véanse, además, Collins (2003), Trubitsyn y Rykov (1995).
- [22] Se refiere a la *Teoría de los Ciclos Termale*s (Holmes, 1926; Joly, 1923, 1925, 1928; Joly y Poole, 1927) según la cual la Tierra pasaría por ciclos de fusión y resolidificación como consecuencia del calor interno del planeta. Este calor sería el responsable de los cambios observables en los caracteres de la superficie terrestre. Véase también Greene (1982, cap. 12).
- [23] La convección térmica fue descubierta a finales del siglo XVIII por Benjamin Thompson, Conde de Rumford (Brown, 1947). En relación con la geología, el fenómeno de *convección subcortical* fue sugerido inicialmente por William Hopkins (1838). Algunas décadas después, Osmond Fisher (1881) reconoció su importancia en cuanto a sus aplicaciones geológicas, y John Perry (1895a,b,c) las utilizó en su discusión sobre la edad de la Tierra propuesta por Lord Kelvin (y que, a su vez, habrían sido de gran utilidad para la aceptación de las ideas de Wegener si se hubiesen tenido en cuenta; véase England *et al.*, 2007). Sin embargo fue O. Ampferer (1906) quien propuso las *corrientes convectivas o subcorticales* como teoría tectónica, en la que se explicaban numerosos procesos tectónicos por

medio de corrientes convectivas de origen térmico en las zonas por debajo de la corteza terrestre; véanse Belousov (1962, p. 798–800), Brinkmann (1961, p. 326–327). Para algunos autores (entre otros, Holmes, 1928b, 1931, 1933, 1944; Urey, 1953; Runcorn, 1962a; Bott, 1964; Wilson, 1990; véase también Gutenberg, 1930, 1936, 1939, p. 184–185), también explicaba la deriva continental; otros, sin embargo, como Vening–Meinesz (1952, 1962) o Wesson (1972), rechazaban esta explicación, y siempre se opusieron a la idea de la movilidad continental; véase, por ejemplo, Vlaar (1989).

- [24] El término *revolución*, en la acepción que se le da aquí, fue utilizado por Élie de Beaumont (1829) al definir los grandes cambios geológicos *entre* eras, y más tarde por Joly y otros, como sinónimo de *orogenia*, distinguiéndolo de *diastrofismo*, o cambios geológicos *dentro* de las eras; para una discusión sobre este término, véanse Rappaport (1982), y Ellenberger (1989, 1994, p. 66–70).
- [25] Los *geosinclinales* constituían importantes unidades estructurales y sedimentarias de la corteza terrestre, situadas generalmente de forma paralela a los márgenes continentales. En ellos se acumulaban los depósitos sedimentarios que posteriormente eran deformados durante las orogénesis. Mediante este concepto se intentaba explicar los fenómenos tectónicos y orogénicos en relación con la evolución de las cuencas sedimentarias. La “idea” fue propuesta por James Hall of Albany (1811–1898) en una conferencia impartida en 1857 en el encuentro anual de la *American Association for the Advancement of Science* en Montreal, aunque no se publicó hasta 1882. El “término” sería acuñado en 1875 por James D. Dana, quien además contribuyó a su desarrollo como teoría científica. Llegó a constituir uno de los más importantes paradigmas geológicos durante más de un siglo considerado como un concepto “perfectamente establecido” (Clark y Stearn, 1960, p. 43). Sucumbiría a partir de la Tectónica de Placas, aunque en la actualidad perviven algunos conceptos en relación con esta idea; véanse Aubouin (1959, 1961, 1965), Billings (1942, cap. III, p. 54), Bond y Kominz (1988), Dana (1873a,b, 1875, p. 735–756, 1880, p. 817), Debelmas *et al.* (1966), Dewey y Bird (1970a), Dickinson (1971, 2003), Dietz (1963), Dott (1974, 1978, 1979, 1985, 2005), Ellenberger (1970), Friedman (1979), Glaessner y Teichert (1947), Greene (1982, cap. 5), Gregory (1982), Hall (1859), Haug (1900), Hsü (1958, 1972, 1973, 1982a), Kay (1951, 1967), Knopf (1948, 1960), Li y Xiao (2001), Mark (1992), Mitchell y Reading (1969), Scheidegger (1953), Pushcharovsky (1987), Şengör (2003, p. 123–133), Shatsky (1946), Trümpy (1984, 2003), Wang (1972, 1979).
- [26] La discusión sobre las evidencias glaciales a escala global o regional fueron trascendentales para la concreción de la deriva continental. Históricamente el *glaciarismo* constituyó una interesante controversia geológica durante las primeras décadas del siglo XIX. La existencia de ciertos depósitos de materiales, incluyendo los bloques erráticos, constituía una *prueba irrefutable* del diluvio universal. Sin embargo, Hutton (1795, vol. II, p. 212), y su *intérprete* Playfair (1802, sec. 342–367) defendían el transporte de los grandes bloques y la sedimentación de ciertos materiales mediante la acción del hielo acumulado en los glaciares. Las observaciones posteriores de J.P. Perraudin, I. Venetz, J. de Charpentier y K. Schimper, permitieron a Louis Agassiz establecer la *teoría glacial* a finales de los años 1830. En esta se defendía que inmensas capas de hielo y glaciares ocuparon una vasta extensión de la superficie terrestre, mucho mayor que en la actualidad, y su dinámica fue la responsable de una serie de fe-

nómenos de erosión, transporte y sedimentación, entre otros, la situación de los bloques erráticos, o las estrias y surcos en ciertas superficies rocosas. A pesar de la oposición de personalidades como A. von Humboldt, R. Murchison o L. von Buch, e inicialmente también Lyell, el glaciario se impuso sobre otras ideas, y llegó incluso a provocar la *conversión* de uno de los grandes diluvialistas como William Buckland (véanse Agassiz, 1837, 1838, 1840, 1842; Boylan, 1998; Fenton y Fenton, 1945, cap. x; Geikie, 1897, p. 442–449; Gribbin, 2002, p. 382–396; Grubić, 2006; Hallam, 1983, cap. 3; Hanson, 1970; Imbrie e Imbrie, 1979; Knight, 2004; Laudan, 1987a, p. 210–216; Mather y Mason, 1939, p. 329–335; Meunier, 1911, cap. xi, p. 261–282; North, 1943; Rudwick, 1970). A principios del siglo XX, Milankovic (1920), en contraposición a las ideas de Chamberlin (1899), propuso una teoría astronómica como explicación de las eras glaciales, que apoyaba las ideas de Wegener sobre la deriva continental; véanse, además, Berger (1988), Berger y Loutre (2004), Verger *et al.* (1984), Broecker (1966), Broecker y Donk (1970), Emiliani y Geiss (1959), Hays *et al.* (1976), Muller y MacDonald (1997), Paillard (2001), Raymo (1991), Woerkom (1953). Por otro lado, ya entrado el siglo XX, se seguía manteniendo la discusión sobre la verdadera naturaleza glacial de ciertos depósitos sedimentarios determinantes para la teoría de los desplazamientos, como por ejemplo las arcillas de Squantum (Massachusetts), inicialmente interpretadas como tillitas (véanse Crowell, 1957; Dott, 1961; Eyles (1993), Rehmer y Hepburn, 1974; Thompson y Bowring, 2000).

- [27] La idea de puentes intercontinentales había sido invocada ya desde el siglo XVII para poder explicar el poblamiento humano de Norteamérica, bien a través de mares helados (Hornius, 1652) o de auténticas conexiones terrestres (Hale, 1677) (véase, además, Feijoo, 1733). Eduard Suess la desarrollaría posteriormente, entre 1855 y 1909, incorporando sus principales aspectos paleogeográficos en su obra cumbre, *Das Antlitz der Erde*. Esta teoría estuvo muy arraigada hasta bien entrado el siglo XX (véanse algunos ejemplos muy significativos: Furon, 1958, p. 40–43; Le Danois, 1938, p. 59–74; Schuchert, 1932; Simpson, 1940, 1943; Termier y Termier, 1979; Willis, 1932), a pesar de que Vening-Meinesz (1926) había confirmado que la isostasia podía aplicarse tanto a las masas continentales como a los fondos oceánicos, lo que imposibilitaba definitivamente la existencia de los puentes. En 1949 tuvo lugar un simposio en el que se analizaron tanto las ideas a favor como las contrarias sobre las conexiones terrestres en el Atlántico Sur, especialmente durante el Mesozoico (Mayr, 1951, 1952; Holmes, 1953). Sobre la historia de la relación entre los puentes intercontinentales y la isostasia, véase García Cruz (1998b); véanse, además, Du Toit (1944), Godley (1967), Malaise (1972), Tarling (1982).
- [28] Esta referencia que hace aquí Willis a la *teoría de los cráteres de impacto* resulta, cuando menos, *curiosa*. Da la casualidad de que Wegener, durante su estancia en el Physikalischen Institut de Marburgo, había realizado diversos experimentos sobre el origen de los cráteres lunares en el invierno de 1918–19. Al igual que Gilbert (1893), los consideraba el resultado de impactos meteoríticos (Wegener, 1920a,b, 1921c,d; Kraus *et al.*, 1928a,b; véanse también Baldwin, 1949, caps. 3–8; Baldwin y Wilhelms, 1992; Czegka, 1996; Daly, 1947; Drake y Komar, 1984; French, 1990, 2004; Gilvarry y Hill, 1956; Greene, 1998; Koeberl, 1997, 1999; Marvin, 1986, 1990; Monteiro, 2003; Norman, 2005; Pierazzo y Melosh, 2000; Reimold, 2003; Schultz, 2005; Shoemaker, 1998; véase además McCall *et al.*, 2006). La revista *Earth Science History* ha publicado un monográfico [vol.

- 17, N° 2 (1998)] sobre los cráteres de impacto. Por otro lado, esta teoría de los cráteres de impacto fue empleada también como base para explicar el origen y permanencia de los continentes y cuencas oceánicas frente a las ideas de Wegener; véanse, por ejemplo, Gilvarry (1961), Salisbury y Ronca (1966).
- [29] Se ve claramente aquí un rechazo a la metodología hipotético–deductiva.
- [30] Con esta última frase, Bailey Willis recuerda la sentencia de Francis Bacon “La verdad es hija del tiempo”, pero el geólogo norteamericano debió tener en cuenta que el pensador británico, además, añade: “y no de la autoridad” (Bacon, 1620, §84). Esto, a su vez, se remonta hasta Séneca: “Hay que conceder siempre tiempo: el tiempo descubre la verdad” (*Sobre la ira*, II.22.3).
- [31] Chamberlin había expresado con anterioridad su idea sobre la naturaleza de la geología, así como sobre sus aspectos filosóficos (Chamberlin, 1904); véanse también las ideas en este sentido de Gilbert (1886, 1896), Johnson (1933), y la recopilación de Albritton (1963); véanse, además, Barlow (1974), Brown (1974), Cleland (2001), Frodeman (1995), Kleinhans *et al.* (2005), Rogers (1989).
- [32] Esta idea que expresa aquí Chamberlin (más adelante insiste en ello en los puntos 4 y 5) sobre el carácter cíclico y rítmico del registro geológico, está englobada implícitamente toda una filosofía geológica que tiene sus orígenes en el determinismo aristotélico, a la que se opone abiertamente Wegener. Desde el punto de vista orogénico perdura hasta la actualidad como una controversia geológica más; véase, por ejemplo, Şengör (1991, p. 405–473). En relación con una visión moderna sobre la naturaleza del registro geológico en general, véanse, por ejemplo, Ager (1973), Hilgen *et al.* (1997), Valentine (1977).
- [33] Algunos autores, como por ejemplo Berman (2005), Wilson (1968a), o Winchester (2003), achacan a Chamberlin la autoría de esta frase. Sin duda, se trata de un error, puesto que precisamente la cita como ajena el propio Chamberlin en esta contribución al Simposio de la AAPG. En las actas del 35° encuentro anual de la Geological Society of America celebrado en 1922 en Ann Arbor, Michigan (Berkey, 1923), no se hace la más mínima referencia a Wegener ni a su teoría. Chamberlin estuvo presente, pero no participó en ninguna de las tres sesiones, y tampoco hay constancia de que interviniera en los debates oficiales. Es probable que semejante, y en cierto sentido exagerada, “profecía” se hiciera en alguna conversación informal, por lo que resulta imposible identificar a su autor. Cualquier sugerencia al respecto carece, pues, de una base documentada.
- [34] Aunque la interpretación de Molengraaff de la dorsal mesoatlántica, en general, es correcta, la idea que se expresa en estas últimas líneas, condicionando la extrusión del material volcánico a la separación de los continentes, es errónea (si no tenemos en cuenta el concepto de *placa activa*). Esa misma idea, sugerida también por O. Ampferer en 1925, la retomaría con un sentido en principio, más correcto, primero Holmes (1931), y décadas después Hess (1960, 1962) y Dietz (1961) al plantear la expansión de los fondos oceánicos (véanse, además, Hess, 1955; Fisher y Hess, 1963; Meyerhoff, 1968; Revelle, 1964; Thenius, 1984, 1988), hipótesis que posteriormente se vería apoyada por los trabajos de Vine y Matthews (1963). Con respecto a la placa activa, no podemos considerar como precursora la idea de Molengraaff, puesto que no abundó en este sentido. Dentro del concepto de *placa activa* (que no ha dejado de ser una hipótesis más o menos aceptable; véase Forristall, 1972), el volcanismo en las dorsales podría estar también motivado por la

separación de las placas (véase Cox y Hart, 1986, p. 338–343). Quizás la relación entre volcanismo y movimiento de placas sea una especie de mutua influencia, aunque en su origen, el proceso inicial, que provocó además la fracturación de los continentes, debió ser la extrusión volcánica (véase Storey *et al.*, 1992).

- [35] Esta disposición se basaba en la *teoría geométrica* de la Tierra como consecuencia de la contracción (véase la nota [4]). Su origen se remonta a la comparación que hizo Élie de Beaumont (1829, 1850) de las analogías cristalográficas, establecidas por René J. Haüy, con la esfera terrestre para la formación y disposición de las montañas, según su idea de dar una explicación matemática para los fenómenos geológicos. Abandonada su *simetría octaédrica* inicial, propuso una *red pentagonal* basada en el icosaedro. En esta red se aco-
plaban los sistemas montañosos europeos en las intersecciones de quince anillos que rodeaban la estructura *icosaédrica* de la Tierra. Algunos años después, W.L. Green, en un artículo de 1857 (como libro en 1875), propuso su modelo *tetraédrico* para poder explicar la aparente distribución asimétrica de continentes y océanos en el hemisferio sur. El *colapso* de esta estructura geométrica daba lugar a las cadenas montañosas. Esta teoría, dentro de la unificación entre geografía y geología, fue utilizada también en diversos modelos cartográficos (véase, por ejemplo, Beguyer de Chancourtois, 1874). La nueva geofísica que surgió a principios del siglo XX dio al traste con esta teoría, aunque como se ve, aún se hacía referencia en cierto sentido a ella; véanse Bertrand (1900a,b), Gregory (1899), Hobbs (1921, p. 84–85), Holmes (1965, p. 17–18), Meunier (1911, cap. IV, p. 114–128), Oreskes (1999, p. 13–14), Sacco (1906), Vallaux (1933, p. 23–24), Wood (1985, p. 14–23). Incluso, en el marco de la tectónica de placas, se ha vuelto al análisis tetraédrico de la estructura de la Tierra (Schmutz, 1986).
- [36] Durante la expedición del *Beagle* (1832–36), Charles Darwin había realizado numerosas observaciones geológicas que forman parte de las aportaciones que configuran al naturalista inglés como un brillante geólogo (Herbert, 1985, 1986; Laporte, 1996). Estas se publicaron en 1840, en los *Diarios de Investigación* del viaje, y más tarde en 1842, dentro de los estudios geológicos desarrollados durante el viaje del *Beagle*. Sobre el origen de los arrecifes de coral, había emitido su *teoría de la subsidencia* en un trabajo sobre la estructura y distribución de estas formaciones (1835), y posteriormente en una conferencia en la Geological Society de Londres (1837). Su explicación para el origen de las estructuras coralinas se basaba en dos ideas clave: por un lado, existían zonas de la Tierra que se hundían y, simultáneamente, otras que se elevaban (de acuerdo con la idea del *estado estacionario* de Lyell), y, por otro, los organismos implicados solo podían vivir en aguas someras y cálidas. Inicialmente, los corales crecían en torno a islas volcánicas; estas alcanzaban el nivel del mar como consecuencia de la *subsidencia* de la cuenca oceánica, y por el alto grado de erosión debido al clima de estas regiones. Conforme se producía el hundimiento de la isla, los corales iban creciendo hacia arriba, y así sobrevivían casi relegados a la zona intermareal, a partir de la cual continuaba la formación del arrecife. Los *atolones*, por ejemplo, los relacionaba con *conos volcánicos sumergidos*. Esta teoría dio lugar a una interesante controversia, con algunas alternativas importantes, durante casi un siglo. Daly (1910, 1915, 1916) basaba tanto el origen como las estructuras recifales en el control glacial de las variaciones en el nivel del mar, mientras que Krämer (1927) condicionaba su formación a depósitos sedimentarios. Entre los defensores de la teoría darwiniana destacó el

- geomorfólogo Davis (1915, 1928a,b, 1929). Los estudios realizados en el Pacífico tras la Segunda Guerra Mundial apoyan tanto las ideas de Darwin como las de Daly; véanse también Burkhardt (1984), Dana (1853, cap. III y V), Holmes (1965, p. 319–322), Lyell (1832, vol. II, p. 288–291; 1838, p. 123), Montgomery (1998), Stoddart (1976, 1994, 1998a,b), Shepard (1963, p. 248–254), Strahler (1987, p. 253–254), Tarbuck y Lutgens (1999, p. 410–412). Véase Braithwaite *et al.* (2000) para un nuevo modelo.
- [37] La Unión Astronómica Internacional siguió interesándose sobre este tema. Se celebraron diferentes simposios, N° 11 (1958), N° 32 (1967), N° 48 (1971), N° 82 (1978) y N° 128 (1986), sobre diversos aspectos de interés para la deriva continental (el N° 32 se dedicó expresamente también a ella), como el movimiento secular del polo o la rotación de la Tierra, que aportaron datos sumamente importantes al respecto; véanse Brouwer (1959), Markowitz y Guinot (1968), Melchior y Yumi (1972), McCarthy y Pilkington (1979), Babcock y Wilkins (1988); véase además Aksirov (1995). También los estudios sobre la latitud fueron transcendentales para la geología movilista; véanse Höpfner (1999, 2000), Irving (2005). La existencia de una red mundial *fija* de estaciones geofísicas ha sido de gran importancia para la verificación de la teoría de los desplazamientos continentales. Dicha red es un buen ejemplo de las primeras colaboraciones científicas internacionales, y es además una de las grandes deudas que la ciencia tiene con el geógrafo y explorador alemán Alexander von Humboldt (1769–1859). A su regreso, en 1829, de su última expedición realizada a Siberia, convenció al gobierno ruso de la necesidad de tener disponibles de forma continua datos geomagnéticos y climatológicos. Esto era inviable si tales determinaciones estaban a merced exclusivamente de posibles expediciones. Así se comenzó con la creación de una primera red fija de observatorios en Rusia, que posteriormente se extendería a otros países europeos y del resto del mundo. Sobre Humboldt, véanse Botting (1973), Fernández Pérez (2002).
- [38] Esta cita de Schuchert parece ser una paráfrasis de Eclesiastés, 3, 10: “Yo he mirado el trabajo que Dios ha dado a los hijos de los hombres para que en él se ocupen”, y se refiere a que solo las cosas mundanas, en este caso la deriva continental, son susceptibles de ser discutidas por el hombre.
- [39] La *teoría de la permanencia*, surgida en Norteamérica a mediados del siglo XIX, sostenía que tanto los continentes como los fondos oceánicos estaban formados por materiales diferentes, y por lo tanto no eran —ni habían sido— caracteres *intercambiables*. En concreto, los grandes caracteres de la corteza terrestre, especialmente los viejos escudos continentales, y algunos océanos como el Pacífico, se habían mantenido estables desde hacía cientos de millones de años. Esta idea era una consecuencia directa de la teoría de la contracción defendida por Dana, y estaba en contraposición con la versión de Suess sobre la contracción debida también al enfriamiento del planeta. A finales de la primera mitad del siglo XX, Vening–Meinesz había propuesto la teoría de la falla mundial para explicar precisamente la permanencia de los continentes como grandes caracteres terrestres (Vening–Meinesz, 1947; Sonder, 1947; véanse, además, Carr, 1966). Como ha señalado Oreskes (1999, p. 17), el término “permanencia” era un *contrasentido*, puesto que Dana creía que la Tierra se estaba contrayendo, y por lo tanto cambiaba. La primera discusión crítica sobre la permanencia de los continentes y océanos la realizó Edward Forbes en 1846, y se basaba en sus estudios sobre la distribución biogeográfica tanto de flora como de fauna en

- las Islas Británicas; Eduard Suess también criticó la permanencia de las cuencas oceánicas (Suess, 1893, 1895); véanse los principios fundamentales del permanentismo en Willis (1910), y una síntesis en Oreskes (1999, p. 14–20); véase, además, Taylor (1950).
- [40] Sobre el carácter de Francis Bacon como precursor de la deriva, véase lo comentado en la p. 22 del *Prefacio*.
- [41] En esos años se aceptaba que la Tierra tenía una edad en torno a los 1.500–1.600 Ma. No fue sino a partir de los años 1940–50 cuando esa cifra pasó a los 4.500–4.600 Ma que se toman actualmente; véanse Knopf *et al.* (1931) y Rayleigh *et al.* (1921) como ejemplo de documentos originales sobre esta controversia científica, y algunos estudios interesantes, entre otros, Burchfield (1975), Dalrymple (1991), Eicher (1968), Hallam (1983, p. 81–108; 1988), Lewis (2000), Lewis y Knell (2001); véanse también Allègre *et al.* (1995), Dalrymple (2004), Halliday (1997) y Zhang (2002).
- [42] *En ruta, por el camino* (en francés en el original).
- [43] La Ley o Principio de Uniformidad aplicado a las ciencias de la Tierra, conocido mejor como Actualismo–Uniformitarismo, sostiene que las leyes naturales han actuado siempre con la misma intensidad y de la misma forma, tanto en el pasado como en el presente. Sin embargo, en la idea de Lyell sobre la uniformidad existen realmente múltiples dignificados que ya han sido señalados por diversos autores. Gould (1965; 1984, p. 10–12; 1987, p. 136–145), por ejemplo, distingue los conceptos de uniformidad de la *ley* (uniformitarismo metodológico), de los *procesos* (verdadero actualismo), de la *tasa* o *intensidad energética* (gradualismo o uniformitarismo sustantivo), y de las *condiciones* (o no-direccionalismo que conducen a un estado de equilibrio dinámico); véanse, además, Albritton (1967), Cabezas Olmo (2002, 2003), Camardi (1999), García Cruz (1998c, 1999a, 2000, 2001a), Hooykaas (1959), Rudwick (1972), Sequeiros (1997) y Simpson (1963). En este caso, Schuchert cuestiona el pensamiento lyelliano en relación con la uniformidad de los procesos y con el actualismo, pero acepta el uniformitarismo metodológico.
- [44] Según la “tradición”, esta famosa frase (*Eppur, si muove!*) se le atribuye a Galileo. Sin embargo, no existe prueba alguna de que realmente estas palabras las pronunciase el científico italiano después de que la Inquisición le obligase a retractarse de sus ideas heliocéntricas; véanse Solís (1974, p. 32), Lerner y Gosselin (1987).
- [45] Charles Schuchert denominó *mares epíricos* (*epeiric seas*, en el original inglés; del griego *Ἠπειρος*, continente, tierra firme principal) a aquellos mares someros e interiores que se encuentran dentro de los continentes (Schuchert, 1915, p. 75–76), y a los que James D. Dana había llamado *mares interiores* o *continentales* (Dana, 1863). Actualmente se les denomina *mares epicontinentales*.
- [46] *Ganar un lugar en el sol*, refrán británico que significa *alcanzar las condiciones favorables para el desarrollo de algo*.
- [47] Evidentemente, el concepto de *placas continentales* (en el original, *continental plates*) utilizado aquí por Longwell no tiene el mismo significado que el actual de *placa tectónica*; véanse Wilson (1965), Morgan (1968).
- [48] En la actualidad, la hipótesis planetesimal, con todas sus transformaciones desde su origen, es prácticamente la más aceptada por la ciencia; véanse Newton y Jones (1990), Ruskol (1981), Woolfson (1993).

- [49] Se refiere a Thomas C. Chamberlin (1843–1928), padre de Rollin T. Chamberlin. Por otro lado, esta teoría considera la rotación planetaria resultado de la atracción gravitatoria (véanse al respecto, por ejemplo, Euler, 1758; Lagrange, 1788; Poincot, 1834). Más que en su origen, actualmente el interés se centra en las irregularidades de la rotación terrestre (Lambeck, 1980, p. 6); véanse, además, Sconzo (1980), Slabinski (1981), Wahr (1988).
- [50] Sir Isaac Newton fue el primero en explicar esta relación entre las mareas y las fuerzas gravitatorias conjuntas del Sol y la Luna (Newton, 1728, tomo 2, p. 660–665); véanse una excelente historia de las ideas sobre las mareas en Cartwright (1999) y Ekman (1993).
- [51] La importancia dada aquí por White a los geofísicos en el tema de la deriva continental, se vio confirmada tras los decisivos estudios tanto paleomagnéticos como sismológicos en los años 1950–60; véanse Bucha y Krs (1981), Cox (1969), De Vuyt (1969a,b, 1970a,b), Doel (1997), Frankel (1981, 1988), Glen (1982), Irving (1957, 1964, 1988), McKenzie (1977), Nitecki *et al.* (1978), Oreskes y Doel (2002), Pestana *et al.* (1979), Runcorn (1970, 1981), Stern (2002), Voo (1975, 1979); véanse, además, Girdler (1998), Kaiser (1991), Nye (2002), Oliver (1996), Stehli (1973).
- [52] Dentro de la crítica a la metodología usada por Wegener, se repite aquí la acusación, hecha por Willis (p. 148), de actuar más como un *abogado* que como un *científico*. Parece ser que siempre que se trata de oponerse a un cambio de paradigma, se echa mano de esta acusación. Esta fue la crítica efectuada por Sedgwick sobre el lenguaje de abogado utilizado por Charles Lyell (1830–33) en sus *Principles of Geology*, aunque en este caso usado con cierta “propiedad”, puesto que Lyell realmente lo era. Véase a este respecto el análisis de Rudwick (1972, p. 164–217).
- [53] Literalmente: *No se sigue, no se infiere*; expresión latina en el campo de la Lógica aplicable a toda conclusión que no se deduce a partir de unas determinadas premisas; conclusiones *ilógicas, no deducibles o inaceptables*.
- [54] Berry, al igual que algunos otros participantes en este simposio, se manifiesta, de una forma bastante evidente en estos dos primeros párrafos, en contra del método hipotético–deductivo (utilizado por Wegener), estando implícitamente a favor del inductivismo, bajo la influencia de la filosofía positivista. No obstante, Wegener (1929, p. 151) se contradice respecto del método utilizado.
- [55] A pesar de todo, algunos comentarios alegados por diversos autores en el Simposio (Willis, p. 147; Chamberlin, p. 148; Berry, p. 257) han sido relacionados con la pseudociencia. Véase Edelman (1988).
- [56] Este punto continúa sin resolverse satisfactoriamente a pesar de todas las propuestas efectuadas al respecto; véanse, entre otros, Bercovici (2003), Cox y Hart (1986), Gidon (1963), Hynes (1990), Phillips y Bunge (2005), Richards *et al.* (2000), Roper (1974), Windley (1993). Por otro lado, en el encuentro anual (diciembre/2000) de la American Geophysical Union celebrado San Francisco (AGU, 2000; Levy, 2001) se presentaron diversos trabajos que trataban sobre el mecanismo de la Tectónica Global. En dicho encuentro se ha visto la permanencia de dos grupos de científicos bien diferenciados: por un lado, los que piensan que el motor es la *convección del manto*, y por otro, los que achacan a las *fuerzas gravitacionales* (subducción) la dinámica de las placas. También en los últimos años se ha emitido una *teoría hidrotectónica* como mecanismo motor general de la

dinámica terrestre (Soler Licerias, 2000, preferentemente p. 57–75). Quizás, y una vez más en geología, la solución deba tener una respuesta *ecléctica*.

- [57] *Plegamientos basales* (en francés en el original). Émile Argand (1879–1940), a la sazón uno de los grandes defensores de la deriva continental, en su obra sobre la tectónica de Asia, consideraba que todas las áreas de los antiguos escudos continentales formaban parte de lo que llamó *plis de fond*, o pliegues que afectaban a los zócalos o base más profunda de los continentes (Argand, 1924); véanse, también, Ray (2004), Vigouroux (2024).

SUPLEMENTO BIBLIOGRÁFICO

En aquellas obras de difícil acceso por su antigüedad o rareza, al final de cada cita se incluye entre corchetes y con las abreviaturas que se indican más abajo, la institución (preferentemente española) que posee algún ejemplar.

- AWI: Alfred Wegener Institut für Polar– und Meeresforschung, Bremerhaven
- BL: British Library, Londres
- BM: Biblioteca Municipal, Santa Cruz de Tenerife
- BNF: Bibliothèque National de France, París
- BP: Biblioteca personal del autor
- CCHS: Centro de Ciencias Humanas y Sociales (Biblioteca Tomás Navarro), Madrid
- GAUB: Georg–August Universität–Bibliothek, Gotinga
- IGEO: Instituto de Geociencias, Madrid
- IH: Instituto de Historia, Madrid
- IQFR: Instituto de Química Física Rocasolano, Madrid
- JCL: John Crerar Library, Chicago
- MCN: Museu de Ciències Naturals, Barcelona
- MNCN: Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid
- TC: Trinity College, Dublín
- UA: Universidad Autónoma, Barcelona
- ULL: Universidad de La Laguna, Biblioteca Central de Guajara
- UST: Università degli Studi di Torino, Biblioteca di Geografia

- ACCORDI, B. y PALMIERI, E.P. (1991). *Il globo terrestre e la sua evoluzione*. Zanichelli, Bologna.
- ACOSTA, J. de (1590). *Historia natural y moral de las Indias*. Hispano–Americana de Publicaciones, Sevilla (facsimile 1987 de la 6ª ed. de 1792), tomo I.
- ADAMS, F.C. (2010). The birth environment of the solar system. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 48, 47–85.
- ADAMS, F.D. (1938). *The birth and development of the geological sciences*. Dover, Nueva York (ed. 1990).
- AGASSIZ, L. (1837). Discours prononcé à l'ouverture des séances de la Société Helvétique des Sciences Naturelles à Neuchâtel le 24 juillet 1837. *Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles*, 22, 369–394.
- AGASSIZ, L. (1838). Upon glaciers, moraines and erratic blocks. *Edinburgh New Philosophical Journal*, 24, 364–383 [versión inglesa de Agassiz (1837)].
- AGASSIZ, L. (1840). *Études sur les glaciers*. Jent et Gassmann, Neuchâtel [existen algunos extractos de esta obra en versión inglesa en Mather y Mason (1939, p. 329–335)]. [MNCN]
- AGASSIZ, L. (1842). The glacial theory and its recent progress. *Edinburgh New*

- Philosophical Journal*, 33, 217–283.
- AGER, D.V. (1973). *The nature of the stratigraphical record*. J. Wiley, West Sussex (3ª ed. 1993).
- AGU (1998). *Fall Meeting*. December, 6–10/1998. San Francisco (CA) (Program and abstracts).
- AGU (2000). Fall Meet Suppl. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 81(48), Abstracts XXXXX–XX.
- AIRY, G.B. (1845). Figure of the Earth. *Encyclopaedia Metropolitana*, 5, 165–240.
- AIRY, G.B. (1855). On the computation of the effect of the attraction of mountain-masses, as disturbing the apparent astronomical latitude of stations in geodetic surveys. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London, Series B*, 145, 101–104.
- AKSIROV, M.M. (1995). New light on old problems in geology. *GeoJournal*, 37(4), 391–403.
- AL-BIRUNI, A.R. (c. 1030). *Tahdid al-Amakin*. Majallat al-Makhtutat al-arabiyya, El Cairo. (ed. francesa de P.G. Bulgakov, 1962) [existe trad. inglesa: Ali, H. (ed.) (1967). *Tahdid al-Amakin. The determination of the coordinates of positions for the correction of distances between cities*. American University of Beirut, Beirut]. [CCHS]
- ALBRITTON, C.C., Jr. (ed.) (1963). *Filosofía de la Geología*. CECSA, México (trad. castellana 1970).
- ALBRITTON, C.C., Jr. (ed.) (1967). *Uniformity and simplicity. A symposium on the principle of the uniformity of nature*. (GSA, Nueva York, noviembre/1963). Geological Society of America, Special Paper No. 89.
- ALDRICH, M.L. (1970). Taylor, Frank Bursley. En: Gillispie, C.C. (ed.). *Dictionary of Scientific Biography*. C. Scribner, Nueva York, vol. XIII, p. 269–271.
- ALLÈGRE, C. (1983). *L'écume de la Terre*. Fayard, París.
- ALLÈGRE, C. y COURTILLOT, V. (1999). Revolutions in the Earth sciences. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 354(1392), 1915–1919.
- ALLÈGRE, C.J., MANHÈS, G. y GÖPEL, C. (1995). The age of the Earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(8), 1445–1456.
- ALMEDA, L., PÉREZ, C. y VIZCAINO, M. (2001). La teoría de Wegener acerca del desplazamiento horizontal de los continentes. En: Llorente, J.B. y Morro-ne, J.J. (eds.). *Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Instituto de Ecología Ecosur, UNAM, México, p. 171–180.
- ÁLVAREZ MUÑOZ, E. (2004). *Filosofía de las ciencias de la tierra. El cierre cate-*

- gorial de la geología. Pentalfa, Oviedo.
- ALLWARDT, A. (1987). Hess, Menard, and Wegener: Thoughts on thoughts in the plate-tectonics revolution. *Geology*, 15(5), 475.
- ÁLVAREZ, W. (1982). Geological evidence for the geographical pattern of mantle return flow and the driving mechanism of plate tectonics. *Journal of Geophysical Research*, 87(B8), 6697–6710.
- AMPFERER, O. (1906). Über das Bewegungsbildung von Faltengebirgen. *Jahrbuch der Kaiserlich-königlichen geologischen Reichsanstalt* (Wien), 106, 539–622.
- AMPFERER, O. (1925). Über Kontinentalverschiebungen. *Naturwissenschaften*, 13(31), 669–675.
- ANDEL, T.H. van (1985). *New views on an old planet: continental drift and the history of earth*. Cambridge University Press, Cambridge–Nueva York (2ª ed. 1994).
- ANDERSEN, H. (1998). Characteristics of scientific revolutions. *Endeavour*, 22(1), 3–6.
- ANDERSON, A.H. (1971). *The drifting continents*. G.P. Putnam, Nueva York.
- ANDERSON, D.L. (1982). Hotspots, polar wander, Mesozoic convection, and the geoide. *Nature*, 297(5865), 391–393.
- ANDERSON, D.L. (1994). Superplumes or supercontinents? *Geology*, 22(1), 39–42.
- ANDERSON, D.L. (2002). Occam's razor: Simplicity, complexity, and global geodynamics. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 146(1), 57–76.
- ANDERSON, D.L. (2006). Plate tectonics; the general theory: Complex Earth is simpler than you think. *Geological Society of America Special Paper*, 413, 29–38.
- ANGUITA, F. (1982). Una comparación entre Charles Darwin y Alfred Wegener, sus actitudes científicas y la aceptación de sus teorías. *Actas del II Simposio Nacional sobre la Enseñanza de la Geología*, Gijón, septiembre/1982, p. 274–287.
- ANGUITA, F. (1983). Epílogo: La teoría de Alfred Wegener y la nueva Geología. *En: Wegener (1929)*, p. 195–219.
- ARGAND, É. (1924). La tectonique de l'Asie. *Compte Rendus de la XIII^e Congrès International de Géologie* (Bruxelles, août/1922), 1(5), 171–372 [existe trad. inglesa como libro: *Tectonics of Asia*. Hafner, Nueva York (1977)].
- ARONS, A.B. (1965). Radiactividad. *En: Evolución de los conceptos de la física*. Trillas, México (trad. castellana 1970), cap. 23, p. 803–827.
- ASIMOV, I. (1960). *Nueva Guía de la Ciencia*. Ciencias Físicas. RBA, Barcelona (trad. castellana 1993).
- ASQUITH, P.D. y HACKING, I. (eds.) (1981). Philosophical consequences of the recent revolution in geology. *Proceedings of Biennial Meeting of the Philosophy*

- of Science Association (PSA 1978)*, 2(vi), 197–273.
- AUBOUIN, J. (1959). A propos d'un centenaire: les aventures de la notion de Géosynclinal. *Revue de Géographie Physique et Géologie Dynamique*, Nouvelle Serie, 2(3), 135–188.
- AUBOUIN, J. (1961). Propos sur les géosynclinaux. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7e Sér., 3(7), 629–711.
- AUBOUIN, J. (1965). *Geosynclines*. Elsevier, Amsterdam.
- AYALA-CARCEDO, F.J. (2004). Las ciencias de la Tierra y la Biblia. Una aproximación desde la razón científica. *Investigaciones Geográficas* (Anales de la Universidad de Alicante), 34, 4–103.
- AYALA-CARCEDO, F.J., PEREJÓN, A., JORDÁ, L. y PUCHE, O. (2005). The XIV International Geological Congress of 1926 in Spain. *Episodes*, 28(1), 42–47.
- BABBAGE, C. (1838). *The Ninth Bridgewater Treatise: A fragment*. J. Murray, Londres (2ª ed.) [reedición en: Frank Cass, Londres (1967)]. [BL]
- BABOCK, A.K. y WILKINS, G.A. (eds.) (1988). *Rotation of the earth*. I.A.U. Symposium No. 128, Coolfont, West Virginia, U.S.A., 20–24 octubre, 1986. Kluwer, Dordrecht.
- BACLAWSKI, D.K. (2007). The development of Frank Taylor's geological theories as illustrated from his letters –an example of biography and critical issues. *Annual Meeting of the Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 39(6), 381.
- BACON, F. (1620). *Novum organum*. Sarpe, Madrid (trad. castellana 1984).
- BAILEY, E.B. (1967). *James Hutton, the founder of modern geology*. Elsevier, Amsterdam.
- BAILLY, J.S. (1781–1785). *Histoire de l'Astronomie Moderne*. Freres de Bure, París, 3 vols. [BL]
- BAKER, H.B. (1911). *The origin of the moon*. Free Press, Detroit.
- BAKER, H.B. (1912). The origin of continental forms. *14th Report of the Michigan Academy of Science*, p. 116–141.
- BAKER, H.B. (1913a). The origin of continental forms: Discussion of Mr. Taylor's Theory. *15th Report of the Michigan Academy of Science*, p. 26–32.
- BAKER, H.B. (1913b). The origin of continental forms. *15th Report of the Michigan Academy of Science*, p. 107–113.
- BAKER, H.B. (1914). The origin of continental forms. *16th Report of the Michigan Academy of Science*, p. 99–103.
- BAKER, H.B. (1932). *The Atlantic rift and its meaning*. Mimeografía, Detroit.
- BAKER, H.B. (1936). Structural features crossing Atlantic ocean. *Pan-American*

- Geologist*, 66, 1–11.
- BAKER, V. (1999). The methodological beliefs of geologists. *Earth Sciences History*, 18(2), 321–335.
- BALDWIN, R.B. (1949). *The face of the moon*. Chicago University Press, Chicago.
- BALDWIN, R.B. y WILHELMS, D.E. (1992). Historical review of a long-overlooked paper by R.A. Daly concerning the origin and early history of the Moon. *Journal of Geophysical Research*, 97(3), 3837–3843.
- BARBER, B. (1961). Resistance by scientists to scientific discovery. *Science*, 134 (3479), 596–602 [reimpreso en: Barber, B. y Hirsch, W. (eds.) (1962). *Sociology of science*. The Free Press, Nueva York, p. 539–556].
- BARDSLEY, W.E. (1991). Some thoughts on the automated generation and selection of hypotheses in the earth sciences. *Mathematical Geology*, 23(2), 241–256.
- BARLOW, J.A. (1974). Induction, deduction, and irrationality in geologic reasoning: Comment. *Geology*, 2(12), 571–572.
- BARR, J. (1985). Why the world was created in 4004 BC: Archbishop Ussher and biblical chronology. *Bulletin of the John Rylands University Library of Manchester*, 67(2), 575–608.
- BARR, J. (1999). Pre-scientific chronology: The Bible and the origin of the world. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 143(3), 397–387.
- BARRELL, J. (1914). The strength of earth's crust. *Journal of Geology*, 22(5), 441–468.
- BARRELL, J. (1919). The status of the theory of isostasy. *American Journal of Science*, 48(4), 291–338.
- BARTO-KYRIAKIDIS, A. (ed.) (1990). *Critical aspects of the plate tectonics theory*. Theophrastus, Atenas, 2 vols.
- BARTON, C. (2002). Marie Tharp, oceanographic cartographer, and her contributions to the revolution in the Earth sciences. En: Oldroyd, D. (ed.). *The earth inside and out: Some major contributions to Geology in the 20th Century*. Geological Society of London, Sp. Publ., 192, 215–228.
- BEATY, C. (1978). Ice ages and continental drift. *New Scientist*, 80, 776–777.
- BECK, M.E., Jr. y BERKLAND, J.O. (1979). Elisée Reclus; neglected geologic pioneer and first (?) continental drift advocate; discussion and reply. *Geology*, 7(9), 418–419.
- BEEKHUIS, C. (1962). *Earth-cataclysms. A theory of drift and a historic review of the geological adventures of our earth's surface*. Holten (Holanda).
- BEGUYER DE CHANCOURTOIS, A.E. (1874). Carte du globe en projection

- gnomique avec le réseau pentagonal superposé. *Société Géographique, Bulletin*, série 6, 7, 291–297.
- BELL, W.C. (1959). Uniformitarianism; or uniformity. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 43(12), 2862–2865.
- BELOUSSOV, V.V. (1962). *Problemas básicos de geotectónica*. Omega, Barcelona (trad. castellana 1971).
- BELOUSSOV, V.V. (1967). Against continental drift. *Science Journal* (January), 56–61.
- BELOUSSOV, V.V. (1979). Why do I not accept plate tectonics? *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 60(17), 207–211.
- BELOUSSOV, V.V. (1990). Certain trends in present-day geosciences. En: Barto–Kyriakidis (1990), vol. 1, p. 3–15.
- BELOUSSOV, V.V. y WILSON, J.T. (1968). Debate about the Earth. *Geotimes*, 12, 17–22.
- BEMMELEN, R.W. van (1972). *Geodynamic models: an evaluation and a synthesis*. Elsevier, Amsterdam.
- BENNDORF, H. (1931). Alfred Wegener. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, 31, 337–377.
- BERCOVICI, D. (2003). The generation of plate tectonics from mantle convection. *Earth & Planetary Science Letters*, 205(3–4), 107–121.
- BERGER, A.L. (1988). Milankovitch theory and climate. *Reviews of Geophysics*, 26(4), 624–658.
- BERGER, A.L. y LOUTRE, M.F. (2004). Astronomical theory of climate change. *Journal de Physique IV France*, 121, 1–35.
- BERGER, A.L., IMBRIE, J., HAYS, J., KUKLA, G. y SALTZMAN, B. (eds.) (1984). *Milankovitch and climate. Understanding the response to astronomical forcing*. D. Reidel, Dordrecht, 2 vols.
- BERKEY, C.P. (ed.) (1923). Proceedings of the thirty-fifth annual meeting of the Geological Society of America. Ann Arbor (MI), December 28–30/1922. *Geological Society of America Bulletin*, 34(1), 1–116.
- BERKLAND, J.O. (1979). Elisée Reclus: neglected geologic pioneer and first (?) continental drift advocate. *Geology*, 7(4), 189–192.
- BERMAN, A.E. (2004). New ideas and their diffusion. *Houston Geological Society Bulletin*, 47(4), 9–17.
- BERMAN, A.E. (2005). The Northern Sumatra Earthquake of 2004: Forty years of ignoring Plate Tectonics. *Houston Geological Society Bulletin*, 47(6), 9–19.
- BERNHARDT, K. (1981). Die Beiträge Alfred Wegeners zur Physik der Atmosphäre. *Zeitschrift für Meteorologie*, 31, 342–352.

- BERTRAND, M. (1884). Rapports de structure des Alpes de Glaris et du bassin houiller du Nord. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 3^e série, 12, 318–330.
- BERTRAND, M. (1887). La chaîne des Alpes et la formation du continent européen. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 3^{me} série, 15, 423–447.
- BERTRAND, M. (1894). Structures des alpes françaises et récurrence de certain faciès sédimentaires. *Comptes Rendus, Congrès International de la Géologie*, 6^e session, p. 163–177.
- BERTRAND, M. (1897). Préface. En: Suess, E. (1885). *La face de la terre*. A. Colin, Paris (trad. francesa 1897), tomo I, p. v–xv. [MNCN]
- BERTRAND, M. (1900a). Déformation tétraédrique de la terre et déplacement du pole. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, 130(8), 449–464.
- BERTRAND, M. (1900b). Sur la symétrie tétraédrique du globe terrestre. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, 130(10), 614–622.
- BEURLIN, K. (1981). Die Kontinentaldrift: von Wegener zur modernen Platten-tektonik. *Bericht Naturforschende Gesellschaft Bamberg*, 56, 12–63.
- BILLINGS, M.P. (1942). *Structural geology*. Prentice–Hall, Englewood Cliffs (NJ) (2^a ed. 1954).
- BILLINGS, M.P. (1960). Diastrophism and mountain building. *Geological Society of America Bulletin*, 71(4), 363–397.
- BINDER, A.B. (1981). The moon: its structure, origin and development. *Proceedings of Alpbach Summer School*, 29 Jul. –7 Aug. (ESA SP–164, Nov.), p. 175–178.
- BIROT, P. (1958). *Morphologie structurale*. Tomo II: *Types d'évolution du relief. Théories orogéniques*. Press Universitaire de France, Paris.
- BISCHOFF, G. (1985). Die tektonische Evolution der Erde von Pangäa zur Gegenwart. Ein platentektonisches Modell. *Geologische Rundschau*, 74(2), 237–249.
- BISHOP, A.C. (1981). The development of the concept of continental drift. En: Cocks, L.R.M. (ed.). *The evolving earth*. British Museum, Londres, p. 155–164.
- BLACK, G.W., Jr. (1979). Frank Bursley Taylor – Forgotten pioneer of continental drift. *Journal of Geological Education*, 27, 67–70.
- BLACKETT, P.M.S., BULLARD, E. y RUNCORN, S.K. (eds.) (1965). *A symposium on continental drift. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, Vol. 258, No. 1088.
- BLISSENBACH, E. y FELLERER, R. (1973). Continental drift and the origin of certain mineral deposits. *Geologische Rundschau*, 62(3), 812–840.

- BOIS, C., BOUCHE, P. y PELET, R. (1982). Global geologic history and distribution of hydrocarbon reserves. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 66(9), 1248–1270.
- BONATTI, E. y WEZEL, F.C. (eds.) (1995). The ocean floor. Special Issue. *Terra Nova*, 7(6), 569–610.
- BOND, G.C. y KOMINZ, M.A. (1988). Evolution of thought on passive continental margins from the origin of geosynclinal theory (~1860) to the present. *Geological Society of America Bulletin*, 100(12), 1909–1933.
- BOOTH, B. y FITCH, F. (1979). *La inestable tierra*. Salvat, Barcelona (trad. castellana 1986).
- BOTT, M.H.P. (1964). Convection in the earth's mantle and the mechanism of continental drift. *Nature*, 202(4932), 583–584.
- BOTT, M.H.P. (1982). *The interior of the Earth: its structure, constitution and evolution*. E. Arnold, Londres (2ª ed.).
- BOTTING, D. (1973). *Humboldt y el Cosmos*. Ed. del Serbal, Barcelona (trad. castellana 1981, 2ª reimp. 1985).
- BOUGUER, P. (1749). *La Figure de la Terre*. C.–A. Jombert, París. [MNCN]
- BOURCART, J. (1924). Les origines de l'hypothèse de la dérive des continents. *Revue Scientifique*, A62, 563–564.
- BOWIE, W. (1922). Theory of isostasy; a geological problem. *Geological Society of America Bulletin*, 33(2), 273–286.
- BOWLER, P.J. (2000). Philosophy, instinct, intuition: What motivates the scientist in search of a theory? *Biology and Philosophy*, 15(1), 93–101.
- BOWLER, P.J. y MORUS, I.R. (2005). *Panorama general de la ciencia moderna*. Crítica, Barcelona (trad. castellana 2007).
- BOYLAN, P.J. (1998). Lyell and the dilemma of Quaternary glaciation. En: Blundell, D.J. y Scott, A.C. (eds.). *Lyell: the past is the key of the present*. Geological Society, London, Sp. Publ., 143, 145–159.
- BRAITHWAITE C.J.R., MONTAGGIONI, L.F.G., CAMOIN, F., DALMASSO, H., DULLO, W.C. y MANGINI, A. (2000). Origins and development of Holocene coral reefs: a revisited model based on reef boreholes in the Seychelles, Indian Ocean. *International Journal of Earth Sciences*, 89(2), 431–445.
- BRAND, W. y WEGENER, A.L. (1912). Meteorologische Terminbeobachtungen der Station Pustervig. *Danmark–Ekspeditionen til Grønlands Nordøstkyst 1906–1908*, København. *Meddelelser om Grønland*, 42(6), 447–562.
- BREWSTER, D. (1855). *Memoirs of the life, writings, and discoveries of Sir Isaac Newton*. T. Constable, Edimburgo, vol. 2 (facsimiles en: Johnson Reprint, Nueva York, 1965, y Readex Microprint, Nueva York, 1974). [UA]

- BRIDEN, J.C. (1970). Palaeomagnetic polar wandering. *En: Runcorn* (1970), p. 277–289.
- BRIDGSTOCK, M. (1998). Controversies regarding science and technology. *En: Bridgstock, M., Burch, D., Forge, J., Laurent, J. y Lowe, I. (eds.). Science, Technology and Society: An Introduction*. Cambridge University Press, Cambridge–Nueva York, cap. 5 (preferentemente p. 83–94).
- BRINKMANN, R. (1961). *Compendio de Geología General*. Labor, Barcelona (trad. castellana 1964).
- BRITO NEVES, B.B. de y ALKMIM, F.F. (1993). Cráton: Evolução de um conceito. *En: Dominguez, J.M.L. y Misi, A. (eds.). II Simpósio do Cráton do São Francisco*. SBG/SME–Núcleo Bahia–Sergipe, p. 1–10.
- BROC, N. (1969). *Les montagnes vues par les géographes et les naturalistes de langue française au XVIII siècle: Contribution a l'histoire de la geographie*. Ed. du Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, París.
- BROCKAMP, B. (1959). *Erweiterter Nachtrag zu den wissenschaftlichen Ergebnissen der Deutschen Grönland–Expedition Alfred Wegener*. Deutsche Geodätische Kommission. Reihe B. Hft. 48, Munich.
- BROECKER, W.S. (1966). Absolute dating and the astronomical theory of glaciation. *Science*, 151(3708), 299–304.
- BROECKER, W.S. y DONK, J. van (1970). Insolation changes, ice volumes, and the O¹⁸ record in deep–sea cores. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 8(1), 169–198.
- BROSCHÉ, P. (1983). Zur kartographischen Darstellung der Kontinentaldrift (Überlegungen für einen ‘Wegener–Atlas’). *International Yearbook of Cartography*, 23, 53–62.
- BROUWER, A. (1981). From Eduard Suess to Alfred Wegener. *Geologische Rundschau*, 70(1), 33–39.
- BROUWER, A. (1983). Was veranlasste Alfred Wegener zum Studium der Kontinentverschiebung? *Geologische Rundschau*, 72(2), 739–741.
- BROUWER, D. (ed.) (1959). *The rotation of the Earth and atomic time standards*. I.A.U. Symposium No. 11, Moscú, Agosto 1958. *En: Astronomical Journal*, 64(1268), 81–124.
- BROWN, B.W. (1974). Induction, deduction, and irrationality in geologic reasoning. *Geology*, 2(9), 456.
- BROWN, G.C. y MUSSETT, A.E. (1981). The formation of the Solar System. *En: The inaccessible earth*. G. Allen & Unwin, Londres, sec. 4.3, p. 47–56.
- BROWN, S.C. (1947). The discovery of convection currents by Benjamin Thompson, Count of Rumford. *American Journal of Physics*, 15(3), 273–274.
- BRUNNSCHWEILER, R.O. (1983). Evolution of geotectonic concepts in the past

- century. *En*: Carey (1983), p. 9–15.
- BRUNO, G. (1584). *La cena de las cenizas*. Alianza, Madrid (trad. castellana 1987).
- BRUSH, S.G. (1977). The origin of the planetesimal theory. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 8(1), 3–6.
- BRUSH, S.G. (1981). From bump to clump: Theories of the origin of the solar system 1900–1960. *En*: Hanle, P.A y Chamberlain, V.D. (eds.). *Space science comes of age: Perspectives in the history of the space sciences*. Smithsonian Institute, Washington, p. 78–100.
- BRUSH, S.G. (1996). *A history of modern planetary physics*. Cambridge University Press, Cambridge–Nueva York. [Vol. I (*Nebulous Earth: The origin of the solar system and the core of the Earth from Laplace to Jeffreys*), y Vol. III (*Fruitful encounters: The origin of the solar system and of the moon from Chamberlin to Apollo*)].
- BUCHA, V. y KRS, M. (1975). Palaeomagnetism and continental drift. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 19(3), 300–305.
- BUDEL, J. (1978). Alfred Wegener. *Die Grossen der Weltgeschichte*, Kindler–Zurich, 11, 460–467.
- BUFFETAUT, E. (2003). Continental drift under the Third Reich. *Endeavour*, 27(4), 171–174.
- BUFFETAUT, E. y LE LOEUFF, J. (1998). *Les mondes disparus: Atlas de la dérive des continents*. Berg International, París.
- BUFFON, G.L.L. (1749). Histoire et Théorie de la Terre. *En*: *Histoire Naturelle, générale et particulière*. Imprimerie Royale, París (5ª ed. 1752), tomo I, Second Discours, p. 93–182. [BM]
- BUFFON, G.L.L. (1769). Animaux communs aux deux continens. *En*: *Histoire Naturelle, générale et particulière*. Imprimerie Royale, París, t. VIII (nouvelle édition), p. 193–238. [BM]
- BUFFON, G.L.L. (1770). De la dégénération des animaux. *En*: *Histoire Naturelle, générale et particulière*. Imprimerie Royale, París, t. XII (nouvelle édition), p. 192–282. [BM]
- BUFFON, G.L.L. (1778). *Las épocas de la naturaleza*. Alianza, Madrid (trad. castellana 1997).
- BULLARD, E.C. (1964). Continental drift. *Quarterly Journal of the Geological Society, London*, 120(1–4), 1–33.
- BULLARD, E.C. (1975). The emergence of plate tectonics: a personal view. *Annual Review of Earth & Planetary Sciences*, 3, 1–30.
- BULLARD, E.C., EVERETT, J.E. y SMITH, A. (1965). The fit of the continents around the Atlantic. *En*: Blackett *et al.* (1965), p. 41–51.

- BULLEN, K.E. (1970). Wegener, Alfred Lothar. *En*: Gillispie, C.C. (ed.). *Dictionary of Scientific Biography*. Charles Scribner's Sons, Nueva York, Vol. XIII, p. 214–217.
- BUNSEN, R.W. (1847a). Über den innern Zusammenhang der pseudovulkanischen Erscheinungen Islands. *Leibigs Annalen der Chemie und Pharmacie*, 62, 1–59.
- BUNSEN, R.W. (1847b). Physikalische Beobachtungen über die hauptsächlichsten Geiser Islands. *Annalen der Physik und Chemie*, 82, 159–170.
- BUNSEN, R.W. (1851). Über die Processe der vulkanischen Gesteins-bildungen Islands. *Annalen der Physik und Chemie*, 83, 197–272 [trad. inglesa: On the processes which have taken place during the formation of the volcanic rocks of Iceland. *En*: Tyndall, J. y Francis, W. (1853) (eds.). *Scientific Memoirs* (Natural Philosophy), vol. I (part 1), Art. II, p. 33–98].
- BUNSEN, R.W. (1853). Recherches sur la formation des roches volcaniques en Islande. *Annales de Chimie et Physique*, 38, 215–289.
- BURCHFIELD, J.D. (1975). *Lord Kelvin and the age of the earth*. University of Chicago Press, Chicago.
- BURK, C.A. (1972). Global Tectonics and world resources. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 56(2), 196–202.
- BURKE, J. (1999). Connections. *Scientific American*, 281(3), 104 [trad. castellana: Anexos. *Investigación y Ciencia*, 274(6), 88].
- BURKHARDT, F. (1984). Darwin's early notes on coral reef formation. *Earth Sciences History*, 3(2), 160–163.
- BURNET, T. (1681). *Telluris Theoria Sacra*. Kettilby, Londres (facsimile en: Readox Microprint, Nueva York, 1968). [UA]
- CABEZAS OLMO, E. (2002). *La Tierra, un debate interminable. Una historia de las ideas sobre la Tierra y el Principio de Uniformidad*. Pressas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza.
- CABEZAS OLMO, E. (2003). ¿Cómo llegó a convertirse el Actualismo en práctica habitual del proceder del geólogo? *Llull, Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 26(55), 35–56.
- CALDER, N. (1972). *The restless Earth: A report on the new geology*. The Viking Press, Nueva York.
- CALSAMIGLIA, G. (1979). Dalla deriva dei continenti alla tettonica a zolle. *Sapere*, 819, 39.
- CAMARDI, G. (1999). Charles Lyell and the Uniformity Principle. *Biology and Philosophy*, 14(4), 537–560.
- CAMERON, A.G.W. (1988). Origin of the Solar System. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 26, 441–472.

- CANUP, R.M. (2004). Dynamics of lunar formation. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 42, 441–475.
- CAPEL, H. (1985). *La física sagrada*. Del Serbal, Barcelona.
- CARÁNDELL, J. (1928). Las ideas tectónicas de Argand. *Conferencias y Reseñas Científicas, Real Sociedad Española de Historia Natural*, II(2 & 3), 1–15.
- CAREY, S.W. (1955). Wegener's South America–Africa assembly, fit or misfit? *Geological Magazine*, 92(3), 196–200.
- CAREY, S.W. (ed.) (1958a). *Continental drift. A symposium*. Dept. Geology, University of Tasmania, Hobart, Symposium No. 5.
- CAREY, S.W. (1958b). The tectonic approach to continental drift. *En: Carey (1958a)*, p. 177–355.
- CAREY, S.W. (1975). The expanding earth – An essay review. *Earth–Science Review*, 11(2), 105–143.
- CAREY, S.W. (ed.) (1983). *Expanding Earth Symposium* (Sydney/1981). University of Tasmania, Hobart.
- CAREY, S.W. (1988). *Theories of the earth and universe. A history of dogma in the earth sciences*. Stanford University Press, Stanford.
- CARLSON, R.W. (1997). Do continents part passively, or do they need a shove? *Science*, 278(5336), 240–241.
- CAROZZI, A.V. (1969). A propos de l'origin des derives continentales: Francis Bacon (1620), François Placet (1668), A. von Humboldt (1801) et A. Snider (1858). *Comptes Rendus, Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève*, 4, 171–179.
- CAROZZI, A.V. (1970). New historical data on the origin of the theory of continental drift. *Geological Society of America Bulletin*, 81(1), 283–286.
- CAROZZI, A.V. (1983). Heinrich Wettstein (1880), a Swiss forerunner of global mobilism. *Earth Sciences History*, 2(1), 41–47.
- CAROZZI, A.V. (1985). The reaction in continental Europe to Wegener's theory of the continental drift. *Earth Sciences History*, 4(2), 122–137.
- CAROZZI, M. (1982). Voltaire's geological observations in "Les singularités de la nature". *Studies on Voltaire and the Eighteenth Century*, 215, 101–119.
- CAROZZI, M. (1983). Voltaire's attitude toward Geology. *Archives des Sciences*, 36(1), 1–145.
- CARR, J.B. (1966). Permanency of the continents. *Nature*, 209(5021), 341–348.
- CARTWRIGHT, D.E. (1999). *Tides. A scientific history*. Cambridge University Press, Cambridge–Nueva York.
- CEBULL, S.E. (1973). Concept of orogeny. *Geology*, 1(3), 101–102.
- CHAMBERLIN, T.C. (1890). The method of multiple working hypotheses. *Science*,

- 15(366), 92–96 [reimpreso en: *Journal of Geology*, 5(8), 837–848 (1897); *Journal of Geology*, 39(2), 155–165 (1931); y *Science*, 148(3671), 754–759 (1965)].
- CHAMBERLIN, T.C. (1899). An attempt to frame a working hypothesis of the cause of glacial periods on an atmospheric basis. *Journal of Geology*, 7(6), 545–584, 667–685, y 751–787.
- CHAMBERLIN, T.C. (1901). On a possible function of disruptive approach in the formation of meteorites, comets and nebulae. *Astrophysical Journal*, 14(1), 17–40 [reimpreso en: *Journal of Geology*, 9(5), 369–392 (1901)].
- CHAMBERLIN, T.C. (1904). The methods of the earth-sciences. *Popular Science Monthly*, 66(November), 66–75.
- CHAMBERLIN, T.C. (1905). Fundamental problems of Geology. En: *Year Book (1904) of the Carnegie Institution of Washington*, N° 3, p. 195–254 [fragmentos de este artículo se encuentran en Mather y Mason (1939, p. 618–630)].
- CHAMBERLIN, T.C. y MOULTON, F.K. (1909). The development of the planetesimal hypothesis. *Science*, n.s., 30(775), 642–645.
- CHAMBERLIN, T.C. y SALISBURY, R.D. (1906). The origin of the Earth. En: *Geology*. Vol. II: *Earth History*. Murray, Londres, cap. 1, p. 3–81.
- CHAMBERLIN, T.C. (1916). *Origin of the earth*. University of Chicago Press, Chicago. [MCN]
- CHANDER, R. (1999). Wegener and his theory of continental drift. *Resonance*, 4(7), 24–41.
- CHEETHAM, A.H. (1960). Time, migration, and continental drift. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 44(2), 244–251.
- CHIANG, E. y YODIN, A.N. (2010). Forming planetesimals in solar and extra-solar nebulae. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 38, 493–522.
- CHOUBERT, B. (1981). Aperçu de l'évolution des idées concernant la formation de la croûte terrestre d'Alfred Wegener à nos jours. *Geologische Rundschau*, 70(1), 40–49.
- CHURCH, M. (2005). Continental drift. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30(1), 129–130.
- CLARK, T.H. y STEARN, C.W. (1960). *The geological evolution of North America; a regional approach to historical geology*. Ronald Press, Nueva York.
- CLAVIJERO, F.J. (1780). *Historia antigua de México*. Porrúa, México (trad. castellana 1824; 2ª ed. moderna 1958).
- CLELAND, C.E. (2001). Historical science, experimental science, and the scientific method. *Geology*, 29(11), 987–990.
- CLOSS, H., GIESE, P. y JACOBSHAGEN, V. (1985). Alfred Wegeners Kontinentalverschiebung aus heutiger Sicht. *Spektrum der Wissenschaft: Ozeane und*

- Kontinente*, 10, 40–53.
- COCKS, L.R.M. (ed.) (1981). *The evolving earth*. Cambridge University Press, Cambridge, cap. 10.
- COHEN, I.B. (1976). The eighteenth-century origins of the concept of scientific revolution. *Journal of History of Ideas*, 37(2), 257–288.
- COHEN, I.B. (1980). *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas* Alianza, Madrid (trad. castellana 1983).
- COHEN, I.B. (1985a). Deriva continental y tectónica de placas: Una revolución en las ciencias de la Tierra. *En: Revolución en la ciencia*. Gedisa, Barcelona (trad. castellana 1989), cap. 29.
- COHEN, I.B. (1985b). La influencia de T.S. Kuhn sobre la historiografía de la deriva continental. *En: Revolución en la ciencia*. Gedisa, Barcelona (trad. castellana 1989), Supl. 29.1, p. 476–480.
- COHEN, I.B. (1986). Continental drift and plate tectonics: A revolution in the earth science. *En: M. Schwarzbach* (1986). *Alfred Wegener, the father of continental drift*. Science & Technology, Elmont (NY) y Madison (WI), p. 167–199 [trad. inglesa de Schwarzbach (1980)].
- COLLET, L.W. (1926). The Alps and Wegener's theory. *The Geographical Journal*, 67(4), 301–312.
- COLLET, L.W. (1927). *The structure of the Alps*. E. Arnold, Londres. [BL]
- COLBERT, C.F.L. von (1886). *Die Drehung der Erdkruste in geologischen Zeiträumen*. Böcklin, Munich (2ª ed. 1895) [GAUB]
- COLBERT, E.H. (1973). *Wandering lands and animals. The story of continental drift and animal populations*. Dover, Nueva York. (ed. 1985).
- COLBERT, E.H. (1975). La vida sobre los continentes a la deriva. *En: Motz* (1975), p. 253–272.
- COLLINS, W.J. (2003). Slab pull, mantle convection, and Pangaeian assembly and dispersal. *Earth & Planetary Science Letters*, 205(3), 225–237.
- COLLISON, D.W. y RUNCORN, S.K. (1960). Polar wandering and continental drift. Evidente from paleomagnetic observations in the United States. *Geological Society of America Bulletin*, 71(7), 915–958.
- CONEY, P.J. (1970). The geotectonic cycle and the new global tectonics. *Geological Society of America Bulletin*, 81(3), 739–748.
- COPERNIC, N. (1543). *Des révolutions des orbes célestes*. (Livre Premier). F. Alcan, Paris (trad. francesa 1934).
- COTTA, B. von (1858). *Geologische Fragen*. J.B. Engelhardt, Freiberg. [BL]
- COULOMB, J. (1969). *L'expansion des fonds océaniques et la dérive des continents*. Presses Univeritaires de France, Paris [existe trad. inglesa en: D. Reidel, Dor-

- drecht (1972)].
- COX, A. (1969). Geomagnetic reversals. *Science*, 163(3864), 237–245.
- COX, A. (1973). *Plate tectonics and geomagnetic reversals*. Freeman, San Francisco
- COX, A. y HART, R. B. (1986). *Plate tectonics: how it works*. Blackwell, Oxford.
- COXWORTHY, W.F. (1890). *Electrical condition or How and where our earth was created*. W.J.S. Phillips, Londres [BL]
- CRACRAFT, J. (1974). Continental drift and vertebrate distribution. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5, 215–261.
- CRAW, R.C. (1984). “Conservative prejudice” in the debate over disjunctively distributed life forms. *Studies in History and Philosophy of Science*, 15(2), 131–140.
- CROWELL, J.C. (1957). Origin of pebbly mudstones. *Geological Society of America Bulletin*, 68(8), 993–1.009.
- CZEGKA, W. (1996). The contributions of Alfred Wegener to meteoritics and early impact research. *Meteoritics & Planetary Science*, 31, 33–34.
- DAL PIAZ, G.V. (2001). History of tectonic interpretations of the Alps. *Journal of Geodynamics*, 32(1–2), 99–114.
- DALRYMPLE, G.B. (1991). *The age of the earth*. Stanford University Press, Stanford.
- DALRYMPLE, G.B. (2004). *Ancient Earth, Ancient Skies: The Age of the Earth and its Cosmic Surroundings*. Stanford University Press, Stanford (CA).
- DALY, R.A. (1910). Pleistocene glaciation and coral reef problem. *American Journal of Science*, 4th Series, 30(179), 297–308.
- DALY, R.A. (1915). The glacial–control theory of coral reefs. *American Academy of Arts and Sciences Proceedings*, 51, 155–201.
- DALY, R.A. (1916). A new test of the subsidence theory of coral reefs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2(12), 664–670.
- DALY, R.A. (1926). *Our mobile earth*. C. Scribner's Sons, Nueva York–Londres. [BP]
- DALY, R.A. (1947). The Vredefort ring–structure of South Africa. *Journal of Geology*, 55(3.1), 125–145.
- DANA, J.D. (1847). Geological results of the Earth's contraction in consequence of cooling. *American Journal of Science*, 2nd Series, 3, 176–188.
- DANA, J.D. (1853). *Coral reefs and islands*. G.P. Putnam, Nueva York. [BL]
- DANA, J.D. (1863). *Manual of geology, treating the principles of the science with special reference to American geological history*. T. Bliss–Trübner, Filadelfia–Londres (1^a ed.) [MNCN]
- DANA, J.D. (1873a). On the origin of the mountains. *American Journal of Science*,

- 3rd Series 3(5), 247–350.
- DANA, J.D. (1873b). On some results of the Earth's contraction from cooling including a discussion of the origin of the mountains and the nature of Earth's interior. *American Journal of Science*, 3rd Series, 5, 423–443.
- DANA, J.D. (1875). *Manual of geology, treating the principles of the science with special reference to American geological history*. Ivison, Blakeman, Taylor, Nueva York (2^a ed.). [MNCN]
- DANA, J.D. (1880). *Manual of geology, treating the principles of the science with special reference to American geological history*. Ivison, Blakeman, Taylor–Trobnner, Nueva York–Londres (3^a ed.). [BL]
- DARLINGTON, P.J., Jr. (1965). *Biogeography of the southern end of the world. Distribution and history of far-southern life and land, with an assessment of continental drift*. Harvard University Press, Cambridge (MA).
- DARROW, F. (1923). *Masters of science and invention*. Harcourt, Brace, Nueva York.
- DARWIN, C.R. (1835). Structure and distribution of coral reefs. *Journal of the Royal Geographical Society, London*, 12, 115–119.
- DARWIN, C.R. (1837). On certain areas of elevation and subsidence in the Pacific and Indian Oceans, as deduced from the study of coral formations. *Geological Society of London Proceedings*, 2, 552–554.
- DARWIN, C.R. (1840). The origin of coral reefs and islands. *En: Journal of Researches into the Geology and Natural History of the Various Countries Visited by H.M.S. Beagle*. Londres, p. 554–559.
- DARWIN, C.R. (1842). *The structure and distribution of coral reefs*. *En: The Geology of the Voyage of the Beagle. pt. 1*. Smith, Elder, Londres, 214 p. [BL] [trad. castellana: *La estructura y distribución de los arrecifes de coral*. CSIC, Madrid (2006)].
- DARWIN, G.H. (1879a). On the precession of a viscous spheroid, and on the remote history of the earth. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*, 170, 447–453.
- DARWIN, G.H. (1879b). Problems connected with thides of a viscous spheroid. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*, 170, 539–593.
- DARWIN, G.H. (1880). On the secular change in elements of the orbit of a satellite revolving around a tidally distorted planet. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*, 171, 713–891.
- DARWIN, G.H. (1887). Note on Mr. Davison's paper on the straining of the Earth's crust in cooling. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*, 178A, 242–249.
- DARWIN, G.H. (1898). *The tides and kindred phenomena in the solar system*. W.H.

- Freeman, San Francisco–Londres (ed. 1962). [MNCN, 3ª ed./1911]
- DAVIES, G.F. (1999). *Dynamic earth: plates, plumes, and mantle convection*. Cambridge University Press, Cambridge–Nueva York.
- DAVIES, G.L. (1965). Francis Bacon and continental drift. *Geological Magazine*, 102(4), 347.
- DAVIES, P.A. y RUNCORN, S.K. (1980). *The mechanisms of continental drift and plate tectonics*. Academic Press, Nueva York–Londres.
- DAVIS, G.A., BURCHFIELD, B.C., CASE, J.E. y VIELE, G.W. (1974). A defense of an ‘Old Global Tectonics’. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 23(A154), 16–23.
- DAVIS, W.M. (1915). The origin of coral reefs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1(3), 142–156.
- DAVIS, W.M. (1926). The value of outrageous geological hypotheses. *Science*, 63(1636), 463–468.
- DAVIS, W.M. (1928a). The function of coral reefs. *Science Monthly*, 27(4), 289–300.
- DAVIS, W.M. (1928b). The coral reef problem. *American Geographical Society Special Publication* N° 9.
- DAVIS, W.M. (1929). Wharton's and Darwin's theories of coral reefs. *Science Progress*, 93, 42–56.
- DAVISON, C. (1887). On the distribution of strain in the Earth's crust resulting from secular cooling; with special reference to the growth of continents and the formation of mountain chains. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 178A, 231–242.
- D.B. (1931). Obituary of Prof. Alfred Wegener. *Nature*, 127(3214), 861.
- DEAN, D.R. (1993). *James Hutton and the History of Geology*. Cornell University Press, Ithaca (NY).
- DEARNLY, R. (1966). Orogenic fold–belts and a hypothesis of earth evolution. En: Ahrens, L.H., Press, F., Runcorn, S.K. y Urey, H.C. (eds.). *Physics and Chemistry of the Earth*. Pergamon Press, Londres, vol. VII, p. 1–114.
- DEBELMAS, J. (1975). Les Alpes et la théorie des plaques. *Revue de Géographie Physique et Géologie Dynamique*, 17(2), 195–208.
- DEBELMAS, J., LEMOINE, M. y MATTAUER, M. (1966). Quelques remarques sur le concept de géosynclinal. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, Sér. 2, 8, 133–150.
- DEMHARDT, I.J. (2006). Alfred Wegener's hypothesis on continental drift and its discussion in *Petermanns Geographische Mitteilungen* (1912–1942). *Polarforschung*, 75(1), 29–35.

- DEMING, D. (2002). Origin of the ocean and continents: A unified theory of the earth. *International Geology Review*, 44(2), 137–152.
- DENNIS, J.G. (1980). Toward a contemporary concept of orogeny. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 131, 569–578.
- DENNIS, J.G. (1982). Orthodoxy and creativity in theories of mountain building before 1922. *Geologische Rundschau*, 71(2), 421–426.
- DEPARIS, V. y LEGROS, H. (2000). *Voyage à l'intérieur de la Terre. De la géographie antique à la géophysique actuelle. Une histoire des idées*. CNRS, Paris.
- DERCOURT, J. (1973). Dérive des continents. Expansion océanique. Conséquences géologiques. *Revue des Questions Scientifiques*, 144(1), 61–92.
- DERMOTT, S.F. (ed.) (1978). *The origin of the solar system*. J. Wiley, Chichester (NY).
- DESCARTES, R. (1644). *Principes de la Philosophie*. Librairie Philosophique J. Vrin, Paris (trad. francesa 1904, t. IX–2 de *Oeuvres de Descartes*, publicadas por C. Adams y P. Tannery; ed. 1989) [existe trad. castellana en Alianza Editorial, Madrid (1995)].
- DE VUYST, A. (1969a). La nouvelle conception de la dérive des continents. 1ère partie: L'hypothèse des courants de convection et l'expansion des bassins océaniques. *Ciel et Terre*, 85(3), 129–160.
- DE VUYST, A. (1969b). La nouvelle conception de la dérive des continents. 2e partie, I: Paléomagnétisme et l'hypothèse des déplacements des continents. *Ciel et Terre*, 85(6), 345–375.
- DE VUYST, A. (1970a). La nouvelle conception de la dérive des continents. 2e partie, II: L'enregistrement paléomagnétique de l'expansion des fonds océaniques. *Ciel et Terre*, 86(2), 100–124.
- DE VUYST, A. (1970b). La nouvelle conception de la dérive des continents. 3e partie: Le déplacement des continents depuis 200 millions d'années. *Ciel et Terre*, 86(4), 269–298.
- DEWEY, J.F. (1975). La tectónica de placas. *En*: Motz (1975), 165–180.
- DEWEY, J.F. y BIRD, J.M. (1970a). Plate tectonics and geosynclines. *Tectonophysics*, 10(5–6), 625–638.
- DEWEY, J.F. y BIRD, J.M. (1970b). Mountain belts and the new global tectonics. *Journal of Geophysical Research*, 75(14), 2625–2647.
- DEWEY, J.F. y HORSFIELD, B. (1970). Plate tectonics, orogeny, and continental growth. *Nature*, 225(5232), 521–525.
- DICK, T. (1838). *Celestial scenery; or the wonders of the planetary system displayed; illustrating the perfections of the deity and a plurality of worlds*. Harper, Nueva York. [BL]

- DICKE, R.H. (1962). The earth and cosmogony. *Science*, 138(3541), 653–664.
- DICKINSON, W.R. (1971). Plate tectonic models of geosynclines. *Earth & Planetary Science Letters*, 10(2), 165–174.
- DICKINSON, W.R. (1975). Tectónica de las placas y cadenas montañosas. En: Motz (1975), p. 183–194.
- DICKINSON, W.R. (2003). The place and power of myth in geoscience: An associate editor's perspective. *American Journal of Science*, 303(9), 856–864.
- DIDEROT, D. (1772). *Suplemento al viaje de Bougainville*. En: L.A. Bougainville. *Viaje a Tahití*. J. de Olañeta, Palma de Mallorca (trad. castellana 1982, 2ª ed. 1999), p. 63–124.
- DIETZ, R.S. (1961). Ocean evolution by sea floor spreading. *Nature*, 190(4779), 854–857.
- DIETZ, R.S. (1963). Collapsing continental rises: an actualistic concept of geosynclines and mountain building. *Journal of Geology*, 71(3), 314–333.
- DIETZ, R.S. y HOLDEN, J.C. (1970). Reconstruction of Pangaea: breakup and dispersion of continents, Permian to present. *Journal of Geophysical Research*, 75(26), 4949–4956.
- DIETZ, R.S. y HOLDEN, J.C. (1973). Geophysical illusions of continental drift; a discussion. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 57(11), 2290–2296.
- DINGEMANS, G. (1956). *Formation et transformation des continents*. A. Colin, París.
- DIVE, P. (1933). *La dérive des continents et les mouvements intra-telluriques*. Dunod, París (2ª ed. 1950).
- DOBSON, J.E. (1992). Spatial logic in paleogeography and the explanation of continental drift. *Annals of the Association of American Geographers*, 82(2), 187–206.
- DOEL, R. (1997). The earth sciences and geophysics. En: Krige, J. y Pestre, D. (eds.). *Companion to Science in the Twentieth Century*. Harwood Academic, Amsterdam, cap. 20, p. 391–416 [reed. en: Routledge, Londres–Nueva York (2003)].
- DOMINIK, H. (1931). Alfred Wegener. *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie*, 59(6), 193–194.
- DONOVAN, S.K. (1987). The fit of the continents in the late Precambrian. *Nature*, 327(6118), 139–141.
- DORN, M. (1989a). Von Alfred Wegeners Verschiebungstheorie zur Theorie der Plattentektonik. Die Struktur einer wissenschaftlichen Revolution in den Geowissenschaften. Teil I: Alfred Wegeners Verschiebungstheorie der Kontinente. *Die Geowissenschaften*, 7(2), 44–49.

- DORN, M. (1989b). Von Alfred Wegeners Verschiebungstheorie zur Theorie der Plattentektonik. Die Struktur einer wissenschaftlichen Revolution in den Geowissenschaften. Teil II: Der Neuansatz durch die Theorie der Platten-tektonik. *Die Geowissenschaften*, 7(3), 61–70.
- DOTT, R.H., Jr. (1961). Squantum “tillite, Massachusetts –evidence of glaciation or subaqueous mass movements. *Geological Society of America Bulletin*, 72(9), 1289–1306.
- DOTT, R.H., Jr. (1974). The geosynclinal concept. En: R.H. Dott, Jr. y R.H. Shaver (eds). *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 19, p. 1–13.
- DOTT, R.H., Jr. (1978). Tectonics and sedimentation a century later. *Earth–Science Reviews*, 14(1), 1–34.
- DOTT, R.H., Jr. (1979). The Geosyncline. First major geological concept “Made in America”. En: Schneer, C.J. (ed.). *Two hundred years of Geology in America*. Proceedings of New Hampshire Bicentennial Conference on the History of Geology. University Press of New Hampshire, Hanover (NH), p. 239–264.
- DOTT, R.H., Jr. (1985). James Hall's discovery of the craton. En: Drake, E.T. y Jordan, W.M. (eds.). *Geologists and Ideas: A History of North American Geology*. (Centennial Special Volume). Geological Society of America, Boulder (CO), vol. 1, p. 157–167.
- DOTT, R.H., Jr. (1997). James Dwight Dana's old tectonics–global contraction under divine direction. *American Journal of Science*, 297(3), 283–311.
- DOTT, R.H., Jr. (2005). *James Hall Jr. 1811–1898*. National Academy of Science, Washington, Biographical Memoir 87, p. 180–197.
- DRAKE, E.T. (1976). Alfred Wegener's reconstruction of Pangea. *Geology*, 4(1), 41–44.
- DRAKE, E.T. y KOMAR, P.D. (1984). Origin of impact craters: Ideas and experiments of Hooke, Gilbert, and Wegener. *Geology*, 12(7), 408–411.
- DUDMAN, C. (2003). *Wegener's jigsaw*. Sceptre, Londres [reed. con el título: *One day the ice will reveal all its dead*. Viking Penguin, Nueva York (2004)].
- DUDMAN, C. (2004). Alfred Wegener. *Mercian Geologist*, 16(1), 60–61.
- DULLO, W.C. (ed.) (2003). *Milestones in geosciences*. Springer Verlag, Berlín–Nueva York.
- DU TOIT, A.L. (1927). *A geological comparison of South America with South Africa*. The Carnegi Institute, Washington, Publication N° 381. [MNCN]
- DU TOIT, A.L. (1937). *Our wandering continents. An hypothesis of continental drifting*. Oliver & Boyd, Edimburgo [reed. en Greenwood Press, Westport (CN) (1972)]. [BP]
- DU TOIT, A.L. (1944). Tertiary mammals and continental drift; a rejoinder to

- George G. Simpson. *American Journal of Science*, 242(3), 145–163.
- DUTTON, C.E. (1876a). Critical observations on theories of the Earth's physical evolution. *Penn Monthly*, 7, 364–378.
- DUTTON, C.E. (1876b). Critical observations on theories of the Earth's physical evolution. *American Journal of Science*, 112, 142–145.
- DUTTON, C.E. (1882). Review of *The Physics of the Earth's Crust*, by the Rev. Osmond Fisher. *American Journal of Science*, 3rd Series, 23(136), 283–290.
- DUTTON, C.E. (1889). On some of the greater problems of physical geology. *Bulletin of Washington Philosophical Society, Section B*, 11, 51–64.
- EATON, J.E. (1928). Notes on the principle and theory of isostasy. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 12(12), 1163–1166.
- EDELMAN, N. (1988). Wegener and pseudoscience: some misconceptions. *The Skeptical Inquirer*, 12(4), 398–402.
- EGYED, L. (1956). The change of the Earth's dimensions determined from palaeogeographical data. *Geofisica Pura ed Applicata*, 33, 42–48.
- EGYED, L. (1957). A new dynamic conception of the internal constitution of the Earth. *Geologische Rundschau*, 46(1), 101–121.
- EGYED, L. (1960). Some remarks on continental drift. *Pure and Applied Geophysics*, 45(1), 115–116.
- EHMKE, G. y WUTZKE, U. (1998). Auf den Spuren von Alfred Wegener. *Terra Nostra*, 98(4), 161–170.
- EICHER, D.L. (1968). *El tiempo geológico*. Ed. Omega, Barcelona (trad. castellana 1973).
- EICHER, D.L. y McALESTER, A.L. (1980). *History of the Earth*. Prentice–Hall, Englewood Cliffs (NJ).
- EKMAN, M. (1993). A concise history of the theories of tides, precession–nutation and polar motion (from antiquity to 1950). *Surveys in Geophysics*, 14(6), 585–617.
- ELENA, A. (1986). ¿Revoluciones en Geología? De Lyell a la Tectónica de Placas. *Arbor*, 486(124), 9–45.
- ELIADE, M. (1951). *El mito del eterno retorno*. Alianza, Madrid (trad. castellana 1968).
- ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1829). Faits pour servir à l'histoire des montagnes de l'Oisans. *Mémoires de la Société d'Histoire Naturelle de Paris*, V, 1–32.
- ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1829–30). Recherches sur quelques–unes des Révolutions de la surface du globe, présentant différens exemples de coincidence entre le redressement des couches de certains systèmes de montagnes, et les changemens soudains qui ont produit les lignes de demarcation qu'on observe entre cer-

- tains étages consecutifs de terrains de sédiments. *Annales des Sciences Naturelles*, 18, 5–25 y 284–416 (1829); 19, 5–99 y 177–240 (1830); *Revue Française*, 15, 1–58 (1830).
- ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1850). Note sur la corrélation des directions des différent systèmes de montagnes. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 31, 325–338.
- ELLENBERGER, F. (1970). Quelques remarques historiques sur le concept de géosynclinal. *Comptes Rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences (Paris)*, 271, 469–472.
- ELLENBERGER, F. (1982). Marcel Bertrand et “l'orogenèse programmée”. *Geologische Rundschau*, 71(2), 463–474.
- ELLENBERGER, F. (1984). L'histoire des idées sur les chaînes de montagnes de Hutton à Wegener. *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, 2^{ème} série, 2(6), 63–88.
- ELLENBERGER, F. (1989). Étude du terme Révolution. *Documents pour l'histoire du vocabulaire scientifique (CNRS)*, 9, 69–90.
- ELLENBERGER, F. (1994). *Histoire de la géologie*. Tomo 2: *La grande éclosion et ses prémices, 1660–1810*. Technique et Documentation (Lavoisier), Paris.
- ELSASSER, W.M. (1968). The mechanics of continental drift. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 112(5), 344–353.
- ELSASSER, W.M. (1971). Sea–floor spreading as thermal convection. *Journal of Geophysical Research*, 76(5), 1101–1112.
- EMILIANI, C. (1995). Two revolutions in the Earth Sciences. *En: Bonatti y Wezel (1995)*, p. 587–597.
- EMILIANI, C. y GEISS, J. (1959). On glaciations and their causes. *Geologische Rundschau*, 46(2), 576–601.
- ENGEL, A.E.J., ITSON, S.P., ENGEL, C.G., STICKNEY, D.M. y CRAY, E.J., Jr. (1974). Crustal evolution and global tectonics: A petrogenic view. *Geological Society of America Bulletin*, 85(6), 843–858.
- ENGELHARDT, W. von (1975). Theorienwandel in den Geowissenschaften. *Freiburger Universität Blätter*, 49, 17–30.
- ENGELHARDT, W. von (1977). Das Erdmodell der Plattentektonik: Ein Beispiel für Theorienwandel in der neueren Geowissenschaft. *En: Diemer, A. (ed.). Die Struktur wissenschaftlicher Revolution und die Geschichte der Wissenschaften*. Meisenheim am Glan, Hain, p. 91–109.
- ENGELHARDT, W. von y ZIMMERMANN, J. (1982). *Theory of earth science*. Cambridge University Press, Cambridge (trad. inglesa 1988).
- ENGLAND, P.C., MOLNAR, P. y RICHTER, F.M. (2007). John Perry's neglected critique of Kelvin's age for the earth: A missed opportunity in geodynamic.

- GSA Today*, 17(1), 4–9. [Una adaptación de este artículo apareció como: Kelvin, Perry and the age of the earth. *American Scientist*, 95(4), 342–349 (2007); trad. castellana: Kelvin, Perry y la edad de la Tierra. *Investigación y Ciencia*, 372, 76–83 (2007)].
- EÖTVÖS, L. (1913). Bericht über Arbeiten mit der Drehwaage ausgeführt im Auftrage der kön. Ungarischen Regierung in den Jahren 1908–1911. *Verhandlungen der XVII Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung in Hamburg, 1912*, 1, 427–438.
- EPRSG [East Pacific Rise Study Group] (1981). Crustal processes of the mid-ocean ridge. En: Drake, C.L. y Schmitt, L.E. (eds.). *Solid earth. Science*, 213(4503), 31–40.
- ESCHER, A. (1866). Sur la géologie du Canton de Glaris. *Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles*, 50^e. Serie., Neuchâtel, p. 71–77.
- EULER, L. (1758). *Du mouvement de rotation des corps solides autour d'un axe variable*. Histoire de l'Académie Royale des Sciences et Belles Lettres, Berlín. [BNF]
- EVANS, D.A.D. (2003). True polar wander and supercontinents. *Tectonophysics*, 362(1), 303–320.
- EVANS, J.W. (1924). Introduction. En: Wegener, A.L. (1922). *The origin of continents and oceans*. Methuen, Londres (trad. inglesa 1924 de la 3^a ed. alemana), p. vii–xii.
- EYLES, N. (1993). Earth's glacial record and its tectonic setting. *Earth–Science Reviews*, 35(1–2), 1–248.
- FAIRCHILD, H.L. (1904). Geology under the planetesimal hypothesis of earth–origin. *Geological Society of America Bulletin*, 15, 243–266.
- FALCK, W.E. (1992). Continental drift. *Nature*, 355(6362), 668.
- FALLOT, P. (1939). Élie de Beaumont et l'évolution des sciences géologiques au Collège de France. (Leçon inaugurale donné le 7 décembre 1938, Dunod, Paris). *Annales de Mines*, 15(4), 1–35.
- FALLOT, W. (1911). Voltaire et la géologie. *Mémoires de la Société d'émulation de Montbéliard*, 40, 215–224.
- FEIJOO, B.J. (1733). *Teatro crítico universal*. Blas Román (Real Cía. Impresores y Libreros), Madrid (ed. 1781), tomo 5. [IH] [existe ed. moderna en Pentalfa Eds., Oviedo (1989)].
- FEISTMANTEL, O. (1876). Notes on the age of some fossil floras of India. i–ii. *Records of Geological Survey of India*, 9(2), p. 28–42.
- FENTON, C.L. y FENTON, M.A. (1945). *Giants of geology. The story of the great geologists*. Doubleday Co., Garden City (NY) (ed. 1952).
- FERNÁNDEZ PÉREZ, J. (2002). *El descubrimiento de la naturaleza. Humboldt*.

Nívola, Tres Cantos (Madrid).

- FERNIE, J.D. (1991a). The shape of the earth. *American Scientist*, 79(2), 108–110.
- FERNIE, J.D. (1991b). The shape of the earth. *American Scientist*, 79(5), 393–395.
- FERNIE, J.D. (1992). The shape of the earth. *American Scientist*, 80(2), 125–127.
- FISCHER, I. (1975). The figure of the earth –Changes in concepts. *Surveys in Geophysics*, 2(1), 3–54.
- FISHER, O. (1881). *Physics of the Earth's crust*. Macmillan, Londres. [BL]
- FISHER, O. (1882). On the physical cause of the ocean basins. *Nature*, 25(637), 243–244.
- FISHER, R.L. y HESS, H.H. (1963). Trenches. En: Hill, M.N. (ed.). *The sea*. J. Wiley, Nueva York, vol. 3, p. 411–436.
- FLESSA, K.W. (1980). Biological effects of continental drift and plate tectonics. *BioScience*, 30, 518–523.
- FLOWERS, C. (2002). Alfred Wegener and the dance of the continents. En: *Instability rules: The ten most amazing ideas of modern science*. J. Wiley, Nueva York, p. 61–80.
- FLÜGEL, H.W. (1980). *Alfred Wegeners vertraulicher Bericht über die Grönland-Expedition 1929*. Akademische Druck- und Verl. –Anst, Graz.
- FLÜGEL, H.W. (1984). A. Wegener, O. Ampferer, R. Schwinner: The first chapter of the 'New Globale Tectonic'. *Earth Sciences History*, 3(2), 178–186.
- FLUTEAU, F. (2003). Earth dynamics and climate changes. *Comptes Rendus Geoscience*, 335(1), 157–174.
- FORBES, E. (1846). On the connexion between the distribution of the existing fauna and flora of the British Isles, and the geological changes which have affected their area, especially during the epoch of the northern drift. *Memoirs of Geological Survey, Great Britain*, 1, 336–432.
- FORRISTALL, G.Z. (1972). Comments on active plate tectonic hypotheses. *Journal of Geophysical Research*, 77(32), 6407–6412.
- FORSYTH, D. y UYEDA, S. (1975). On the relative importance of the driving forces of plate motion. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 43(1), 163–200.
- FOSSA-MANCINI, E. (1924). La recente teoria delle deriva dei continenti in un vecchio manoscritto di Domenico Lovisato. *Urania*, 13(6), 1–8.
- FOURMARIER, P. (1962). Le problème de l'origine des continents. *Bulletin de l'Académie Royale Belgique*, 48, 1368–1426.
- FOURMARIER, P. (1967). *Le problème de la dérive des continents*. Palais des Académies, Bruselas.
- FRÄNGSMYR, T. (1983). Linnaeus as a geologist. En: Frängsmyr, T. (ed.). *Linnae-*

- us: The man and his work*. University of California Press, Berkeley (CA), p. 110–155 [existe reed. (1994) en History of Science Publ., Canton (MA)].
- FRANK, F.C. (1972). Plate tectonics, the analogy with glacier flow, and isostasy. *En*: Carter, N.L. y Rayleigh, C.B. (eds.). *Flow and fracture of rocks*. American Geological Union, Monograph N° 18, p. 285–292.
- FRANKEL, H. (1976). Alfred Wegener and the specialists. *Centaurus*, 20(4), 305–324.
- FRANKEL, H. (1978). The non-kuhnian nature of the recent revolution in the earth sciences. *En*: Asquith y Hacking (1981), p. 197–214.
- FRANKEL, H. (1979a). The career of continental drift: An application of Imre Lakatos' analysis of scientific growth to the rise of drift theory. *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*, 10(1), 21–66.
- FRANKEL, H. (1979b). The reception and acceptance of continental drift theory as a rational episode in the history of science. *En*: S.H. Mauskof (comp.). *The reception of unconventional sciences*. American Asociacion for the Advancement of Science, Washington, p. 51–89.
- FRANKEL, H. (1981). The development, reception, and acceptance of the Vine–Matthews–Morley hypothesis. *Historical Studies in the Physical Science*, 13(1), 1–39.
- FRANKEL, H. (1985). The biogeographical aspect of the debate over continental drift. *Earth Sciences History*, 4(2), 160–181.
- FRANKEL, H. (1987). The continental drift debate. *En*: Engelhardt, H.T., Jr., y Caplan, A.L. (eds.). *Scientific controversies: case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology*. Cambridge University Press, Cambridge, cap. 7 p. 203–248.
- FRANKEL, H. (1988). From continental drift to plate tectonics. *Nature*, 335(6186), 127–130 [trad . castellana: De la deriva continental a la tectónica de placas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3(3), 130–136 (1996)].
- FRANKEL, H. (2012). *The continental drift controversy*. Vol. I: *Wegener and the early debate*. Cambridge University Press, Cambridge.
- FRENCH, B.M. (1990). 25 years of the impact–volcanic controversy: Is there anything new under the Sun or inside the Earth? *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 71(17), 411–414.
- FRENCH, B.M. (2004). The importance of being cratered: The new role of meteorite impact as a normal geological process. *Meteoritics and Planetary Science*, 39(2), 169–197.
- FRIEDMAN, G.M. (1979). Geology at Rensselaer: A historical perspective. *The Compass of Sigma Gamma Epsilon*, 57(1), 1–15.
- FRIEDMAN, G.M. (1998). Sedimentology and stratigraphy in the 1950s to mid–

- 1980s: The story of a personal perspective. *Episodes*, 21(3), 172–177.
- FRISCH, W. y MESCHEDE, M. (2005). *Plattentektonik. Kontinentverschiebung und Gebirgsbildung*. Primus, Darmstadt.
- FRISCH, W., MESCHEDE, M. y BLAKEY, R. (2011). *Plate Tectonics: Continental drift and mountain building*. Springer, Berlín–Heidelberg.
- FRITSCHER, B. (2002). Alfred Wegener's "The Origin of Continents", 1912. *Episodes*, 25(2), 100–106 [contiene algunos fragmentos en trad. inglesa de Wegener (1912e,f,g)]
- FRODEMAN, R. (1995). Geological reasoning: geology as an interpretive and historical science. *Geological Society of America Bulletin*, 107(8), 960–968.
- FROIDEVAUX, C. y NATAF, H.C. (1981). Continental drift: What driving mechanism? *Geologische Rundschau*, 70(1), 166–176.
- FUCHS, S. (1993). A sociological theory of scientific change. *Social Forces*, 71(4), 933–953.
- FURON, R. (1948). Colloque sur le déplacement des pôles et la dérive des continents. *Comptes Rendus, Société de Biogéographie*, N° 215–217, p. 61 y 70–71.
- FURON, R. (1958). *La distribución de los seres*. Labor, Barcelona (trad. castellana 1965).
- GAMOW, G. (1963). *Un planeta llamado Tierra*. RBA, Barcelona (trad. castellana 1965; ed. 1994).
- GARCÍA, G. (1607). *Origen de los indios del Nuevo Mundo*. Fondo de Cultura Económica, México (ed. 1981).
- GARCÍA CRUZ, C.M. (1996). El Simposio de la Asociación Americana de Geólogos del Petróleo (Nueva York, 1926) y la deriva continental. *Llull, Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 19(36), 91–109.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (1998a). De los obstáculos epistemológicos a los conceptos estructurantes: una aproximación a la enseñanza–aprendizaje de la geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 323–330.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (1998b). Puentes intercontinentales e Isostasia: Aspectos históricos y didácticos. *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, 6(3), 211–216.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (1998c). El principio de uniformidad. I. Orígenes. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 6(3), 234–238.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (1999a). El principio de uniformidad. II. Un obstáculo entre el pasado y el presente. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7(1), 16–20.
- GARCÍA CRUZ, C. M. (1999b). El Resumen de la *Teoría de la Tierra* (1785) de James Hutton. *Llull, Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 22(43), 223–238.
- GARCÍA CRUZ, C. M. (1999c). La edad de la tierra y otras cosas por el estilo.

- Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 7(2), 94–101.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (2000). El Principio de Uniformidad (III). El Presente: Una aproximación al Neocatastrofismo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8(2), 99–107.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (2001a). El actualismo–uniformitarismo como obstáculo epistemológico. *Cadernos IG/UNICAMP*, 9(1), 22–32.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (2001b). Origen y desarrollo histórico del concepto de ciclo geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9(3), 222–234.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (2003a). Más allá de la geografía especulativa: Orígenes de la deriva continental. *Llull, Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 26, 121–145.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (2003b). La filosofía geológica a principios del s. XX: Marco epistemológico de la deriva continental. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 11(1), 28–37.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (2005). La correspondencia entre Isaac Newton y Thomas Burnet (1680–81) en relación con la *Telluris Theoria Sacra*. *Llull, Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 28(61), 29–57.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (2012). Alfred Lothar Wegener (1880–1930), una vida para la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20(1), 4–26.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (2013). James Hutton (1726–1797) y el mito del eterno retorno: Interpretación de la Tierra en el siglo XVIII. *Llull, Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 36(78), 259–282.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (2017). El origen de los cráteres lunares, por Alfred Wegener. Preliminares históricos y traducción castellana. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(2), 130–150.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (2020). Algunas observaciones sobre la enseñanza–aprendizaje de la escala de tiempo geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 28(3), 278–286.
- GARLAND, G.D. (ed) (1966). *Continental drift*. Royal Society, Canada, Special Paper No. 9. (Simposio de la R.S.C., Charlottetown, 1964).
- GASPERINI, M. y CHIERICI, F. (1996). The Eötvös force revisited. *Terra Nova*, 8(4), 356–360.
- GASS, I.G., SMITH, P.J. y WILSON, R.C.L. (eds.) (1971). *Understanding the Earth: a reader in the earth sciences*. Open University Press, Maidenhead.
- GAUDANT, J. (1980). De la dérive des continents à la Tectonique des plaques: réflexions sur l'histoire des théories de la mobilité continentale. *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 1^{re} série, n^o 30.
- GAUDANT, J. (1989). Principaux résultats de l'enquête sur la dérive des continents. *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 3^{re} série, III(3),

21–36.

- GAUDANT, J. (1995). La réception de l'idée de dérive des continents en Suisse romande: les enseignements d'une enquête. *En: Ellenberger, F. (ed.). Essais sur l'histoire de la géologie, en hommage à Eugène Wegmann*. Société Géologique de France, n.s., Mémoire n° 168, cap. 19.
- GEIKIE, A. (1897). *The founders of geology*. Dover, Nueva York (2ª ed. 1905, reimp. 1962).
- GEORGI, J. (1933). *Im eis vergraben. Erlebnisse auf Station "Eismitte" der letzten Grönland-expedition Alfred Wegeners*. Verlag des Blodigschen Alpenkalenders, P. Müller, Munich [trad. inglesa: *Mid-Ice: The story of the Wegener expedition to Greenland*. K. Paul, Trench, Trubner, Londres (1934)].
- GEORGI, J. (1960). *Alfred Wegener zum 80. Geburtstag*. Weserland-Verlag, Holzminden.
- GEORGI, J. (1962). Memories of Alfred Wegener. *En: Runcorn (1962b)*, p. 309–324.
- GERBOVA, V.G. y TIKHOMIROV, V.V. (1982). Russian school contribution to the birth and development of neotectonics. *Geologische Rundschau*, 71(2), 513–518.
- GIDON, P. (1963). *Courants magmatiques et évolution des continents: L'hypothèse d'une érosion sous-crustale*. Masson, París.
- GIERE, R.N. (1979). *Understanding scientific reasoning*. Harcourt Brace, Orlando (FL) (4ª ed. 1997).
- GIERE, R.N. (1988). *Explaining science. A cognitive approach*. University of Chicago Press, Chicago [existe trad. castellana: *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lomas Altas, México (1992)].
- GIERE, R.N. (1996). Visual models and scientific judgment. *En: Baigrie, B.S. (ed.). Picturing knowledge: Historical and philosophical problems concerning the use of art in science*. Toronto University Press, cap. 9, p. 269–302 (reproducido en: Giere, R.N. (ed.) (1999). *Science without laws*. Chicago University Press, Chicago, cap. 7, p. 118–146).
- GILBERT, G.K. (1886). The inculcation of scientific method by example, with an illustration drawn from the Quaternary geology of Utah. *American Journal of Science*, 3d. Ser., 31, 284–299.
- GILBERT, G.K. (1893). The Moon's face: A study of the origin of its features. *Philosophical Society of Washington Bulletin*, 12, 241–292 [conferencia presidencial impartida en dicha institución el 10 de diciembre de 1892].
- GILBERT, G.K. (1896). The origin of hypotheses, illustrated by the discussion of a topographic problem. *Science*, 3(53), 1–13.
- GILLISPIE, C.C. (1951). *Genesis and geology*. Harvard University Press, Cambridge

- (MA) (ed. 1996).
- GILVARRY, J.J. (1961). The origin of ocean basins and continents. *Nature*, 190(4781), 1048–1053.
- GINGERICH, O. (ed.) (1987). *Scientific genius and creativity*. (Readings from Scientific American). W.H. Freeman, Nueva York.
- GIRDLER, R.W. (1998). From polar wander to dynamic planet. A tribute to Keith Runcorn. *Physics and Chemistry of the Earth*, 23(7), 709–713.
- GLACKEN, C.J. (1967). *Huellas en la playa de Rodas*. Ed. del Serbal, Barcelona (trad. castellana 1996, de la 5ª ed. inglesa).
- GLAESSNER, M.F. y TEICHERT, C. (1947). Geosynclines: A fundamental concept in Geology. *American Journal of Science*, 245(8), 465–482.
- GLEN, W. (1975). *Continental drift and plate tectonics*. Merrill, Columbus (Oh).
- GLEN, W. (1982). *The road to Jaramillo: Critical years of the revolution in earth science*. Stanford University Press, Stanford (Ca).
- GLEN, W. (2002). A triptych to serendip: Prematurity and resistance to discovery in the Earth Sciences. *En: Hook (2002)*, cap. 8, p. 92–108.
- GODLEY, E.J. (1967). Widely distributed species, land bridges and continental drift. *Nature*, 214(5083), 57–58.
- GOEDECKE, G.H. y NI, J.F. (1991). Eötvös force on the lithosphere. *Tectonophysics*, 187(1–3), 251–257.
- GOKHALE, H., BHATIA, M.L. y RAST, N. (1997). Mechanism and sequence of assembly and dispersal of supercontinents. *Journal of Geodynamics*, 23(3), 155–172.
- GOODACRE, A. (1991). Continental drift. *Nature*, 354(6351), 261.
- GOODING, D.C. (2004). Cognition, construction and culture: Visual theories in the sciences. *Journal of Cognition and Culture*, 4(3–4), 551–593.
- GORDON, R.G. (1987). Polar wandering and paleomagnetism. *Annual Review of Earth & Planetary Sciences*, 15, 567–593.
- GORDON, R.G. (1998). The Plate Tectonic approximation: plate nonrigidity, diffuse plate boundaries, and global plate reconstructions. *Annual Review of Earth & Planetary Sciences*, 26, 615–642.
- GORE, R. (1985). Our restless planet earth. *National Geographic*, 168(2), 142–181.
- GORTANI, M. (1928). Ipotesi e teorie geotettoniche. *Giornal de Geologia, Annali del Reale Museo Geologico di Bologna*, 2ª serie, 3, 1–133.
- GOULD, S.J. (1965). Is uniformitarianism necessary? *American Journal of Science*, 263(3), 223–228.
- GOULD, S.J. (1977). The continental drift affair. *Natural History*, 86(2), 12–18

- [reimpreso como: The validation of continental drift. *En: Ever since Darwin. Reflections in natural history*. W.W. Norton, Nueva York, cap. 20, p. 160–167 (1977); trad. castellana: La validación de la deriva continental. *En: Desde Darwin. Reflexiones sobre historia natural*. Crítica, Barcelona, cap. 20, p. 179–187 (1983, reed. 2010)].
- GOULD, S.J. (1982). Huttons's purposeful view. *Natural History*, 91(5), 6–12 [trad. castellana: El propósito de Hutton. *En: Dientes de gallina, dedos de caballo*. Crítica, Barcelona (1995), p. 67–78].
- GOULD, S.J. (1984). Toward the vindication of punctuational change. *En: Berggren, W.A. y Couvering, J.A. (eds.). Catastrophes and Earth History. The New Uniformitarianism*. Princeton University Press, Princeton (NJ), cap. 1, p. 9–34.
- GOULD, S.J. (1987). *La flecha del tiempo*. Alianza, Madrid (trad. castellana 1992).
- GRACHT, W.A.J.M. v. W. van der (ed.) (1928). *The theory of continental drift. A symposium (New York/1926)*. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa (OK). [BP]
- GREEN, W.L. (1857). The cause of the pyramidal form of the outline of the southern extremities of the great continents and peninsulas of the globe. *Edinburgh New Philosophical Journal*, 6, 61–78.
- GREEN, W.L. (1875). *Vestiges of the molten globe*. E. Standford, Londres. [BL]
- GREEN, W.L. (1887). *The Earth's special features and volcanic phenomena*. Hawaiian Gazette, Honolulu. [BL]
- GREENBERG, J.L. (1995). *The problem of the Earth's shape from Newton to Clairaut. The rise of mathematical science in eighteenth-century Paris and the fall of "normal" science*. Cambridge University Press, Cambridge.
- GREENE, M.T. (1978). Major developments in geotectonic theory between 1800 and 1912. *Dissertation Abstracts International*, 39, 3106–A.
- GREENE, M.T. (1982). *Geology in the nineteenth century: Changing views of a changing world*. Cornell University Press, Ithaca.
- GREENE, M.T. (1984). Alfred Wegener. *Social Research*, 51(3), 739–761.
- GREENE, M.T. (1998). Alfred Wegener and the origin of lunar craters. *Earth Sciences History*, 17(2), 111–138.
- GREENE, M.T. (1999). Archival versus canned history. *Earth Sciences History*, 18(2), 336–343.
- GREENE, M.T. (2006a). Atmosphere physics and continental drift: the true story of how Alfred Wegener made his discovery. *8th Annual American Physical Society Northwest Section Meeting*, Tacoma (WA), 19–20 mayo/2006 (abstract).
- GREENE, M.T. (2006b). *Alfred Wegener and the origins of modern earth science in the theory of continental drift*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.

- GREENE, M.T. (2015). *Alfred Wegener. Science, exploration, and the theory of continental drift*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- GREGORY, J.T. (1982). Origins of the geosynclinal borderland theory. *Geologische Rundschau*, 71(2), 445–462.
- GREGORY, J.W. (1899). The plan of the earth and its causes. *The Geographical Journal*, 13(3), 225–251.
- GREGORY, J.W. (1921). *The rift valleys and geology of East Africa*. Seeley, Londres. [BL]
- GREGORY, J.W. (1925). Continental drift. *Nature*, 115(2886), 255–257.
- GRIBBIN, J. (1977). *La tierra en movimiento*. Salvat, Barcelona (trad. castellana 1986).
- GRIBBIN, J. (2002). *Historia de la ciencia, 1543–2001*. Crítica, Barcelona (trad. castellana 2003).
- GRIDER, R.W. (1983). *Continental drift: Some boundary conditions from surface phenomena*. Academic Press, Londres.
- GRIGGS, D.T. (1939). A theory of mountain building. *American Journal of Science*, 237(9), 611–650.
- GRUBIÄC, A. (2006). The astronomic theory of climatic changes of Milutin Milankovic. *Episodes*, 29(3), 197–203.
- G.S.A. (1923). Symposium on the structure and history of mountains and the causes of their development. *Geological Society of America Bulletin*, 34(2), 151–380.
- GÜNZEL, H. (1991). *Alfred Wegener und sein meteorologisches Tagebuch der Grönland-Expedition 1906–1908*. Schriften der Universitätsbibliothek 59, Marburgo.
- GUTENBERG, B. (1930). Hypotheses on the development of the Earth. *Journal of Washington Academy of Sciences*, 20, 17–25.
- GUTENBERG, B. (1936). The structure of the Earth's crust and the spreading of the continents. *Geological Society of America Bulletin*, 47(10), 1587–1610.
- GUTENBERG, B. (1939). Hypotheses on the development of the earth's crust and their implications. En: Gutenberg, B. (ed.). *Physics of the earth*. Vol. VII: *Internal constitution of the earth*. McGraw Hill, Nueva York, p. 177–217. [BL]
- GUTENBERG, B. (1940). Geotektonische hypothesen. En: Weickmann, L. (ed.). *Handbuch der Geophysik*. Gebrüder Bornträger, Berlin, vol. 3, p. 442–544.
- GUTTING, G. (ed.) (1980). *Paradigms and revolutions: Applications and appraisals of Thomas Kuhn's philosophy of science*. University of Notre Dame Press, Notre Dame (IN).
- HALE, M. (1677). *The primitive origination of mankind*. W. Shrowsbery, Londres. [BL]

- HALL, J. (1859). *Natural History of New York*. C. van Benthuysen, Albany (NY), Vol. III (Paleontology), parte 1, p. 67–73. [BL]
- HALLAM, A. (1967). The bearing of certain palaeozoogeographic data on continental drift. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 3(2), 201–241.
- HALLAM, A. (1972). Continental drift and the fossil record. *Scientific American*, 227(5), 56–66.
- HALLAM, A. (1973a). *De la deriva de los continentes a la tectónica de placas*. Labor, Barcelona (trad. castellana 1976).
- HALLAM, A. (ed.) (1973b). *Atlas of paleobiogeography*. Elsevier, Amsterdam.
- HALLAM, A. (1975). Alfred Wegener and the hypothesis of continental drift. *Scientific American*, 232(2), 88–97 [reimpreso en: Gingerich (1987), cap. 10, p. 77–86].
- HALLAM, A. (1983). *Grandes controversias geológicas*. Ed. Labor, Barcelona (trad. castellana 1985).
- HALLAM, A. (1988). La edad de la tierra. *Mundo Científico*, 85, 1096–1102.
- HALLAM, A. (2002). The emergence of vicariance biogeography: From Wegener to Croizat and the cladists. *En: Paleobiogeography: Integrating Plate Tectonics and Evolution*. Geological Society of America, Denver Annual Meeting (October 27–30).
- HALLER, J. (1982). Heretical views on mountain building in Europe and North America: Harbingers of modern tectonics. *Geologische Rundschau*, 71(2), 427–440.
- HALLIDAY, A.N. (1997). Radioactivity, the discovery of time and the earliest history of the earth. *Contemporary Physics*, 38(2), 103–114.
- HALLIDAY, A.N. y DRAKE, M.J. (1999). Colliding theories. *Science*, 283(5409), 1861–1863.
- HAMEL, J. (ed.) (1988). *Beiträge zur Geschichte der Astronomie in Berlin*. Archenhold–Sternwarte, Berlín–Treptow.
- HAMILTON, W. (1976). Plate tectonics and man. *U.S. Geological Survey Annual Report for 1976*, p. 39–53.
- HANSEN, L.T. (1946). *Some considerations of and additions to the Taylor–Wegener hypothesis of continental displacement*. Edición del autor.
- HANSON, B. (1970). The early history of the glacial theory in British geology. *Journal of Glaciology*, 9, 135–141.
- HAPGOOD, C.H. (1958). *Earth's shifting crust; a key to some basic problems of earth science*. Pantheon, Nueva York [trad. castellana: *La corteza terrestre se desplaza*. Letras, México (1960); existen reediciones del original con el título *The path of the pole*. Chilton Book Co., Filadelfia (1970 y 1999)].

- HARLAND, W.B. (1969). Essay review: the origins of continents and oceans. *Geological Magazine*, 106, 100–104.
- HAUG, E. (1900). Les géosynclinaux et les aires continentales. Contribution à l'étude des transgressions et regressions marines. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 28(3), 617–711.
- HAVEMANN, H. (1929). Ein neues Erklärungsmoment zum Mechanismus der Kontinentalverschiebungen. *Naturwissenschaften*, 17(38), 743–747.
- HAVEMANN, H. (1965). Kontinentenverschiebung mit oder ohne polwanderung. *Tectonophysics*, 2(4), 259–279.
- HAY, W.W., BARRON, E.J., SLOAN, J.L., II, y SOUTHAM, J.R. (1981). Continental drift and the global pattern of sedimentation. *Geologische Rundschau*, 70(1), 302–315.
- HAYFORD, J. (1911). The relations of isostasy to geodesy, geophysics and geology. *Science*, 3(841), 199–208.
- HAYS, J.D, IMBRIE, J. y SHACKLETON, N.J. (1976). Variations in the earth's orbit: Pacemaker of the Ice Ages. *Science*, 194(4270), 1121–1132.
- HAZEN, R.M. (1974). The founding of geology in America: 1771 to 1818. *Geological Society of America Bulletin*, 85(12), 1827–1834.
- HEEZEN, B.C. (1959). Geologie sous-marine et déplacements des continents. En: La topographie et la géologie des profondeurs océaniques. *Colloques internationales du C.N.R.S.*, 83, 295–304.
- HEEZEN, B.C. (1971). *The face of the deep*. Oxford University Press, Oxford.
- HEIM, A. (1878). *Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe*. Schwabe, Basilea, 2 vols. [BL]
- HEIRTZLER, J.R. (2002). Marine magnetic anomalies and the reconstruction of the world. *Northeastern Geology and Environmental Sciences*, 24(2), 126–133.
- HEISKANEN, W.A. y VENING-MEINESZ, F.A. (1958). *The earth and its gravity field*. McGraw-Hill, Nueva York.
- HELLMAN, H. (1998). Wegener versus everybody: continental drift. En: *Great feuds in science: Ten of the liveliest disputes ever*. J. Wiley, Chichester (NY), cap. 8.
- HEMPEL, C.G. (1966). *Filosofía de la ciencia natural*. Alianza, Madrid (trad. castellana 1973).
- HENBEST, N. (1984). Continental drift: The final proof. *New Scientist*, 102(1412), 6.
- HERBERT, S. (1985). Darwin the young geologist. En: Kohn, D. (ed.). *The Dar-*

- winian heritage. Princeton University Press, Princeton (NJ), p. 483–518.
- HERBERT, S. (1986). Darwin geólogo. *Investigación y Ciencia*, 118, 80–87.
- HERDEMERTEN, K. (1951). *Die weisse Wüste; mit Alfred Wegener in Grönland*. E. Brockhaus, Wiesbaden.
- HERITSCH, F. (1928). *The nappe theory in the Alps (Alpine tectonics, 1905–1928)*. Methuen, Londres (trad. inglesa 1929). [BL]
- HESS, H.H. (1955). Serpentes, orogeny, and epeirogeny. *En: Poldervaart, A. (ed.). Crust of the earth. A symposium*. Geological Society of America, Nueva York, p. 391–407.
- HESS, H.H. (1960). Evolution, ocean basins. Preprint, 38 p.
- HESS, H.H. (1962). History of oceans basins. *En: Engel, A.E.J., James, H.L. y Leonard, B.F. (eds.). Petrologic Studies: A Volume in Honor of A. F. Buddington*, Geological Society of America, p. 599–620 [reproducido en: Cox (1973), p. 23–38].
- HIDALGO, D. (1862). *Diccionario general de bibliografía española*. Imprenta de las Escuelas Pías, Madrid, tomo I. [ULL]
- HILGEN, F.J., KRIJGSMAN, W., LANGEREIS, C.G. y LOURENS, L.J. (1997). Breakthrough made in dating of the geological record. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 78(28), 285, y 288–289.
- HILGENBERG, O.C. (1933). *Vom Wachsendem Erdball*. Geissmann und Bartsch, Berlín.
- HILLS, G.F.S. (1947). *The formation of the continents by convection*. E. Arnold, Londres.
- HOARE, M.R. (2004). *Quest for the true figure of the Earth. Ideas and expeditions in four centuries of geodesy*. Ashgate, Burlington (VT).
- HOBBS, W.H. (1921). *Earth evolution and its facial expression*. Macmillan, Nueva York. [BL]
- HOBBS, W.H. (1931). Obituary: Alfred Wegener. *Geographical Review*, 21(3), 501–502.
- HÖLDER, H. (1960). *Geologie und Paläontologie in Texten und ihrer Geschichte*. K. Alber, Friburgo–Munich.
- HOLLAND, T.H. (1941). The evolution of continents: a possible reconciliation of conflicting evidence. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, Sec. B*, 61, 149–166.
- HOLMES, A. (1911). The association of lead with uranium in rock–minerals, and its application to the measurement of geological time. *Proceedings of the Royal Society, Series A*, 85, 248–256.
- HOLMES, A. (1925). Radiactivity and geology. *Nature*, 116(2929), 891–893.

- HOLMES, A. (1926). Contributions to the Theory of Magmatic Cycles. *Geological Magazine*, 63, 306–329.
- HOLMES, A. (1928a). Continental drift. *Nature*, 122(3073), 431–433.
- HOLMES, A. (1928b). Radioactivity and continental drift. *Geological Magazine*, 65, 236–238.
- HOLMES, A. (1929). A review of the continental drift hypothesis. *The Mining Magazine*, 40, 205–209; 268–288; 340–347.
- HOLMES, A. (1931). Radioactivity and earth movements. *Transactions of the Geological Society of Glasgow*, 18 (part 2), 559–606.
- HOLMES, A. (1933). The thermal history of the Earth. *Journal of Washington Academy of Sciences*, 23, 169–195.
- HOLMES, A. (1944). The machinery of continental drift: the search for a mechanism. En: *Principles of Physical geology*. T. Nelson & Sons, Nueva York, p. 505–509 [reproducido en: Cox (1973), p. 17–22].
- HOLMES, A. (1953). The South Atlantic: land bridges or continental drift? *Nature*, 171(4355), 669–671.
- HOLMES, A. (1965). *Geología física*. Omega, Barcelona (trad. castellana 1971, 6ª ed.).
- HOLMES, A. y HOLMES, D.L. (1978). *Geología física*. Omega, Barcelona (trad. castellana 1980 de la 3ª ed. inglesa).
- HOLTON, G. y BRUSH, S.G. (1976). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Ed. Reverté, Barcelona (trad. castellana 1989, 2ª ed.).
- HOMMERIL, P. (1978). Historique des premières hypothèses géologiques d'une séparation Afrique–Amérique du Sud. *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 1^{re} série, N° 10.
- HOOK, E.B. (ed.) (2002). *Prematurity in scientific discovery. On resistance and neglect*. University of California Press, Berkeley (CA).
- HOOYKAAS, R. (1959). *Natural law and divine miracle. A historical–critical study of the principle of uniformity in geology, biology, and theology*. E.J. Brill, Leiden.
- HÖPFNER, J. (1999). *On the contribution of the Geodetic Institute Potsdam to the International Latitude Service*. Scientific Technical Report STR99/08.
- HÖPFNER, J. (2000). The International Latitude Service. A historical review from the beginning to its foundation in 1899 and the period until 1922. *Surveys in Geophysics*, 21(5–6), 521–566.
- HOPKINS, E. (1844). *On the connexion of geology with terrestrial magnetism*. R. & J.E. Taylor, Londres. [BL]
- HOPKINS, W. (1838). On the state of the interior of the Earth. 1st and 2nd Memoirs. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*, Abstracts, 4, 83–84,

- HORNIUS, G. (1652). *De originibus Americanis*. Lugduni Batavorum, Hagae Comit. [BL]
- HORVITZ, L.A. (2002). El pionero de Pangea: Alfred Wegener y la teoría de la deriva continental. En: *¡Eureka! Descubrimientos científicos que cambiaron el mundo*. Paidós, Barcelona (trad. castellana 2003), cap. IX.
- HÖRZ, H. (1982). Alfred Wegener als Wissenschaftler seiner Zeit Erkenntnistheoretische Überlegungen. *Zeitschrift für Geologische Wissenschaften*, 10(3), 297–306.
- HOUGH, S.E. (2002). *Earthshaking science. What we know (and don't know) about earthquakes*. Princeton University Press, Princeton (NJ).
- HOWDEN, H.F. (1974). Problems of dispersal of terrestrial organisms in relation to continental drift. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 58(12), 2497–2501.
- HSÜ, K.J. (1958). Isostasy and a theory for the origin of geosynclines. *American Journal of Science*, 256(5), 305–327.
- HSÜ, K.J. (1972). The concept of the geosyncline, yesterday and today. *Transactions of the Leicester Literary and Philosophical Society*, 66, 26–48.
- HSÜ, K.J. (1973). The odyssey of geosyncline. En: Ginsburg, R.N. (ed.). *Evolving concepts in sedimentology*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, p. 66–92.
- HSÜ, K.J. (1982a). Geosynclines in plate tectonics settings: Sediments in mountains. En: Hsü, K.J. (ed.). *Mountain building processes*. Academic Press, Nueva York, p. 3–12.
- HSÜ, K.J. (1982b). *Challenger at sea: A ship that revolutionized earth science*. Princeton University Press, Princeton (NJ) (trad. inglesa 1992).
- HSÜ, K.J. (1995). *The geology of Switzerland. An introduction to tectonic facies*. Princeton University Press, Princeton (NJ).
- HSÜ, K.J. (1996). Mountain-building. *Endeavour*, 20(1), 8–11.
- HUGHES, N.F. (1973). *Organisms and continents through time: methods of assessing relationships between past and present biologic distributions and the positions of continents. A symposium*. Palaeontological Association, Londres.
- HUGHES, P. (1994). The meteorologist who started a revolution. *Weatherwise*, 47, 29–35 [reimpreso en *Weatherwise*, 51, 38 (1998)].
- HUMBOLDT, A. von (1801). Esquisse d'un tableau géologique de l'Amérique méridionale. *Journal de Physique, de Chimie, d'Histoire Naturelle et des Arts*, 53, 30–60.
- HUMBOLDT, A. von (1843). *Asie Centrale. Recherches sur les chaînes de mon-*

- tagnes et la climatologie comparée*. Gide, París, tomo I. [BL]
- HUMBOLDT, A. von (1845). *Cosmos. Ensayo de una descripción física del mundo*. Ramón Rodríguez de Rivera Editor, Madrid, tomo 1 (trad. castellana 1851) [facsimile en: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba (2005)].
- HURLEY, P.M. (1968). The confirmation of continental drift. *Scientific American*, 218(4), 53–64 [existe trad. castellana en Wilson (1972, p. 62–74)]
- HUTTON, J. (1785). *Abstract of a dissertation read in the Royal Society of Edinburgh upon the Seventh of March, and Fourth of April MDCCLXXXV, concerning the system of the earth, its duration and stability*. Scottish Academic Press, Edimburgo (facsimile 1987) [existe trad. castellana en García Cruz (1999b), y *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(2), p. 153–156 (2004)].
- HUTTON, J. (1788b). Theory of the Earth, or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of land upon the globe. *Transactions of the Royal Society, Edinburgh*, 1, 209–304 [existe trad. castellana en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(2), p. 160–205 (2004)].
- HUTTON, J. (1795). *Theory of the Earth, with proofs and illustrations*. Londres: Cadell, Jr. & Davies, y Edimburgo: W. Creech; vols. I y II. [BL] [facsimiles en: Hafner, Nueva York (1959), Welson & Codicote, Herts (1959), y J. Cramer, Lehre (1972). Existe un vol. III. en ed. póstuma (1899) y en facsimile (1997) en la Geological Society of London].
- HYNES, A. (1990). Two-stage rifting of Pangea by two different mechanisms. *Geology*, 18(4), 323–326.
- IMBRIE, J. e IMBRIE, K.P. (1979). *Ice ages: Solving the mystery*. Harvard University Press, Cambridge (MA) (2ª ed. 1986).
- IRVING, E. (1957). Rock magnetism: A new approach to some palaeogeographic problems. *Advances in Physics*, 6(22), 194–218.
- IRVING, E. (1964). *Paleomagnetism and its application to geological and geophysical problems*. J. Wiley, Chichester (NY).
- IRVING, E. (ed.) (1973). Mechanisms of plate tectonics. *Tectonophysics*, 19(2), 85–194.
- IRVING, E. (1988). The paleomagnetic confirmation of continental drift. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 69(44), 994–1014.
- IRVING, E. (2005). The role of latitude in mobilism debates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(6), 1821–1828.
- JACOB, C. (1925). Les théories tectoniques nouvelles. É. Argand – A. Wegener. *Annales de géographie*, 34 (188), 97–112.
- JACOBS, J.A., RUSSEL, R.D. y WILSON, J.T. (1959). *Physics and geology*. McGraw–Hill, Nueva York.

- JACOBS, J.A., RUSSEL, R.D. y WILSON, J.T. (1972). *Physics and geology*. McGraw–Hill, Nueva York (2ª ed.).
- JACOBSPATH, V. (ed.) (1980). *Alfred Wegener, 1880–1930: Leben und Werk*. Dietrich Reimer, Berlín [catálogo de la exposición conmemorativa del centenario de su nacimiento].
- JACOBY, W.R. (1981a). Modern concepts of earth dynamics anticipated by Alfred Wegener in 1912. *Geology*, 9(1), 25–27.
- JACOBY, W.R. (1981b). Modern concepts of earth dynamics anticipated by Alfred Wegener in 1912; discussion and reply. *Geology*, 9(9), 386–387.
- JACOBY, W.R. (2001a). Translation of Die Entstehung der Kontinente Dr Alfred Wegener. *Journal of Geodynamics*, 32(1–2), 29–63 [trad. inglesa de Wegener (1912e,f,g)].
- JACOBY, W.R. (2001b). Successes and failures in geodynamics from past to future. *Journal of Geodynamics*, 32(1–3), 3–27.
- JACOBY, W.R. y SCHMELING, H. (1981). Convection experiments and the driving mechanism. *Geologische Rundschau*, 70(1), 207–230.
- JAKI, S.L. (1978). *Planets and planetarians: A history of theories of the origin of planetary systems*. Scottish Academic Press, Edimburgo.
- JAMES, P. (1994). *The tectonics of geoid changes*. Polar, Calgary.
- JARDINE, N. y MCKENZIE, D. (1972). Continental drift and the dispersal and evolution of organisms. *Nature*, 235(5332), 20–24.
- JEANS, J.H. (1917). The motion of tidally distorted bodies with special reference to theories of cosmogony. *Memory of the Royal Astronomical Society*, 62, 1–48.
- JEANS, J.H. (1919). *Problems of cosmogony and stellar dynamics*. Cambridge University Press, Cambridge. [BL]
- JEANS, J.H. (1923). *The nebular hypothesis and modern cosmogony*. Halley Lecture, Oxford. [BL]
- JEANS, J.H. (1924). The origin of the solar system. *Nature*, 113(2835), 329–340.
- JEFFREYS, H. (1923). Hypothesis of continental drift. *Nature*, 111(2789), 495–496.
- JEFFREYS, H. (1924). *The Earth: Its origin, history and physical constitution*. Cambridge University Press, Cambridge [eds. en 1929, 1952, 1959, 1970 y 1976]. [MNCN/ed. 1952]
- JEFFREYS, H. (1926). The Earth's thermal history and some related problems. *Geological Magazine*, 63, 516–525.
- JEFFREYS, H. (1970). Imperfections of elasticity and continental drift. *Nature*, 225(5237), 1007–1008.
- JEFFREYS, H. (1976). *The Earth: Its origin, history and physical constitution*. Cambridge University Press, Cambridge (6ª ed.).

- JOHNSON, E. (2004). *James Hutton and Plate Tectonics: Parallels in time?* Honors Thesis Paper, Washington State University.
- JOHNSON, D. (1933). Role of analysis in scientific investigation. *Geological Society of America Bulletin*, 44(3), 461–494.
- JOHNSON, H. y GILLILAND, W. (eds.) (1968). *What's happening on Earth? A Symposium*. Rutgers University Press, New Brunswick (NJ).
- JOHNSON, H. y SMITH, B.L. (eds.) (1970). *The megatectonics of continents and oceans*. (Symposium on continental drift, Rutgers University, summer/1966). Rutgers University Press, New Brunswick (NJ).
- JOHNSON, J.G. (1990). Method of Multiple Working Hypotheses: A chimera. *Geology*, 18(1), 44–45.
- JOLEAUD, L. (ed.) (1923). Essai sur l'évolution des milieux géophysiques et biogéographiques. (À propos de la théorie de Wegener sur l'origine des continents). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 23(2), 205–270.
- JOLEAUD, L. (1924). L'histoire biogéographique de l'Amérique et la théorie de Wegener. *Journal de la Société des Américanistes de Paris*, 16, 325–360.
- JOLY, J. (1908). Uranium and Geology–II. *Science*, 28(726), 737–743.
- JOLY, J. (1909a). Uranium and Geology. *Report of the British Association for the Advancement of Science, Dublin*, p. 449–463.
- JOLY, J. (1909b). Uranium and Geology. *Annual Report of the Smithsonian Institution* (for 1908), p. 355–384.
- JOLY, J. (1909c). *Radioactivity and geology. An account of the influence of radioactive energy on terrestrial history*. A. Constable, Londres. [MNCN]
- JOLY, J. (1923). The movements of the Earth's surface crust. *Philosophical Magazine, Series 6*, 45, 1167–1188.
- JOLY, J. (1925). *The surface history of the Earth*. Oxford University Press, Oxford. [BP]
- JOLY, J. (1926). The surface history of the Earth. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, 15, 189–200.
- JOLY, J. (1928). The theory of thermal cycles. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, 19, 415–441.
- JOLY, J. y POOLE, J.H.J. (1927). On the nature and origin of the Earth's surface structure. *Philosophical Magazine, Series 7*, 3, 327–330.
- JONES, B. (1974). Plate tectonics, a Kuhnian case? *New Scientist*, 63, 90.
- JONSSON, I. (1999). *Visionary scientist: The effects of science and philosophy on Swedenborg's cosmography*. Swedenborg Foundation, West Chester (PA).
- JORDAN, P. (1966). *The expanding Earth*. Pergamon Press (trad. inglesa 1971).
- JUST, T. (1952). Fossil floras of the southern hemisphere and their phytogeograph-

- ical significance. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 99(3), 189–203.
- KABAN, M.K., SCHWINTZER, P. y REIGBER, C. (2004). A new isostatic model of the lithosphere and gravity field. *Journal of Geodesy*, 78(6), 368–385.
- KAHLE, C.F. (ed.) (1974). *Plate Tectonics. Assessments and Reassessments*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 23. Tulsa (OK).
- KAISER, M. (1991). From rocks to graphs. The shaping of phenomena. *Synthese*, 81(1), 111–133.
- KAISER, M. (1993). Discussion: Philosophers adrift? Comments on the alleged disunity of method. *Philosophy of Science*, 60, 500–512.
- KANT, I. (1755). *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*. H. Fischer Verlag, Erlangen (facsimile 1988 de la 1ª ed. alemana).
- KARPINSKY, A.P. (1888). Sobre la regularidad en el perfil, distribución, y estructura de los continentes (en ruso). *Gornyi Zhurnal [Revista de Minería]*, 1, 252–269 [existe trad. alemana: Bemerkungen über die Regelmässigkeit in der Gestalt und dem Bau der Kontinente. *Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de Saint Petersburg*, 32, 157–173 (1888), y trad. inglesa en Romanovsky (2003)].
- KASBEER, T. (1973). *Bibliography of continental drift and plate tectonics*. Geological Society of America, Special Paper N° 142.
- KASBEER, T. (1975). *Bibliography of continental drift and plate tectonics*. Vol. II. Geological Society of America, Special Paper N° 164.
- KAULA, W.M. y HARRIS, A.W. (1975). Dynamics of lunar origin and orbital evolution. *Review of Geophysics and Space Physics*, 13(2), 363–371.
- KAUTZLEBEN, H. (1980). Alfred Wegener und sein Beitrag zur Geodynamik. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, 89, 353–356.
- KAY, M., (1951). North American geosynclines. *Geological Society of America Memoir*, 48, 1–143.
- KAY, M. (1967). On geosynclinal nomenclature. *Geological Magazine*, 104, 311–316.
- KAY, M. (ed.) (1969). *North Atlantic geology and continental drift. A symposium*. (International Conference on stratigraphy and structure bearing on the origin of the north Atlantic ocean, Gander, Newfoundland, August 24–30/1967). American Association of Petroleum Geologists, Tulsa (OK).
- KEAST, A. (1971). Continental drift and the evolution of the biota on southern continents. *Quarterly Review of Biology*, 46(4), 335–378.
- KEILHACK, W. (1895). Alte Zeiten der Erde. *Himmel und Erde*, 7, 249–261.
- KEITH, M. (2001). Evidence for a plate tectonics debate. *Earth–Science Reviews*,

- 55(3), 235–336.
- KENNEDY, B. (2006). Inventing scientific explanations. *En: Inventing the Earth. Ideas on landscape development since 1740*. Blackwell, Malden (Ma)–Oxford, cap. 1, p. 3–10.
- KENNEDY, E.S. (1970). Al-Biruni, Abu Rayan. *En: Gillispie, C.C. (ed.). Dictionary of Scientific Biography*. Charles Scribner's Sons, Nueva York, vol. I, p. 147–158.
- KENNEDY, E.S. (1973). *A commentary upon Biruni's "Kitab Tahdid al-Amakin": An 11th century treatise on mathematical geography*. American University of Beirut, Beirut.
- KEPLER, J. (1619). *Harmonices Mundi*. Impresion Anastaltique (facsimile), Bruselas (1968).
- KERTZ, W. (1980a). Vom falschen Ansatz zur richtigen Theorie. *Bild der Wissenschaften*, 11, 78–86.
- KERTZ, W. (1980b). Alfred Wegener – Reformator der Geowissenschaften. *Physikalische Blätter*, 36, 347–353.
- KERTZ, W. (1981). Wegeners “Kontinentverschiebungen” zu seiner Zeit und heute. *Geologische Rundschau*, 70(1), 15–32.
- KERTZ, W. (2002). *Biographisches Lexikon zur Geschichte der Geophysik*. Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft, Brunswick, 384 p.
- KESSLER, W. (1981). *Alfred Wegener und Marburg an der Lahn*. Sparkasse d. Stadt, Marburgo.
- KHAIN, V.E. (1970). ¿Se está produciendo una revolución científica en geología? *Priroda*, 1970(1), 7–19 [en ruso].
- KHAIN, V.E. (1991). Mobilism and Plate Tectonics in USSR. *Tectonophysics*, 199(2–4), 137–148.
- KHAIN, V.E. (1995). Plate tectonics in Russia. *En: Bonatti y Wezel (1995)*, p. 607–610.
- KHAIN, V.E. y RYABUKHIN, A.G. (2002). Russian geology and the plate tectonics revolution. *En: Oldroyd, D. (ed.). The earth inside and out: Some major contributions to Geology in the 20th Century*. Geological Society of London, Special Publication, 192, 185–198.
- KHAN, M.A. (1976). *Geología global*. Paraninfo, Madrid (trad. castellana 1980).
- KIDD, J.S. y KIDD, R.A. (1997). *On shifting ground. The story of continental drift*. Facts on File, Inc., Nueva York.
- KIEFER, I. (1978). *Global jigsaw puzzle: the story of continental drift*. Atheneum, Nueva York.
- KIND, R. y XIAOHUI, Y. (2003). Kollidierende Kontinente. *Physik in unserer*

- Zeit*, 34(5), 213–217.
- KING, L.C. (1983). *Wandering continents and spreading sea floors on an expanding earth*. J. Wiley, Chichester (NY).
- KING, S.D. (1995). A numerical journey to the earth's interior. *IEEE Computational Science & Engineering*, 2(3), 12–23.
- KITTS, D.B. (1974). Continental drift and scientific revolution. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 58(12), 2490–2496 [reimpreso en: Kitts (1977), p. 115–127].
- KITTS, D.B. (1977). *The structure of geology*. Southern Methodist University Press, Dallas.
- KITTS, D.B. (1978). Retrodiction in geology. En: Asquith y Hacking (1981), p. 215–226.
- KLAUS, V. (1990). The expansion of the earth, an alternative model to the Plate Tectonics Theory. En: Barto–Kyriakidis, A. (ed.). *Critical aspects of the plate tectonics theory*. Vol. II: *Alternatives theories*. Theophrastus, Atenas, p. 19–34.
- KLEE, F. (1842). *El diluvio, consideraciones geológicas e históricas sobre los últimos cataclismos del globo*. Imprenta de Ignacio Cumplido, México (trad. castellana 1856 de la ed. francesa 1847). [MNCN, ed. francesa]
- KLEIN, H.A. (1972). *Oceans and continents in motion: An introduction to continental drift and global tectonics*. Lippincott, Philadelphia.
- KLEINHANS, M.G., BUSKES, C.J.J. y REGT, H.W. de (2005). *Terra Incognita: Explanation and reduction in Earth Science*. *International Studies in the Philosophy of Science*, 19(3), 289–317.
- KNIGHT, P.G. (2004). Glaciers: Art and history, science and uncertainty. *Interdisciplinary Science Reviews*, 29(4), 385–393.
- KNOPF, A. (1948). The geosynclinal theory. *Geological Society of America Bulletin*, 59(7), 649–670.
- KNOPF, A. (1960). Analysis of some recent geosynclinal theory. *American Journal of Science*, 258A, 126–136.
- KNOPF, A., BROWN, E.W., HOLMES, A., KOVARIK, A.F., LANE, A.C. y SCHUCHERT, C. (1931). *The age of the earth*. National Academy of Sciences, Washington. Physics of the Earth IV. *Bulletin of the National Research Council*, 80, 1–487.
- KOBER, L. (1921). *Der Bau der Erde*. Gebrüder Brontraeger, Berlín. [IGEO]
- KOBER, L. (1928). *Der Bau der Erde*. Gebrüder Brontraeger, Berlín (2ª ed.).
- KOCH, J.P. (1912). Die Reise durch Island 1912. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 58(4), 185–189 [trad. alemana de A.L. Wegener].

- KOCH, J.P. (1919). *Durch die weisse Wüste*. J. Springer, Berlín [trad. alemana de Else Wegener]. [AWI]
- KOCH, J.P. y WEGENER, A.L. (1911). Die glaciologischen Beobachtungen der Danmark–Expedition. København. *Meddelelser om Grønland*, 46(1), 5–77.
- KOCH, J.P. y WEGENER, A.L. (1912). *Die glaciologischen Beobachtungen der Danmark–Expedition 1911*. S.B.110. Denmark. –Kommissionan for Ledelsen af de geologiske og geografiske Undersøgelser i Grønland, København. *Meddelelser om Grønland*, Bd. 46.
- KOCH, J.P. y WEGENER, A.L. (1928). Wissenschaftliche Ergebnisse der dänischen Expedition nach Dronning Louises–Land und quer über das Inlandeis von Nordgrønland 1912/13 unter Leitung von Hauptmann J.P. Koch, København. *Meddelelser om Grønland*, 75, 1–676 (1930).
- KOCH, J.P. y WEGENER, A.L. (1930). Glaziologische Beobachtungen am Vatna–Löker auf Island. *Meddelelser om Grønland*, 75, 391–404.
- KÖLBL–EBERT, M. (2010). Father Damian Kreichgauer SVD (1859–1940) and Father Erich Wasmann SJ (1859–1931): geology, earth history and evolution in two German lives between science and faith. *Earth Sciences History*, 29(2), 311–330.
- KOHLER, P. (1991). *Historia de nuestro planeta*. Alianza, Madrid (trad. castellana 1993).
- KOPFF, A. (1931). Anzeige des Todes von Alfred Wegener. *Astronomische Nachrichten*, 242, 263.
- KÖPPEN, W. (1931). Alfred Wegener. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 77, 403–407.
- KÖPPEN, W. y WEGENER, A.L. (1924). *Die Klimate der geologischen Vorzeit*. Gebrüder Bornträger, Berlín. [MNCN]
- KÖRBER, H.G. (1980a). *Alfred Wegener*. Teubner, Leipzig (2ª ed. 1982).
- KÖRBER, H.G. (1980b). Das Leben A. Wegeners und sein Beitrag zur Meteorologie. *Urania Schriftenreihe für den Referenten*, 6, 5–23.
- KÖRBER, H.G. (1981a). Alfred Wegener (1880–1930). Zum 100. Geburtstag und 50. Todestag. *Zeitschrift für Meteorologie*, 31(6), 327–341.
- KÖRBER, H.G. (1981b). Die Beiträge A. Wegener zur Entwicklung der neueren Meteorologie. *16th International Congress of the History of Science Proceedings*, Bucarest, 22, 101–106.
- KOYRÉ, A. (1934). Introduction. En: Copernic, N. (1543). *Des révolutions des orbes célestes*. (Livre Premier). F. Alcan, Paris (trad. francesa 1934), p. 1–27.
- KOYRE, A. (1961). *La révolution astronomique: Copernic, Kepler, Borelli*. Hermann, París.

- KRÄMER, A. (1927). *Die Entstehung der Korallen Inseln nach neuen Gesichtspunkten auf Grund eigener Untersuchungen*. E. Schweitzerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- KRAUS, E. (1959). *Die Entwicklungsgeschichte der Kontinente und Ozeane*. Akademie, Berlin.
- KRAUS, E., MEYER, U.R. y WEGENER, A.L. (1928a). Untersuchungen über den Krater von Sall auf Ösel. *Kurlands Beiträge zur Geophysik*, 20, 312–378.
- KRAUS, E., MEYER, U.R. y WEGENER, A.L. (1928b). Untersuchungen über den Krater von Sall auf Ösel. *Kurlands Beiträge zur Geophysik*, 20, 428–429.
- KRAUSE, R.A. y THIEDE, J. (2005a). Alfred Wegener, Geowissenschaftler aus Leidenschaft Eine Reflexion anlässlich des 125. Geburtstages des Schöpfers der Kontinentalverschiebungstheorie. *Deutsches Schiffsarchiv*, 28, 299–326.
- KRAUSE, R.A. y THIEDE, J. (eds.) (2005b). *Kontinental-Verschiebungen: Originalnotizen und Literaturauszüge/Continental drift: the original notes and quotations/Alfred Wegener*. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, 421 p.
- KREICHGAUER, D. (1902). *Die Äquatorfrage in der Geologie*. Kaldenkirchen, Steyl (2ª ed. 1926). [BL]
- KRISHNAN, M.S. (1967). Continental drift. *Journal of Indian Geophysical Union*, 6, 1–34.
- KRENKEL, E. (1911). Die Entwicklung der Keidelformation auf dem afrikanische Kontinente. *Geologische Rundschau*, 2(5/6), 330–366.
- KRUMBEIN, W.C. y SLOSS, L.L. (1963). *Estratigrafía y sedimentación*. UTEHA, México, D.F. (trad. castellana 1969).
- KUENEN, P.H. (1958). No geology without marine geology. *Geologische Rundschau*, 47(1), 1–10 [reimpreso en *International Journal of Earth Sciences*, 91(Suppl. 1), 54–61 (2002), y en Dullo (2003), p. 54–61].
- KUHLBRODT, E. (1932). Alfred Wegeners letzte Grönlandsfahrt. (Besprechung). *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie*, 60, 394–396.
- KUHN, T.S. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica, México (trad. castellana 1971).
- KUIPER, G.P. (1951). On the origin of the solar system. En: Hynek, J.A. (ed.). *Astrophysics: A Topical Symposium commemorating the Fiftieth Anniversary of the Yerkes Observatory and a Half Century of Progress in Astrophysics*. McGraw-Hill, Nueva York, p. 357–424.
- KURTÉN, B. (1968). Continental drift and evolution. *Scientific American*, 220(3), 54–64 [existe trad. castellana en Wilson (1972), p. 114–124].
- LAFUENTE, A. (1983). Los elementos de un debate científico durante la primera

- mitad del siglo XVIII: la cuestión de la figura de la tierra. *GeoCrítica*, 46, 1–55.
- LAFUENTE, A. y DELGADO, A.J. (1984). *La geometrización de la tierra (1735–1744)*. CSIC, Madrid.
- LAFUENTE, A. y MAZUECOS, A. (1987). *Los caballeros del punto fijo*. Del Serbal–CSIC, Barcelona.
- LAGRANGE, J. (1788). *Mécanique Analytique*. Blanchard, París, vol. 1 (ed. 1965).
- LAMBECK, K. (1980). *The Earth's variable rotation: geophysical causes and consequences*. Cambridge University Press, Cambridge.
- LANGUEVIN, Y. (1987). L'origin de la lune: l'apport des missions spatiales. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 8–3, 65–69.
- LAPLACE, P.S. (1796a). *Exposition du Système du Monde*. Fayard, París (ed. 1984) [existe trad. castellana: *Exposición del sistema del mundo*. Ed. Crítica, Barcelona (2005)].
- LAPLACE, P.S. (1796b). The nebular hypothesis. En: D.L. Hurd y J.J. Kipling (eds). (1964). *The origins and growth of physical science*. Penguin Books, Baltimore, vol. I, p. 214–226 [extractos de *The system of the world*. Trad inglesa de la obra de Laplace realizada por el Rev. H.H. Harte. Longmans, Dublín; Rees, Orme, Brown, & Green, Londres (1830)].
- LAPORTE, L.F. (1996). Darwin the geologist. *GSA Today*, 6(12), 8–10.
- LAUDAN, L. (1977). *El progreso y sus problemas*. Ed. Encuentro, Madrid (trad. castellana 1986).
- LAUDAN, R. (1978). The recent revolution in geology and Kuhn's theory of scientific change. En: Asquith y Hacking (1981), p. 227–239 [reeditado en Gutting (1980), p. 248–296].
- LAUDAN, R. (1980a). The method of multiple working hypotheses and the development of Plate Tectonic Theory. En: T. Nickes (ed). *Scientific discovery: Case studies*. Reidel, Dordrecht, p. 331–343.
- LAUDAN, R. (1980b). The recent revolution in geology and Kuhn's theory of scientific change. En: Gutting (1980), p. 284–296.
- LAUDAN, R. (1985). Frank Bursley Taylor's theory of continental drift. *Earth Sciences History*, 4(2), 118–121.
- LAUDAN, R. (1987a). *From mineralogy to geology. The foundations of a science, 1650–1830*. The University of Chicago Press, Chicago. (ed. 1993).
- LAUDAN, R. (1987b). The rationality of entertainment and pursuit. En: Pitt, J.C. y Pera, M. (eds.). *Rational changes in science: Essays on scientific reasoning*. (Boston studies in the philosophy of science, 98), Reidel, Dordrecht, p. 203–220.
- LAUDAN, R. y LAUDAN, L. (1989). Dominance and the disunity of method:

- Solving the problems of innovation and consensus. *Philosophy of Science*, 56, 221–237.
- LAURENT, G. (1987). Wegener, le père de la dérive des continents. *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 37, 386–387.
- LAWRENCE, D.M. (2002). *Upheaval from the abyss: Ocean floor mapping and the Earth science revolution*. Rutgers University Press, New Brunswick (NJ).
- LE BAS, M.J. (ed.) (1995). *Milestones in Geology*. Geological Society of London, Memoir 16.
- LE DANOIS, E. (1938). *El Atlántico. Historia y vida de un océano*. Espasa Calpe, Madrid (trad. castellana 1940).
- LEE y ARRIAZU, H. (1990). *Wegener, America and the introspective sight*. The Globe Publications, Ontario.
- LEES, G.M. (1953). The evolution of a shrinking earth. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 109(1–4), 217–257.
- LE GRAND, H.E. (1986). Steady as a rock: Methodology and moving continents. En: Schuster, J.A. y Yoe, R.R. (eds.). *The politics and rhetoric of scientific method: historical studies*. Reidel–Hingham, Dordrecht–Boston, p. 97–138.
- LE GRAND, H.E. (1988). *Drifting continents and shifting theories*. Cambridge University Press, Cambridge.
- LEHMANN, B. y HALLER, J. (1981). Modern concepts of earth dynamics anticipated by Alfred Wegener in 1912; discussion and reply. *Geology*, 9(9), 386.
- LEMOINE, M. (1973). Un certain dogmatisme menace-t-il la tectonique des plaques? *La Recherche*, 33, 374–376.
- LEMOINE, M., GRACIANSKY, P.CH. de y TRICART, P. (2000). *De l'océan à la chaîne de montagnes. Tectonique des plaques dans les Alpes*. Société Géologique de France–Gordon & Breach, Paris.
- LEONOV, N.I. (1973). Ideas de al–Biruni sobre el desplazamiento horizontal de “algunas masas terrestres” (en ruso). *Voprosy Istorii Estestvoznaniia i Tekhniki*, 45, 28–29.
- LE PICHON, X. (1968). Sea–floor spreading and continental drift. *Journal of Geophysical Research*, 73(12), 3661–3697 [reproducido en Cox (1973), p. 89–121].
- LE PICHON, X, FRANCHETEAU, J. y BONNIN, J. (1973). *Plate tectonics*. Elsevier, Amsterdam.
- LERNER, L.S. y GOSSELIN, E.A. (1987). Galileo y el fantasma de Bruno. *Investigación y Ciencia*, 124, 80–88.
- LEUCHS, K. (1943). Der Bauplan von Anatolien. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie*, ser. B, 2/3, 33–72.

- LEVERETT, F. (1939). Memorial to Frank Bursley Taylor. *Proceedings of Geological Society of America*, 49, 191–200 [correspondiente al año 1938].
- LEVY, D. (2001). How worlds collide: The great plate debate revisited. *Stanford Report* (10 de enero), p. 6.
- LEWIS, C. (2000). *The dating game. One man's search for the Age of the Earth*. Cambridge University Press, Cambridge–Nueva York.
- LEWIS, C.L.E. y KNELL, S.J. (eds.) (2001). *The age of the earth: from 4004 BC to AD 2002*. Geological Society of London, Special Publication No. 190.
- LEWIS, C.L.E. (2002). Arthur Holmes' unifying theory: From radioactivity to continental drift. En: Oldroyd, D. (ed.). *The earth inside and out: Some major contributions to Geology in the 20th Century*. Geological Society of London, Sp. Publ., 192, 167–184.
- LEY, W. (1969). *The drifting continents*. Weybright & Talley, Nueva York.
- LI, J. y XIAO, W. (2001). The paradox of geosyncline hypothesis and orogenic analysis. En: Briegel, U. y Xiao, W. (eds.). *Paradoxes in geology*. Elsevier, Amsterdam, p. 7–13.
- LILIENTHAL, T.C. (1756). *Die gute Sache der Göttlichen Offenbarung*. Hartung, Königsberg. [GAUB]
- LINDEN, W.J.M. van der (ed.) (1979). Fixism, mobilism or relativism. Van Bemmelens' search for harmony. *Special Issue Geologie en Mijnbouw*, 58(2), 97–228.
- LINNEO, C. (1744). *Oratio de Telluris habitabilis incremento*. En: *Amoenitates Academicae, seu Dissertationes variae physicae, medicae, botanicae*. Laurentium Salvium, Holmiae (ed. 1751), vol. II, p. 430–459. [BL] [existe trad. castellana: *Discurso sobre el incremento de la tierra habitable* (trad. castellana 2004). En: Papavero, N., Martins Teixeira, D., Llorente Bousquets, J. y Bueno, A. (2004). *Historia de la Biogeografía. 1. El periodo preevolutivo*. Fondo de Cultura Económica, México, p. 133–143.
- LIVERMORE, R.A., SMITH, A.G. y VINE, F.J. (1986). Late Paleozoic to early Mesozoic evolution of Pangea. *Nature*, 322(6075), 162–165.
- LLIBOUTRY, L. (1985). Modelos y revolución en las Ciencias de la Tierra. *Mundo Científico*, 5(51), 978–982.
- LLORENTE, J.B. y ESPINOSA, D. (1991). Síntesis de las controversias en la biogeografía histórica contemporánea. *Ciencia*, 42, 295–312.
- LLORENTE, J.B., PAPAVERO, N. y SOMOES, M.G. (1996). *La distribución de los seres y la historia de la tierra*. Fondo de Cultura Económica, México.
- LOEWE, F. (1972). Alfred Wegener und die moderne Polarforschung. *Polarforschung*, 42(1), 1–10
- LOEWINSON-LESSING, F.Y. (1936). *A Historical Survey of Petrology*. Oliver &

- Boyd, Edimburgo–Londres (trad. inglesa 1954).
- LONGWELL, C.R. (1944). Some thoughts on the evidence for continental drift. *American Journal of Science*, 242(4), 218–231.
- LOWMAN, J.P., KING, S.D. y GABLE, C.W. (2001). The influence of tectonic plates on mantle convection patterns, temperature and heat flow. *Geophysical Journal International*, 146(3), 619–636.
- LOWMAN, P.D., Jr. (1983). Faulting continental drift. *The Sciences*, 23, 34–39.
- LUCIER, P. (1999). A plea for applied geology. *History of Science*, 37(3), 283–318.
- LÜDECKE, C. (1994). Stratigraphische Methode der Rekonstruktion von Expeditionsergebnissen am Beispiel des Todes von Alfred Wegener während der Grönlandexpedition (1930–31). En: Fritscher, B. y Brey, G. (eds.). *Cosmographica et Geographica: Festschrift für Herbert M. Nobis zum 70. Geburtstag*, Part 2 (Algorismus: Studien zur Geschichte der Mathematik und der Naturwissenschaften, v. 13), Munich, p. 347–367.
- LÜDECKE, C. (1996). Die Entwicklung der meteorologischen Messtechnik im Spiegel der deutschen Polarforschung (1868 bis 1939). *Meteorologische Zeitschrift*, 5(4), 156–158.
- LÜDECKE, C. (2000a). Lifting the veil: The circumstances that caused Alfred Wegener's death on the Greenland icecap, 1930. *Polar Record*, 36, 139–154.
- LÜDECKE, C. (2000b). In commemoration of Alfred Wegener (1880–1930), 120 years after his birth and 70 years after his death. *Meteorologische Zeitschrift*, 9, 393–394.
- LÜDECKE, C., TAMMIKSAAR, E. y WUTZKE, U. (2000). Alfred Wegener und sein Einfluss auf die Meteorologie an der Universität Dorpat (Tartu). *Meteorologische Zeitschrift*, 9, 175–183.
- LUGEON, M. (1902a). Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse. *Bulletin de la Société géologique de France*, 4/1, 723–825.
- LUGEON, M. (1902b). Les grandes dislocations et la naissance des Alpes suisses. *Acta de la Société Helvétique des Sciences Naturelles*, p. 141–153.
- LUGEON, M. (1903). Les grandes nappes de recouvrement des Alpes suisses. *Comptes Rendus du Congrès géologique international de Vienne*, p. 477–492.
- LUU, J.X. y JEWITT, D.C. (2002). Kuiper belt objects: Relics from the accretion disk of the sun. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 40, 63–101.
- LYELL, C. (1830–33). *Principles of Geology*. University of Chicago Press, Chicago (facsimile 1990, de la 1ª ed. inglesa). Tomos I, II y III.
- LYELL, C. (1838). *Elementos de Geología*. Sociedad Geológica de España, Madrid (facsimile 1998 de la 1ª trad. castellana de 1847).

- LYTTLETON, R.A. (1974). Developments in geophysics. *Astrophysics and Space Science*, 28(1), 1–5.
- MA, T.Y. (1943–1966). *Research on past climate and continental drift*. Edición del autor, Yungan, Fujian y Taipei, 19 vols.
- MAACK, R. (1969). *Kontinentaldrift und Geologie des südatlantischen Ozeans*. Walter de Gruyter, Berlín.
- MacGREGOR, M. (1947). James Hutton, the founder of modern geology: 1726–97. *Endeavour*, 6(23), 109–111.
- MacKENZIE, D. (2003). *The big splat, or How our moon came to be*. J. Wiley, Hoboken (NJ).
- MACRAKIS, K. (1984). Alfred Wegener: self-proclaimed scientific revolutionary. *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 112, 182–195.
- MAGRUDER, K.V. (1999). Crossing disciplinary divides: Global visions and hexameral idiom in textual tradition before geology. *Proceedings of the Geological Society of America, Annual Meeting*, Denver (CO), 25–28 October. *Abstract*.
- MAGRUDER, K.V. (2000). *Theories of the Earth from Descartes to Cuvier: Natural order and historical contingency in a contested textual tradition*. Ph.D. Tesis, Univ. Oklahoma, Graduate College.
- MALAISE, R. (1972). *Land-bridges or continental drift*. Lidingö.
- MANTOVANI, R. (1889). Les fractures de l'écorce terrestre et la théorie de Laplace. *Bulletin de la Société d'Arts et des Sciences de Réunion*, 41–53.
- MANTOVANI, R. (1909). L'Antarctide. *Je m'instruis. La science pour tous*, 38(19 septembre), 595–597.
- MANTOVANI, R. (1924). Les points de contact entre la théorie de la dilatation planétaire et la théorie de la dérive des continents. *Comptes Rendus sommaire de la Société géologique de France*, 24(4), 167–168.
- MANTURA, A.J. (1972a). Geophysical illusions of continental drift. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 56(8), 1552–1556.
- MANTURA, A.J. (1972b). New global tectonics and "the new geometry". *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 56(12), 2451–2455.
- MARESCHAL, J.C. (1987). Plate tectonics: scientific revolution or scientific program? *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 68(20), 529–533 [reimpreso en: Gillmor, C.S. (ed.). (1990). *History of Geophysics*. American Geophysical Union, vol. 4, p. 194–196].
- MARGARIT, J. (1879). Erupciones volcánicas. *Revista de Canarias*, I(12), 183–185.
- MARK, K. (1992). From geosynclinal to geosyncline. *Earth Sciences History*, 11(2), 68–69.

- MARKOWITZ, W. y GUINOT, B. (eds.) (1968). *Continental drift, secular motion of the pole, and rotation of the Earth*. I.A.U. Symposium No. 32, Stresa, Italia, 21–25 marzo, 1967. D. Reidel Publishers, Dordrecht.
- MARQUES, L. (1995). Teoria da tectónica de placas. Contributos relativos ao seu percurso histórico. *Cadernos Didácticos, Universidade de Aveiro, Série Ciências*, Nº 1, p. 47–93.
- MARQUES DE ALMEIDA, F.F. (2002). O dia em que o olhar sobre o mundo mudou. *Ciência Hoje*, 31(181), 75–77.
- MARTIN, H. (1961). The hypothesis of continental drift in the light of recent advances of geological knowledge in Brazil and in South West Africa. *Geological Society of South Africa*, Annual Vol. LXIV (A.L. du Toit Memorial Lecture No. 7), p. 1–47.
- MARVIN, U.B. (1974). *Continental drift. The evolution of a concept*. Smithsonian Institution Press, Washington (DC).
- MARVIN, U.B. (1985). The British reception of Alfred Wegener's continental drift hypothesis. *Earth Sciences History*, 4(2), 138–159.
- MARVIN, U.B. (1986). Meteorites, the moon and the history of geology. *Journal of Geological Education*, 34(3), 140–165.
- MARVIN, U.B. (1990). Impact and its revolutionary implications for geology. En: Sharpton, V.L. y Ward, P.D. (eds.). *Global Catastrophes in Earth History. Geological Society of America Sp. Pap.*, 247, 147–154.
- MARVIN, U.B. (2001). Review Symposia on Naomi Oreskes's, *The Rejection of Continental Drift: Theory and Method in American Earth Science*. *Metascience*, 10(2), 208–222.
- MASSON, H. (1976). Un siècle de géologie des Préalpes: de la découverte des nappes à la recherche de leur dynamique. *Eclogae geologicae Helvetiae*, 69(2), 527–575.
- MASSON, H. (1983). La géologie en Suisse de 1882 à 1932. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 76(1), 47–64.
- MATHER, K.F. (1967). *Source book in Geology, 1900–1950*. Harvard University Press, Cambridge (MA).
- MATHER, K.F. y MASON, S.L. (1939). *A source book in Geology, 1400–1900*. Hafner, Nueva York–Londres (facsimile 1964).
- MATHEZ, E.A. y WEBSTER, J.D. (2004). *The earth machine. The science of a dynamic planet*. Columbia University Press, Nueva York.
- MATTHEWS, R.A.J. (1998). Facts versus Factions: The use and abuse of subjectivity in scientific research. *European Science and Environment Forum Working Paper*, Cambridge [reimpreso en: Morris, J. (ed.) (2000). *Rethinking risk and the precautionary principle*. Butterworth, Oxford, p. 247–282].

- MATTHEWS, S.W. (1973). This changing earth. *National Geographic*, 143(1), 1–37.
- MAYR, E. (1951). Bearing of some biological data on geology. *Geological Society of America Bulletin*, 62(5), 537–546.
- MAYR, E. (ed.) (1952). *The problem of land connections across the South Atlantic, with special reference to the Mesozoic*. [Proceedings of the Symposium: The role of South Atlantic basin in Biogeography and Evolution. Fourth Annual Meeting of the Society for the Study of Evolution. Nueva York, 28–29 Diciembre/1949]. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 99(3), 79–258.
- MAZADIEGO MARTÍNEZ, L.F. y PUCHE RIART, O. (2013). The 15th International Geological Congress, South Africa (1929): The resurgence of Wegener's continental drift theory. *Episodes*, 36(2), 125–137.
- McARTHUR, R.P. y PESTANA, H.R. (1974). Is continental drift/plate tectonics a paradigm theory? *Proceedings of XIVth International Congress of History of Science*, 3, 105–108.
- McCALL, G.J.H., BOWDEN, A.J. y HOEARTH, R.J. (2006). *The history of meteoritics and key meteorite collections: Fireballs, falls and finds*. Geological Society of London, Sp. Publ. 256.
- McCARTHY, D.D. y PILKINGTON, J.D.H. (eds.) (1979). *Time and Earth's rotation*. I.A.U. Symposium No. 82, San Fernando, España, 8–12 Mayo, 1978. D. Reidel, Dordrecht.
- McCOY, R.M. (2006). *Ending in ice. The revolutionary idea and tragic expedition of Alfred Wegener*. Oxford University Press, Nueva York, 178 p.
- McCUNN, H.J. (1973). Vertical uplift explanation for Plate Tectonics. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 57(9), 1644–1657.
- McDONALD, I., BOYCE, A.J., BUTTLER, I.B., HERRINGTON, R.J. y OPLYA, D.A. (2005). *Mineral deposits and earth evolution*. Geological Society of London, Sp. Publ. 248.
- McELHINNY, M.W. y VALENCIO, D.A. (eds.) (1981). *Paleoreconstruction of the continents*. American Geophysical Union, Washington (DC).
- McINTYRE, D.B. (1963). James Hutton y la filosofía de la geología. En: Albritton, C.C., Jr. (ed.). *Filosofía de la geología*. C.E.C.S.A., México (trad. castellana 1970), p. 11–23.
- McKENZIE, D.P. (1969). Speculations on the consequences and causes of plate motion. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 18(1), 1–32.
- McKENZIE, D.P. (1977). Plate tectonics and its relationship to the evolution of ideas in the geological sciences. *Daedalus*, 106, 97–124.
- McNUTT, M.K. (2000). Achievements in marine geology and geophysics. En: *50 years of ocean discover: National Science Foundation 1950–2000*. National Research Council, Washington (DC), p. 51–64.

- MEDLICOTT, H.B. (1872). Note on exploration for coal in the northern region of Satpura Basin. *Records of the Geological Survey of India*, 594, 109–128.
- MEDLICOTT, H.B. y BLANFORD, W.T. (1879). *A Manual of the Geology of India and Burma*. Geological Survey of India, Calcuta, vol. I. [BL]
- MEISSNER, R. y VETTER, U. (1981). *Grossräumige Bewegungsvorgänge auf der Erde*. Schönigh, Paderborn.
- MEISSNER, R. (1992). Alfred Wegener und die Drift der Kontinente. *Earth Science Reviews*, 32(3), 200–201.
- MELCHIOR, P. y YUMI, S. (eds.) (1972). *Rotation of the Earth*. I.A.U. Symposium No. 48, Morika, Japón, 9–15 mayo, 1971. D. Reidel, Dordrecht.
- MENARD, H.W. (1986). *The ocean of truth. A personal history of global tectonics*. Princeton Univ. Press, Princeton (NJ).
- MESERVEY, R. (1969). Topological inconsistency of continental drift on the present-sized earth. *Science*, 166(3905), 609–611.
- MESSERI, P. (1986). Social position and theory choice: The case of continental drift. *Dissertation Abstracts International*, 46, 2447–A.
- MESSERI, P. (1988). Age differences in the reception of new scientific theories: The case of plate tectonics theory. *Society of Studies of Science*, 18, 91–112.
- METCALFE, I. (1999). The ancient Tethys oceans of Asia: How many? How old? How deep? How wide? *Journal of the University of New England Asia Center*, 1, 1–9.
- MEUNIER, S. (1911). *L'évolution des théories géologiques*. F. Alcan Éd., Paris [existe trad. castellana en: Librería Gutenberg de José Ruiz, Madrid (1911)]. [BP]
- MEYERHOFF, A.A. (1968). Arthur Holmes: Originator of spreading ocean floor hypothesis. *Journal of Geophysical Research*, 73(20), 6563–6565.
- MEYERHOFF, A.A. (1970a). Continental drift: Implications of paleomagnetic studies, meteorology, physical oceanography, and climatology. *Journal of Geology*, 78(1), 1–51.
- MEYERHOFF, A.A. (1970b). Continental drift, II: High-latitude evaporite deposits and geologic history of Arctic and North Atlantic Oceans. *Journal of Geology*, 78(4), 406–444.
- MEYERHOFF, A.A. y TEICHERT, C. (1971). Continental drift, III: Late paleozoic glacial centers, and Devonian–Eocene coal distribution. *Journal of Geology*, 79(3), 285–321.
- MEYERHOFF, A.A. y MEYERHOFF, H.A. (1972a). Continental drift, IV. *Journal of Geology*, 80(1), 34–60.
- MEYERHOFF, A.A. y MEYERHOFF, H.A. (1972b). The new global tectonics:

- Major inconsistencies. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 56(2), 269–336.
- MEYERHOFF, A.A., MEYERHOFF, H.A. y BRIGGS, R. S. (1972). Continental drift, V: Proposed hypothesis of Earth tectonics. *Journal of Geology*, 80(6), 663–692.
- MILANKOVIC, M. (1920). *Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire*. Gauthier–Villars, París. [BNF]
- MILANOVSKII, E.E. (2000). *Alfred Wegener (1880–1930)*. Nauka, Moscú.
- MILANOVSKY, E. (1990). The expanding and pulsating earth. En: Pushcharovsky, Y.M. (ed.). *Destiny of the planet. Geological ideas and phenomena*. (Collection of articles). Nauka, Moscú (trad. inglesa 1990), p. 28–49.
- MILLER, R. (1983). *Continentes en colisión*. Ed. Planeta, Barcelona (trad. castellana 1987).
- MILNES, A.G. (1979). Albert Heim's general theory of natural rock deformation (1878). *Geology*, 7(2), 99–103.
- MITCHELL, A.H. y GARSON, M.S. (1981). *Mineral deposits and global tectonic settings*. Academic Press, Londres.
- MITCHELL, A.H. y READING, H.G. (1969). Continental margins, geosynclines, and ocean floor spreading. *Journal of Geology*, 77(6), 629–646.
- MÖBUS, G. (1982). Zur Erinnerung an Alfred Wegener: Aus Anlass der 70. Wiederkehr seiner Erstpublikation zur Kontinentalverschiebungshypothese. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 126, 137–148.
- MOFFATT, I. (1977). Paradigm development in geology. *Department of Geography, University of Newcastle upon Tyne, Seminar Paper*, 33, 1–34 [existe trad. castellana: Paradigmas en geología: del catastrofismo a la tectónica de placas. *Geo-Crítica*, 42, 1–37 (1982)].
- MONMONIER, M. (1995). *Drawing the line: Tales of maps and cartocontrovery*. Fitzhenry & Whiteside, Markham (Ontario).
- MONTEIRO, J.F. (2003). Alfred Wegener, a origem das crateras da Lua e o impactismo nas Ciências da Terra. *VI Congresso Nacional de Geologia, Universidade Nova de Lisboa*. (CD das Comunicações Apresentadas).
- MONTGOMERY, W. (1998). Charles Darwin's theory of the coral reefs and the problem of the chalk. *Earth Sciences History*, 7(2), 111–120.
- MOORE, G.W. (1973). Westward tidal lag as the driving force of plate tectonics. *Geology*, 1(3), 99–100.
- MOORE, R. (1957). *The earth we live on. The story of geological discovery*. J. Cape, Londres.
- MORET, L. (1950). Les idées nouvelles sur l'origine des chaînes de montagnes.

- Revue de Géographie Alpine*, 38(2), 1–56 [reeditado en: *Travaux du Laboratoire de Géologie* n° 28].
- MORGAN, W.J. (1968). Rises, trenches, great faults, and crustal blokes. *Journal of Geophysical Research*, 73(6), 1959–1982.
- MORITZ, H. (1990). *The figure of the earth. Theoretical geodesy and the earth's interior*. H. Wichmann, Karlsruhe.
- MORLEY, H.T. (1966). A history of the American Association of Petroleum Geologists: First fifty years. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 50(4), 668–820.
- MOTZ, L. (ed.) (1975). *El redescubrimiento de la Tierra*. CONACYT, México (trad. castellana 1982).
- MOUËL, J.L. le (1991). Beyond plate tectonics. *Tectonophysics*, 187(4), 345–422.
- MOULTON, F.R. (1905). On the evolution of the solar system. *Astrophysical Journal*, 22, 165–181.
- MOULTON, F.R. (1928). The planetesimal hypothesis. *Science*, 68(1771), 549–559.
- MULKAY, M.J. (1975). Three models of scientific development. *Sociological Review*, 23(3), 509–526.
- MULKAY, M.J. (1976a). Model of branching. *Sociological Review*, 24(1), 125–133.
- MULKAY, M.J. (1976b). Norms and ideology in science. *Social Science Information*, 15(4/5), 637–656.
- MULLER, R.A. y MacDONALD, G.J. (1997). Glacial cycles and astronomical forcing. *Science*, 277(5323), 215–218.
- MÜLLER, D.W., McKENZIE, J. A. y WEISSERT, H. (eds.) (1991). *Controversies in Modern Geology*. Academic Press, Londres.
- MUNYAN, A.C. (ed.) (1963). *Polar wandering and continental drift*. Society of Economic Paleontology and Mineralogy, Tulsa (OK), Special Paper No. 10.
- MURATOV, M.V. (1975). *The origin of the continents and oceans*. M. Nauka, Moscú.
- MURDIN, P. (ed.) (2001). Wegener, Alfred Lothar (1880–1930). En: *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*. Institute of Physics Publishing, Bristol, artículo 4085.
- MURPHY, K.B. y NANCE, R.D. (1992). Mountain belts and the supercontinent cycle. *Scientific American*, 266(4), 84–91 (trad. castellana: Las cordilleras de plegamiento y el ciclo del supercontinente. *Investigación y Ciencia*, 189, 22–30).
- MURPHY, K.B. y NANCE, R.D. (1999). *Earth Science Today*. Brooks & Cole, Pacific Grove (CA).
- MURPHY, J.B. y NANCE, R.D. (2005). Do supercontinents turn inside–in or inside–out? *International Geology Review*, 47(6), 591–619.

- NANCE, R.D., WORSLEY, T.R. y MOODY, J.B. (1986). Post–Archean biochemical cycles and long–term episodicity in tectonic processes. *Geology*, 14(6), 514–518.
- NANCE, R.D., WORSLEY, T.R. y MOODY, J.B. (1988). The supercontinent cycle. *Scientific American*, 259, 44–51 (trad. castellana: El ciclo del supercontinente. *Investigación y Ciencia*, 144, 36–43).
- NATHORST, A.G. (1907). *Carl von Linné as a geologist*. Smithsonian Report, Washington (DC) (trad. inglesa 1908).
- NEIMAN, V.B. (1990). An alternative to Wegener’s mobilism. En: Barto–Kyriakidis, A. (ed.). *Critical aspects of the plate tectonics theory*. Vol. II: *Alternatives theories*. Theophrastus, Atenas, p. 3–18.
- NELSON, G. (1976). Biogeography, the vicariance paradigm, and continental drift. *Systematic Zoology*, 24, 490–504.
- NEWMAN, R.P. (1995). American intransigence: The rejection of continental drift in the great debate of the 1920’s. *Earth Sciences History*, 14(1), 62–83 [reimpreso en: Krips, H. (1995) (ed.). *Science, reason, and rhetoric*: University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, p. 181–209].
- NEWTON, H.E. y JONES, J.H. (eds.) (1990). *Origin of the Earth*. Oxford University Press, Oxford.
- NEWTON, I. (1707). *Óptica*. Alfaguara, Madrid (trad. castellana 1977), Libro III, parte I.
- NEWTON, I. (1728). *Sobre el sistema del mundo*. En: *Principios matemáticos de filosofía natural*. Alianza, Madrid (trad. castellana 1987), tomo 2º, Libro III.
- NITECKI, M.H., LEMKE, J.L., PULLMAN, H.W., y JOHNSON, M.E. (1978). Acceptance of plate tectonic theory by geologists. *Geology*, 6(11), 661–664.
- NÖLKE, F. (1924). *Hipótesis geotectónicas*. Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Madrid (trad. castellana 1935). [BP]
- NORMAN, M.D. (2005). Lunar impact breccias: petrology, crater setting, and bombardment history of the Moon. *Australian Journal of Earth Sciences*, 52(4–5), 711–723.
- NORTH, F.J. (1943). Centenary of the glacial theory. *Proceedings of the Geologists' Association*, 54, 1–28.
- NORTH, J. (1994). *Historia Fontana de la astronomía y de la cosmología*. Fondo de Cultura Económica, México (trad. cast. 2001).
- NORTHROP, J.W. y MEYERHOFF, A.A. (1963). Validity of polar and continental movement hypotheses based on paleomagnetic studies. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 47(4), 575–585.
- NUDDS, J.R. (1986). The life and work of John Joly (1857–1933). *Irish Journal of Earth Sciences*, 8, 81–94.

- NUNAN, R. (1984). Novel facts, Bayesian rationality, and the history of continental drift. *Studies in History and Philosophy of Science*, 15(4), 267–308.
- NUR, A. y AVRAHAM, Z.B. (1982). Oceanic Plateaus, the fragmentation of continents, and mountain building. *Journal of Geophysical Research*, 87(B5), 3644–3661.
- NYE, M.J. (2002). The most versatile physicist of his generation. *Science*, 296(5565), 49–50.
- OLBY, R.C., CANTOR, G.N., CHRISTIE, J.R.R. y HODGE, M.S.J. (eds.) (1990). *Companion to the history of modern science*. Routledge, Nueva York.
- OLDROYD, D.R. (1990). *The Highlands controversy. Constructing geological knowledge through fieldwork in Nineteenth-century Britain*. Chicago University Press, Chicago–Londres.
- OLDROYD, D.R. (1996). *Thinking about the earth: A history of ideas in geology*. Athlone Press–Harvard University Press, Londres–Cambridge (MA) [2^a ed. Athlone Press, Londres (2002)].
- OLIVER, J. (1996). *Shocks and rocks. Seismology in the plate tectonics revolution. The story of earthquakes and the great earth science revolution of the 1960s*. American Geophysical Union, Washington (DC).
- OLLIER, C.D. (1981). *Tectonics and landforms*. Longman, Londres–Nueva York.
- OLLIER, C.D. (1990). Mountains. *En: Barto–Kyriakidis (1990)*, vol. 2, p. 211–236.
- OLLIER, C.D. (2003). The origin of mountains on an expanding Earth, and other hypotheses. *En: Scalera y Jacob (2003)*, p. 129–160.
- OLLIER, C.D. y PAIN, C.F. (2000). *The origin of mountains*. Routledge, Londres.
- OLSEN, A. (1993). J.P. Kochs og A. Wegeners ekspedition over indlandsisen 1912–13. *Forskning i Grønland*, 2/3, 14–25.
- OLSEN, A. y SECHER, K. (1994). *Polarprofiler–grønlandsforskere J.P. Koch og A. Wegener*. Dansk Polarcenter, Copenhagen.
- OPPENHEIM, V. (1967). Critique of hypothesis of continental drift. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 51(7), 1354–1360.
- ORESKEs, N. (1988). The rejection of continental drift. *Historical Studies of Physical and Biological Sciences*, 18(2), 311–348.
- ORESKEs, N. (1999). *The rejection of continental drift: Theory and method in American earth science*. Oxford University Press, Oxford.
- ORESKEs, N. (2001a). Reflections on the American rejection of continental drift: A Reply to Ursula Marvin. *Metascience*, 10, 217–222.
- ORESKEs, N. (ed.) (2001b). *Plate tectonics. An insider's history of the modern theory of the Earth*. Westview, Boulder (CO).

- ORESQUES, N. (2002). From continental drift to plate tectonics: evolution, revolution, or both? *Northeastern Geology and Environmental Sciences*, 24(2), 156.
- ORESQUES, N. (2003). Stepping forward too far? *Science*, 300(5622), 1094–1095.
- ORESQUES, N. (2004). Science and public policy: what's proof got to do with it? *Environmental Science & Policy*, 7, 369–383.
- ORESQUES, N. y DOEL, R.E. (2002). The physics and chemistry of the earth. En: Nye, M.J. (ed.). *The Modern Physical and Mathematical Sciences (The Cambridge History of Science, Vol. 5)*. Cambridge University Press, Cambridge (NY), cap. 28. p. 538–560.
- ORME, A.R. (2004). American geomorphology at the dawn of the 20th century. *Physical Geography*, 25(5), 361–381.
- OROWAN, E. (1964). Continental drift and the origin of mountains. *Science*, 146(3647), 1003–1010.
- OROWAN, E. (1965). Convection in a non-Newtonian mantle, continental drift, and mountain building. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 258(1088), 284–313.
- OROWAN, E. (1969). The origin of oceanic ridges. *Scientific American*, 221(5), 102–119.
- ORTEGA CANTERO, N. (1975). Deriva continental y tectónica de placas. *Estudios Geográficos*, 36(140–141), 831–862.
- ORTELIUS, A. (1596). *Thesaurus Geographicus*. Plantin, Amberes [BL]
- ORTMANN, A.E. (1902). Tertiary invertebrates. En: Scott, W.B. (ed.). *Reports of the Princeton University Expeditions to Patagonia, 1896–1898*, vol. 4 (Palaeontology), part 2, 1–288.
- OSBORNE, R.H. (ed.) (1991). *From shoreline to abyss. Contributions in marine geology in honor of Francis P. Shepard*. Society for Sedimentary Geology, Tulsa (OK), Sp. Publ. N° 46.
- OWEN, R. (1857). *Key to the geology of the globe*. A.S. Barnes, Nueva York [BL]
- OXBURGH, E.R. (1971). Plate tectonics. En: Gass *et al.* (1971), p. 262–286.
- OXBURGH, E.R. y TURCOTTE, D.L. (1978). Mechanisms of continental drift. *Reports on Progress in Physics*, 41(8), 1249–1312.
- PAILLARD, D. (2001). Glacial cycles: Toward a new paradigm. *Reviews of Geophysics*, 39(3), 325–346.
- PALME, H. (2004). The giant impact formation of the moon. *Science*, 304(5673), 977–979.
- PAN, C. (1968). On the dynamical theory of polar wandering. *Tectonophysics*, 5(2), 125–149.
- PANT, D.C. (1975). *The theory of continental drift in the light of recent research-*

- es. Birbal Sahni Institute of Palaeobotany, Lucknow.
- PARKER, P.M. (2009). *AAPG. Webster's timeline history, 1917–2007*. ICON, San Diego (CA).
- PARKS, W.A. (1925). Cultural aspects in Geology. *Nature*, 116(2916), 432–435.
- PATWARDHAN, M., AHLUWALIA, A.D. y MANTURA, A.J. (1974). Geophysical illusions of continental drift [discussion and reply]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 58(10), 1847–1852.
- PELAYO LÓPEZ, F. (1995). La conexión terrestre entre Cuba y el continente americano: una alternativa paleontológica a la deriva continental. *Antilia*, I, artículo nº 4.
- PEPPER, J.H. (1861). *The playbook of metals*. Routledge, Warne & Routledge, Londres–Nueva York. [BL]
- PÉREZ, C. y RUIZ, R. (2001). Hacia la génesis de la teoría de la deriva continental. En: Llorente, J.B. y Morrone, J.J. (eds.). *Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Instituto de Ecología Ecosur, UNAM, México, p. 161–170.
- PERRY, J. (1895a). On the age of the earth. *Nature*, 51(1314), 224–227.
- PERRY, J. (1895b). On the age of the earth. *Nature*, 51(1319), 341–342.
- PERRY, J. (1895c). On the age of the earth. *Nature*, 51(1329), 582–585.
- PESTANA, H.R., LEMKE, J.L., PULLMAN, H.W., NITECKI, M.H. y JOHNSON, M.E. (1979). Acceptance of plate tectonic theory by geologists; discussion and reply. *Geology*, 7(4), 163–164.
- PETRASCHECK, W.E. (1968). Kontinentalverschiebung und Erzprovinzen. *Mineralium Deposita*, 3(1), 56–65.
- PFANNENSTIEL, M. (1970). Die Entstehung einiger tektonischer Grundbegriffe. Ein Beitrag zur Geschichte der Geologie. *Geologische Rundschau*, 59(1), 1–36.
- PHILLIPS, O.M. (1968). *The heart of the earth*. Freeman–Cooper, San Francisco (CA).
- PHILLIPS, B.R. y BUNGE, H.P. (2005). Heterogeneity and time dependence in 3D spherical mantle convection models with continental drift. *Earth & Planetary Science Letters*, 233(1–2), 121–135.
- PHINNEY, R.A. (ed.) (1968). *The history of the earth's crust*. (Conferencia celebrada en el Goddard Institut for Space Studies, Columbia University, 10–11 noviembre/1966). Princeton University Press. Princeton (NJ).
- PICKERING, W.H. (1907). The place of the origin of the moon: the volcanic problem. *Journal of Geology*, 15(1), 23–38.
- PICKERING, W.H. (1924). The separation of the continents by fission. *Geological*

- Magazine*, 61, 31–34.
- PIEL, G. (ed.) (1968). Gondwanaland revisited: New evidence for continental drift. A Symposium. *Proceedings of American Philosophical Society*, 112(5), 307–353.
- PIERAZZO, E. y MELOSCH, H.J. (2000). Understanding oblique impacts from experiments, observations, and modeling. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28, 141–167.
- PITMAN, W. (1995). Plate tectonics at Lamont: the first year–1966. En: Bonatti y Wezel (1995), p. 598–602.
- PLACET, F. (1668). *La corruption du grand et du petit monde, où il est montré qu'avant le déluge, l'Amérique n'était point séparée des autres parties du monde*. Aliot, Paris. [BL]
- PLAYFAIR, J. (1802). *Illustrations of the Huttonian theory of the earth*. Dover, Nueva York (facsimile 1964) [existe otro facsimile en University of Illinois Press, Urbana (1956)].
- POINSOT, L. (1834). Théorie nouvelle de la rotation des corps. *Journal General des Sociétés et Travaux Scientifiques*, 2, 1–96, París [trad. inglesa: *Outlines of a new theory of rotatory motion*. R. Newby, Cambridge (1834)]
- POPPER, K.R. (1934). *La lógica de la investigación científica*. Tecnos, Madrid (trad. castellana 1962).
- PORTER, R. (1993). La geologia dall'Ottocento ai giorni nostri. En: Corsi, P. y Pogliano, C. (eds.). *Storia delle scienze. Natura e vita*. Vol. 4: *L'età moderna*. G. Einaudi, Turín, p. 16–47.
- POWELL, J.L. (2001). *Mysteries of terra firma. The age and evolution of the Earth*. Free Press, Nueva York.
- PRAIA, J. (1995). A teoria da deriva continental. Elementos para a compreensão do seu aparecimento, desenvolvimento e limitações. *Cadernos Didáticos, Universidade de Aveiro, Série Ciências*, 1, 13–46.
- PRATT, D. (2000). Plate Tectonics: A paradigm under threat. *Journal of Scientific Exploration*, 14(3), 307–352.
- PRATT, J.H. (1855). On the attraction of the Himalaya mountains and of the elevated region beyond them, upon the plumb–line in India. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 145, 53–100.
- PRATURLON, A. (2000). The Pangea prior to Wegener: Federico Sacco and continental drift. En: Parotto, M. y Tozzi, M. (eds.). *Journeys in the geology and history of Italy*. Conciglio Nazionale delle Ricerca, Florencia, p. 36–39.
- PRÉVOST, L.C. (1839). Opinion sur la théorie des soulèvements. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 10, 430.
- PRÉVOST, L.C. (1840). Opinion sur la théorie des soulèvements. *Bulletin de la*

- Société Géologique de France*, 11, 183–203.
- PROTHERO, D.R. y DOTT, R.H., Jr. (1971). *Evolution of the Earth*. McGraw-Hill Co., Nueva York (7ª ed. 2004).
- PUSHCHAROVSKY, Y.M. (1987). The future of the geosynclinal theory in connection with the development of mobilism. *Geotectonics*, 21, 91–97.
- RAASCH, G.U. (1958). Polar wandering and continental drift, a symposium. *Journal of the Alberta Society of Petrology and Geology*, 6, 139–178.
- RADNER, D. y RADNER, M. (1982). Continental drift. *En: Science and unreason*. Wadsworth, Belmont (CA), p. 87–92.
- RAGUIN, E. (1983). Réflexions et souvenirs sur l'évolution des idées en géologie dans les soixante années du milieu du siècle (1920–1980). *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 2^e série, I(7), 49–70.
- RAILSBACK, L.B., LOCKE, W.W. y JOHNSON, J.G. (1990). Comments and Reply on "Method of Multiple Working Hypotheses: A chimera". *Geology*, 18(9), 917–918.
- RAPPAPORT, R. (1982). Borrowed words: problems of vocabulary in Eighteenth Century geology. *British Journal for the History of Science*, 15(1), 27–44.
- RASETTI, F. (1971). *L'espansione del fondo marino e la deriva dei continenti*. Accademia Nazionale di Lincei, Roma.
- RAST, N. (1966). Recent trends in geotectonics. *Earth-Science Reviews*, 2, 1–46.
- RAVEN, P.H. y AXELROD, D.I. (1974). Angiosperm biogeography and past continental movements. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 61(3), 539–673.
- RAVEN, P.H. y AXELROD, D.I. (1975). History of the flora and fauna of Latin America. *American Scientist*, 63(4): 420–429.
- RAY, J. (1692). *Miscellaneous discourses concerning the dissolution and changes of the world*. S. Smith, Londres. [BL]
- RAY, J. (1693). *Three physico-theological discourses*. S. Smith, Londres [reed. en Arno Press, Nueva York, 1978].
- RAY, N. (2004). *La théorie de la dérive des continents d'Alfred Wegener vue par deux géologues alpins contemporains: Émile Argand et Pierre Termier*. DEA d'Épistémologie et Histoire des Sciences et des Techniques, Université Paris–VII.
- RAYLEIGH, Lord, SOLLA, W.J., GREGORY, J.W. y JEFFREYS, H. (1921). The age of the earth. *Nature*, 108(2713), 279–284.
- RAYMO, M.E. (1991). Geochemical evidence supporting T.C. Chamberlin's theory of glaciation. *Geology*, 19(4), 344–347.
- REBEYROL, Y. (1990). *La terre toujours recommencée. Trente ans de progrès*

- dans les sciences de la terre*. La Decouverte/Le Monde, París.
- RECLUS, E. (1869). *La Terre*. Hachette, París, vol. I. [MNCN]
- REHMER, J.A. y HEPBURN, J.C. (1974). Quartz sand surface textural evidence for a glacial origin of the Squantum “tillite,” Boston Basin, Massachusetts. *Geology*, 2(8), 413–415.
- REIMOLD, W.U. (2003). Impact cratering comes of age. *Science*, 300(5627), 1889–1890.
- REINKE-KUNZE, C. (1994). *Alfred Wegener, Polarforscher und Entdecker der Kontinentaldrift*. Birkhäuser, Basilea.
- REIJNDERS, L. (1980). An analysis of three historical theories in the natural sciences. *Fundamenta Scientiae*, 1, 87–96.
- REVELLE, R. (1964). Introduction. *En: History of the Universe*. Centennial Celebration of the National Academy of Sciences (first scientific session, October 21, 1963). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 52(2), 517–523.
- REYNOLDS, J.M. (1980). Glaciation due to continental drift. *Nature*, 283(5742), 111–112.
- REZANOV, I.A. (2001). Controversial aspects of Plate Tectonics and possible alternatives. *Herald–Russian Academy of Sciences*, 71(6), 666–670.
- RICH, V. (1981). Soviet Plate Tectonics—Open approval. *Nature*, 292(5823), 489.
- RICHARDS, M., GORDON, R.G. y VAN DER HILST, R.D. (2000). *The history and dynamics of global plate motion*. A.G.U., Geophysical Monography Series, vol. 121.
- RICHTHOFEN, F.F. von (1877). *China. Ergebnisse Eigener Reisen und Darauf Begründeter Studien*. Dietrich Reimer, Berlín, tomo I [existe reed. en Akademische Druck- und Verlagsanstalt, Graz (1971)].
- RICOU, L.E. (1994). Tethys reconstructed: plates, continental fragments and their boundaries since 260 Ma from Central America to South-eastern Asia. *Geodynamica Acta*, 7(4), 169–218.
- RIFFAUD, C. y LE PICHON, X. (1976). *Expédition “Famous”: à trois mille mètres sous l’Atlantique*. A. Michel, París.
- RINGWOOD, A.E. (1970). Origin of the Moon: the precipitation hypothesis. *Earth & Planetary Science Letters*, 8(2), 131–140.
- RINGWOOD, A.E. (1979). *Origin of the Earth and Moon*. Springer, Nueva York–Berlín.
- RIOJA, A. y ORDÓÑEZ, J. (2006). *Teorías del Universo*. Vol. III: *De Newton a Hubble*. Síntesis, Madrid.
- RITTER, C. (1822). *Die Erdkunde im Verhältniss zur Natur und zur Geschichte der Menschen Wissenschaften*. G. Reimer, Berlín, vol. 1. [BL]

- ROBB, A. (1930). Anticipation of Wegener's hypothesis. *Nature*, 126(3187), 841.
- ROBIN, G. de Q. (1981). Polar ice sheets: Developments since Wegener. *Geologische Rundschau*, 70(2), 648–663.
- ROGERS, J.J.W. (1996). A history of continents in the past three billion years. *Journal of Geology*, 104(1), 91–107.
- ROGERS, J.J.W. y SANTOSH, M. (2004). *Continents and supercontinents*. Oxford University Press, Nueva York.
- ROGERS, R.D. (1989). Use of observational patterns in geology. *Geology*, 17(2), 131–134.
- ROHRBACH, K. (1993). *Alfred Wegener, Erforscher der wandernden Kontinente*. Freies Geistesleben, Stuttgart (2ª ed. 2008).
- ROMANOVSKY, S.I. (2003). A. P. Karpinsky “On the regularity in outline, distribution, and structure of continents”. *Episodes*, 26(4), 310–317.
- ROMER, A. (1964). *The discovery of radioactivity and transmutation*. Dover, Nueva York.
- ROMM, J. (1994). A new forerunner for continental drift. *Nature*, 367(6462), 407–408.
- ROPER, P.J. (1974). Plate Tectonics; a plastic as opposed to a rigid body model. *Geology*, 2(5), 247–250.
- ROSE, A.J. (ed.) (1991). La mobilité des continents. La tectonique de plaques et l'expansion de la terre. *Compte Rendu 107^{ème} Coïncidence de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences* (Orléans, 23–25 novembre/1989), 91(2–3), 1–192.
- ROSSMANN, T. (2000). Alfred Wegener und die Mesosaurier. *Natur und Museum*, 130(11), 378–388.
- ROUBAULT, M. y COPPENS, R. (1972). *La deriva de los continentes*. Oikos–Tau, Barcelona (trad. castellana 1988).
- RUD, M. (1997). *Grønlandsforskeren Alfred Wegener og de drivende kontinenter*. C. Ejlers, Copenhagen.
- RUDWICK, M.J.S. (1970). The glacial theory. *History of Science*, 8, 137–157.
- RUDWICK, M.J.S. (1972). *The meaning of fossils*. The University of Chicago Press, Chicago (3ª ed. 1986) [existe trad. castellana en Blume, Madrid (1987)].
- RUDWICK, M.J.S. (1982). Cognitive styles in geology. En: Douglas, M. (ed.). *Essays in the sociology of perception*. Routledge & K. Paul, Londres, cap. 10, p. 219–241.
- RUIZ MORALES, M. y RUIZ BUSTOS, M. (2000). *Forma y dimensiones de la Tierra. Síntesis y evolución histórica*. Ed. del Serbal, Barcelona.
- RUNCORN, S.K. (1962a). Towards a theory of continental drift. *Nature*, 193(4813),

311–314.

- RUNCORN, S.K. (ed.) (1962b). *Continental Drift*. Academic Press, Nueva York.
- RUNCORN, S.K. (ed.) (1970). *Palaeogeophysics*. Academic Press, Nueva York–Londres.
- RUNCORN, S.K. (1975). El motor de la tectónica de placas. *En*: Motz (1975), p. 197–202.
- RUNCORN, S.K. (1981). Wegener's theory: The role of geophysics in its eclipse and triumph. *Geologische Rundschau*, 70(2), 784–793.
- RUNCORN, S.K., TURNER, G. y WOOLFSON, M.M. (eds.). (1988). *The Solar system. Chemistry as a key to its origin*. Philosophical Transactions, Royal Society, Vol. 325, No. 1587.
- RUPKE, N.A. (1970). Continental drift before 1900. *Nature*, 227(5256), 349–350.
- RUPKE, N.A. (1983). *The great chain of history*. Oxford University Press, Oxford.
- RUPKE, N.A. (1996). Eurocentric ideology of continental drift. *History of Science*, 34(105, part 3), 251–272.
- RUSE, M. (1978). What kind of revolution occurred in geology? *En*: Asquith y Hacking (1981), p. 240–273.
- RUSKOL, E.L. (1981). Formation of planets. *Proceedings of Alpbach Summer School*, 29 Julio. –7 Agosto (ESA SP–164, November), p. 107–113.
- RUSSO, P. (1930). *Les déplacements des continents*. Rabat (2ª ed. en Louis Jean, Gap, 1933). [CCHS]
- SACCO, F. (1895). *Essai sur l'orogénie de la Terre*. C. Clausen, Turín. [UST]
- SACCO, F. (1906). *Les lois fondamentales de l'Orogénie de la Terre*. C. Clausen, Turín. [UST]
- SACCO, F. (1929). Aberrazioni. *Urania*, 18(5), 1–4.
- SAIGEETHA, A.F. y BANYAL, R.K. (2005). Alfred Wegener–From continental drift to plate tectonics. *Resonance*, 10(6), 43–59.
- SALISBURY, J.W. y RONCA, L.B. (1966). The origin of continents. *Nature*, 210(5037), 669–670.
- SALOMON CALVI, W. (1930). Die Bedeutung der Wegener'schen Kontinentalverschiebungstheorie. *Naturwissenschaftliche Monatshefte für der biologie, chemie, geographie und geologie Unterricht*, 27, 132–142.
- SARTON, G. (1914). La synthèse géologique de 1775 à 1918. *Isis*, 2, 357–394.
- SAULL, V.A. (1986). Wanted: Alternatives to plate tectonics. *Geology*, 14(6), 536.
- SCALERA G. (1988). Nonconventional Pangaea reconstructions. New evidences for an expanding Earth. *Tectonophysics*, 146, 365–383.
- SCALERA, G. (1995). Terra in espansione. *En*: *Enciclopedia delle Scienze Fisiche*. Istituto per la Enciclopedia Italiana Treccani, Roma, vol. VI, p. 228–

- SCALERA, G. (1997). Un musicista scienziato a cavallo tra 800 e 900: Roberto Mantovani e la teoria della dilatazione planetaria. *En: Tucci, P. (ed.). Atti del XVI Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia*. Como, 24–25 maggio/1996, p. 625–642.
- SCALERA, G. (2003). Roberto Mantovani, an Italian defender of the continental drift and planetary expansion. *En: Scalera y Jacob (2003)*, p. 71–74.
- SCALERA, G. (2009). Roberto Mantovani (1854–1933) and his ideas on the expanding Earth as revealed by his correspondence and manuscripts. *Annals of Geophysics*, 52(6), 615–649.
- SCALERA, G. y JACOB, K.H. (eds.) (2003). *Why expanding Earth?* Proceedings of the 3rd Lautenthaler Montanistisches Colloquium, Mining Industry Museum, Lautenthal, May 26/2001. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma.
- SCALERA, G. y MELONI, A. (1991). *L'evoluzione della terra*. Dedalo, Bari, p. 151.
- SCHACHER, S.G. (1970). Bunsen, Robert Wilhelm Eberhard. *En: Gillispie, C.C. (ed.). Dictionary of Scientific Biography*. Charles Scribner's Sons, Nueva York, Vol. I, p. 586–590.
- SCHAEER, J.P. (1991). Émile Argand 1879–1940. Life and portrait of an inspired geologist. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 84, 511–534.
- SCHARDT, H. (1893). Sur l'origine des Alpes du Chablais et du Stokhorn, en Savoie et en Suisse. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 117(21), 707–709.
- SCHARDT, H. (1908). L'évolution tectonique des nappes de recouvrement. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 10, 484–487.
- SCHEIDEGGER, A.E. (1953). Examination of the physics of theories of orogenesis. *Geological Society of America Bulletin*, 64(2), 127–150.
- SCHETTINO, A. y SCOTese, C.R. (2005). Apparent polar wander paths for the major continents (200 Ma to the present day): A palaeomagnetic reference frame for global plate tectonic reconstructions. *Geophysical Journal International*, 163(2), 727–759.
- SCHINDLER, S. (2007). Rehabilitating theory: refusal of the 'bottom-up' construction of scientific phenomena. *Studies in History and Philosophy of Science*, 38(1), 160–184.
- SCHIPPER, F. (1988). William Whewell's conception of scientific revolution. *Studies in History and Philosophy of Science*, 19(1), 43–53.
- SCHMAUSS, A. (1951). Alfred Wegeners Leben und Wirken als Meteorolog. *Annalen der Meteorologie*, 4, 1–13.

- SCHMIDT-THOMÉ, P. (ed.) (1960). Orogenesis. *Geologische Rundschau*, vol. 50(1) (Special issue).
- SCHMUTZ, H.U. (1986). *Die Tetraederstruktur der Erde – Eine geologisch-geometrische Untersuchung anhand der Plattentektonik*. Freies Geistesleben, Stuttgart.
- SCHNEER, C.J. (1981–82). Voltaire, the skeptical geologist. *Actes du Symposium INHIGEO–26^e Congrès Géologique International “Le développement de la géologie de langue française dans ses relations internationales des origines à la mort de Cuvier”* (Paris, julio/1980). *Histoire et Nature, Cahiers de l'Association pour l'Histoire des Sciences de la Nature*, 19–20, 59–64.
- SCHÖNENBERG, R. (ed.) (1975). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane in heutiger Sicht*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- SCHRODER, S. (2000). Alfred Wegener and the physics of geophysical phenomena in the upper atmosphere. *Acta geodaetica et geophysica Hungarica*, 35(1), 87–93.
- SCHRODER, W. (1981). Alfred Wegener and the physics of high atmosphere. *Astronomische Nachrichten*, 302, 197.
- SCHUCHERT, C. (1915). *A text-book of Geology. Part II: Historical Geology*. J. Wiley, Nueva York (2^a ed.).
- SCHUCHERT, C. (1932). Gondwana land bridges. *Geological Society of America Bulletin*, 43(4), 875–916.
- SCHWARZ, E.H.L. (1910). *Causal geology*. Blackie & Son, Londres–Bombay.
- SCHWARZ, E.H.L. (1912). The Atlantic and Pacific types of coast. *Geographical Journal*, 40(3), 294–299.
- SCHWARZBACH, M. (1954). *Geologie in Bildern: Eine Einführung in die Wissenschaft von der Erde*. Georg Fischer, Wittlich.
- SCHWARZBACH, M. (1980). *Alfred Wegener und die Drift der Kontinente*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart (2^a ed. 1989) [existe trad. francesa en Belin, París (1985), e inglesa en Science & Technology, Elmont (NY) y Madison (WI) (1986)].
- SCHWARZBACH, M. (1981a). Alfred Wegener, sein Leben und sein Lebenswerk. *Geologische Rundschau*, 70(1), 1–14.
- SCHWARZBACH, M. (1981b). Gondwana and “Gondwanaland” discussion. *Geologische Rundschau*, 70(2), 497–498.
- SCONZO, P. (1980). Continental drift and rotation of the earth. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 22(1), 61–62.
- SEE, T.J. (1907). On the temperature, secular cooling and contraction of earth, and on the theory of earthquakes held by the ancients. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 46(186), 191–299.

- SEGÀLA, M. (1988). Alfred Wegener. *Nuncius, Annali di Storia della Scienza*, 3(2), 310–315.
- SEGÀLA, M. (1990a). *La favola della terra mobile: La controversia sulla teoria della deriva dei continenti*. Il Mulino, Bologna.
- SEGÀLA, M. (1990b). L'inutile priorità: Wegener e i precursori della deriva dei continenti. *Nuncius, Annali di Storia della Scienza*, 5(1), 239–256.
- SEGÀLA, M. (1991a). Catastrofismo e localismo: A proposito della controversia sulla teoria della deriva dei continenti. *Nuncius, Annali di Storia della Scienza*, 6(2): 307–323.
- SEGÀLA, M. (1991b). Autobiografia e storiografia: storia e retorica di una rivoluzione scientifica. *Bolletino Filosofico (Calabria)*, 9, 151–182.
- SEIBOLD, I. y SEIBOLD, E. (1992). Neues aus dem Geologen–Archiv (1991) mit Erinnerungen an Alfred Wegener und Otto Ampferer: Warten auf Anerkennung. *Geologische Rundschau*, 81(2), 267–273.
- SÉNECA, L.A. (41 d.C.). Sobre la ira. En: *Diálogos*. Técnos, Madrid (trad. castellana 1986), p. 59–175.
- ŞENGÖR, A.M.C. (1975) The origin of lunar craters. *Earth, Moon, and Planets*, 14(2), 211–236. [Trad. inglesa incompleta de Wegener (1921c)]
- ŞENGÖR, A.M.C. (1982a). The classical theories of orogenesis. En: Miyashiro, A., Aki, K. y Şengör, A.M.C (eds.). *Orogeny*. J. Wiley, Chichester (NY) (trad. inglesa de la ed. original japonesa de 1979), p. 1–48.
- ŞENGÖR, A.M.C. (1982b). Eduard Suess' relations to the pre–1950 schools of thought in global tectonics. *Geologische Rundschau*, 71(2), 381–420.
- ŞENGÖR, A.M.C. (1983). Gondwana and “Gondwanaland”: A discussion. *Geologische Rundschau*, 72(1), 397–400.
- ŞENGÖR, A.M.C. (1990). Plate tectonics and orogenic research after 25 years: A Tethyan perspective. *Earth–Science Reviews*, 27(1–2), 1–34.
- ŞENGÖR, A.M.C. (1991). Timing of orogenic events: a persistent geological controversy. En: Müller *et al.* (1991), cap. 19, p. 405–473.
- ŞENGÖR, A.M.C. (1999). Continental interiors and cratons: any relation? *Tectonophysics*, 305(1–3), 1–42.
- ŞENGÖR, A.M.C. (2003). *The Large Wavelength Deformations of the Lithosphere: Materials for a history of the evolution of thought from the earliest times to plate tectonics*. Geological Society of America, Memoir 196.
- SEQUEIROS, L. (1997). Charles Lyell (1797–1875) y el conflicto entre la nueva geología y la religión. *Proyección*, 44, 127–138.
- S.G.F. (1985). *La Provence géologique: excursion du centenaire de la découverte des nappes de charriage en Provence par Marcel Bertrand*. Réunion extraor-

- dinaire de la Société géologique de France, 2–7 septembre, Marsella. Laboratoire de géologie appliquée–Université de Provence, Aix–Marseille 1.
- SHATSKY, N.W. (1946). La hipótesis de Alfred Wegener y los geosinclinales. *Izvestiya Akademii Nauk Seriya Geologicheskaya*, 4, 7–12 [en ruso].
- SHEA, J.H. (ed.) (1985). *Continental drift*. Van Nostrand Reinhold, Nueva York.
- SHEPARD, F.P. (1963). *La tierra bajo el mar. Iniciación a la geología submarina*. Omega, Barcelona (trad. castellana 1967).
- SHOEMAKER, E.M. (1998). Impact cratering through geologic time. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 92(6), 297–309.
- SIGSTEDT, C. (1952). *The Swedenborg Epic. The Life and Works of Emanuel Swedenborg*. Bookman Associates, Nueva York.
- SIMPSON, G.G. (1940). Mammals and land bridges. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 30(4), 137–163.
- SIMPSON, G.G. (1943). Mammals and the nature of the continents. *American Journal of Science*, 241(1), 1–31.
- SIMPSON, G.G. (1963). La ciencia histórica. En: C.C. Albritton, Jr. (ed). *Filosofía de la Geología*. CECSA, México (trad. castellana 1970), p. 39–69.
- SINGER, S.F. (1977). The early history of the earth–moon system. *Earth–Science Reviews*, 13(2), 171–189.
- SKINNER, B.J. (1986). Can you really believe the evidence? Two stories from geology. *American Scientist*, 74(4), 400–409.
- SKOBELIN, E.A., SHARAPOV, I.P. y BUGAYOV, A.F. (1990). Deliberations of state and ways of perestroika in geology (has plate tectonics resulted in a revolution in geology?). En: Barto–Kyriakidis, A. (ed.). *Critical aspects of the plate tectonics theory*. Vol. I: *Criticism on the plate tectonics theory*, p. 17–37, Theophrastus, Atenas.
- SLABINSKI, V.J. (1981). Continental drift and rotation of the earth. A new and critical evaluation. *Celestial Mechanics and Dynamical Antronomy*, 25(1), 89–91.
- SLOAN, P.R. (1990). Natural History, 1670–1802. En: Olby *et al.* (1990), p. 295–313.
- SMITH, A.D. y LEWIS, C. (1999). Differential rotation of lithosphere and mantle and the driving forces of plate tectonics. *Journal of Geodynamics*, 28(2/3), 97–116.
- SMITH, A.G. (1971). Continental drift. En: Gass *et al.* (1971), p. 213–232.
- SMITH, A.G. (1976). Plate tectonics and orogeny–A review. *Tectonophysics*, 33(3–4), 215–285.
- SMITH, A.G. (1992). Plate tectonics and continental drift. En: Brown, G.C., Hawkesworth, C.J. y Wilson, R.C.L. (eds.). *Understanding the earth*. Cambridge

- University Press, Cambridge, p. 187–203.
- SMITH, A.G. y HALLAM, A. (1970). The fit of the southern continents. *Nature*, 225(5228), 139–144.
- SMITH, J.R. (1987). *From plane to spheroid*. Landmark Enterprises, Rancho Cordova (CA).
- SMITH, P.J. (1980). The geophysical revolution in geology. *Physics Education*, 15(6), 334–339.
- SMOOT, N.C. (2001). Earth geodynamic hypotheses updated. *Journal of Scientific Exploration*, 15(4), 465–494.
- SNIDER–PELLIGRINI, A. (1858). *La création et ses mystères dévoilés*. A. Frank, París. [BL]
- SOLER LICERAS, C. (2004). *El agua y la tierra. (La hidrotectónica)*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.
- SOLÍS, C. (1974). Introducción. En: Galileo Galilei (1638). *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. Nacional, Madrid (trad. castellana 1974), p. 9–41.
- SOLOMON, M. (1992). Scientific rationality and human reasoning. *Philosophy of Science*, 59(3), 439–455.
- SONDER, R.A. (1947). Discussion on “Shear patterns of the Earth’s crust” by F.A. Vening–Meinesz. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 28(6), 939–945.
- SORKHABI, R.B. (1996). What’s in a name – ‘Gondwana’ or ‘Gondwanaland’? *Episodes*, 19(3), 82–84.
- SPIESS, F. (1931). Drei Vorträgsenwürfe für den Nachruf zum Forschertod von Prof. Alfred Wegener als Leiter der Deutschen Inlandeis–Expedition in Grönland 1930/1931. *Aus dem Nachlass*, 167, 4.
- STÄBLEIN, G. (1983). Alfred Wegener, from research in Greenland to plate tectonics. *GeoJournal*, 7(4), 361–368.
- STANLEY, S.M. (1986). *Earth and life through time*. W.H. Freeman, Nueva York.
- STANLEY, S.M. (1999). *Earth System History*. W.H. Freeman, Nueva York.
- STAUB, R. (1928). *Der Bewegungsmechanismus der Erde dargelegt am bau der irdischen Gebirgssysteme*. Gebrüder Borntraeger, Berlin. [GAUB]
- STEBLOV, G.M., FROLOV, D.I. y KUKSENKO, V.S. (2005). Kinematics of the earth continental drift. *Physics of the Solid State*, 47(6), 1042–1047.
- STEHLI, F.G. (1973). Review of paleoclimate and continental drift. *Earth–Science Reviews*, 9(1), 1–18.
- STEIN, D. (1999). Continental drift. *American Scientist*, 87, 467–468.
- STENT, G.S. (1972). Prematurity and uniqueness in scientific discovery. *Scientific*

- American*, 227, 84–93 [reimpreso en: Gingerich (1987), cap. 12, p. 98–101].
- STENT, G.S. (2002). Prematurity in scientific discovery. *En: Hook (2002)*, cap. 2, p. 22–36.
- STEPHANSSON, O. (1973). *Kontinentaldrift*. Forskning, Estocolmo.
- STERN, D.P. (2002). A millennium of geomagnetism. *Reviews of Geophysics*, 40(3), 1–30.
- STEVENSON, D.J. (1987). Origin of the moon. The collision hypothesis. *Annual Review of Earth & Planetary Sciences*, 15, 271–325.
- STEWART, J.A. (1980). Change in social and cognitive structures during a scientific revolution: Plate tectonics and geology. *Dissertation Abstracts International*, 40, 6434–A.
- STEWART, J.A. (1986). Difting continents and colliding paradigms: A quantitative application of the interests erspective. *Social Studies of Science*, 16, 261–279.
- STEWART, J.A. (1987). Drifting or colliding interests? A reply to Laudan with some new results. *Social Studies of Science*, 17, 321–331.
- STEWART, J.A. (1990). *Difting continents and colliding paradigms: Perspectives on the geoscience revolution*. Indiana University Press, Bloomington (IN).
- STILLE, H. (1936). Tektonische Beziehungen zwischen Nordamerika und Europa. *International Geological Congress, Report of the XVI Session (Washington, 1933)*, vol. 2, p. 829–838.
- STODDART, D.R. (1976). Darwin, Lyell, and the geological significance of coral reefs. *British Journal of History of Science*, 9(2), 199–218.
- STODDART, D.R. (1994). Theory and reality: The success and failure of the deductive method in coral reef studies –Darwin to Davis. *Earth Sciences History*, 13(1), 21–34.
- STODDART, D.R. (1998a). The Duke, the professor, and the great coral reefs controversy of 1887–1888. *Earth Sciences History*, 7(2), 90–98.
- STODDART, D.R. (1998b). Joseph Beete Jukes, the ‘Cambridge Connection’, and the theory of reef development in Australia in the Nineteenth Century. *Earth Sciences History*, 7(2), 99–110.
- STORETVEDT, K.M. (1999). Global wrench tectonics: Replacement model for plate tectonics. *Memoirs, Geological Society of India*, 43, 521–548.
- STOREY, B.C., ALABASTER, T. y PANKHURST, R.J. (eds.) (1992). Magmatism and the causes of continental break-up. *Geological Society*, Sp. Publ., No. 68.
- STRAHLER, A.N. (1987). *Geología física*. Ed. Omega, Barcelona (trad. castellana 1987).
- STRASSER, G. (1956). Hundert Jahre Prattische Theorie? *Deutsche Geodätische Kommission Wissenschaftlicher Übersetzungsdienst*, Heft 11, Munich.

- STRAUCH, F. (1992). Else Wegener 100 Jahre alt geworden. *Mitteilung/Alfred-Wegener Stiftung*, 21, 202–203.
- STROBACH, K. (1980). Zur Geschichte der Geophysik: Alfred Wegener zum 100. Geburtstag. *Naturwissenschaften*, 67(7), 321–331.
- STRUTINSKI, C., STAN, S. y PUSTE, A. (2003). Geotectonic hypotheses at the beginnings of the 21th century. *En: Scalera y Jacob (2003)*, p. 259–273.
- STUCCHI, M. (1979). Chi a spostato i continenti? *Testi e Contesti: Quaderni di Scienze, Storia e Società*, 1, 57–67.
- SUESS, E. (1875). *Die Entstehung der Alpen*. W. Braumüller, Viena. [BL]
- SUESS, E. (1880). Über die Erdbeben der Österreich–ungarischen Monarchie. *Beilage zu den Monatsblättern des wissenschaftlichen Clubs*, Viena.
- SUESS, E. (1893). Are great ocean depths permanent? *Natural Science*, 2(11), 180–187.
- SUESS, E. (1895). Note sur l’histoire des océans. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l’Académie des Sciences, Paris*, 121(27), 1113–1116.
- SUESS, E. (1885–1909). *Das Antlitz der Erde*. F. Tempski, Praga, 3 vols [existe trad. castellana: *La Faz de la Tierra*. R. Velasco, Madrid (1923–1930), 4 vols]. [BP]
- SULLIVAN, W. (1974). *Continents in motion: The new earth debate*. American Institute of Physics, College Park (Md) (ed. 1991).
- SUTTON, J. (1970). *Continental drift*. F. Hodgson, Guernsey.
- SWEDENBORG, E. (1734). *Opera philosophica et mineralia*. Sumptibus Friderici Hekelii, Dresdae et Lipsiae, vol. 1. [BL]
- SWEDENBORG, E. (1845–46). *The principia: or, The first principles of natural things, being new attempts toward a philosophical explanation of the elementary world*. W. Newbery–O. Clapp, Londres–Nueva York, 2 vols. [BL]
- TACKLEY, P.J. (2000). Mantle convection and plate tectonics: Toward an integrated physical and chemical theory. *Science*, 288(5473), 2002–2007.
- TAKEUCHI, H., UYEDA, S. y KANAMORI, H. (1970). ¿Qué es la tierra? *El problema de la deriva continental*. Antoni Bosch, Barcelona (trad. castellana 1978).
- TALWANI, M. y LANGSETH, M. (1981). Ocean crustal dynamic. *En: Drake, C.L. y Schmitt, L.E. (eds.). Solid earth. Science*, 213(4503), 22–31.
- TANIMOTO, T. (1991). The Japanese reception of Alfred Wegener’s theory of continental drift. *Journal of General Philosophy of Science*, 22(2), 369–400.
- TARBUCK, E.J. y LUTGENS, F.K. (1999). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Prentice–Hall, Madrid (trad. castellana 2000).
- TARLING, D.H. (1971). Gondwanaland, palaeomagnetism and continental drift. *Nature*, 229(5279), 17–71.
- TARLING, D.H. (1972). Drifting through the year. *Nature*, 239(5366), 38–40.

- TARLING, D.H. (1973a). Metallic ore deposits and continental drift. *Nature*, 243(5404), 193–196.
- TARLING, D.H. (1973b). Continental drift and reserves of oil and natural gas. *Nature*, 243(5405), 277–279.
- TARLING, D.H. (1977). Some economic implications of continental drift. *Naturwissenschaften*, 64, 16–22.
- TARLING, D.H. (1981). *Continental drift and biological evolution*. Carolina Press, Oxford.
- TARLING, D.H. (1982). Land bridges and plate tectonics. *Geobios, Mém. Spé.*, 6, 361–374.
- TARLING, D.H. y RUNCORN, S.K. (eds.) (1973). *Implications of continental drift to the Earth Sciences*. Academic Press, Londres–Nueva York, 2 vols.
- TARLING, D.H. y TARLING, M.P. (1971). *Derivas continentales*. Alhambra, Madrid (trad. castellana 1975).
- TASCH, P. (1954). Search for the germ of Wegener's concept of continental drift. *Osiris*, 11, 157–167.
- TAYLOR, E.G.R. (1950). The origin of continents and oceans: a seventeenth century controversy. *The Geographical Journal*, 116(4–6), 193–198.
- TAYLOR, F.B. (1898). *An endogenous planetary system. A study in Astronomy*. Archer Printing, Fort Wayne (IN) [JCL]
- TAYLOR, F.B. (1910). Bearing of the Tertiary mountain belt on the origin of the Earth's plan. *Geological Society of America Bulletin*, 21(2), 179–226.
- TAYLOR, F.B. (1921a). Some points in the mechanism of arcuate and lobate mountain structures (abstract). *Geological Society of America Bulletin*, 32(1), 31–32.
- TAYLOR, F.B. (1921b). An objection to the contraction hypothesis as accounting for mountains (abstract). *Geological Society of America Bulletin*, 32(1), 33–34.
- TAYLOR, F.B. (1923). The lateral migration of the land masses. *Proceedings of Washington Academy of Sciences*, 13, 445–447.
- TAYLOR, F.B. (1925). Movement of continental masses under action of tidal forces. *Pan-American Geology*, 43, 15–50.
- TAYLOR, F.B. (1926). Greater Asia and Isostasy. *American Journal of Science*, 5th Ser., 12(67), 46–67.
- TAYLOR, F.B. (1928a). Bearing of distribution of earthquakes and volcanoes and their origin. *Geological Society of America Bulletin*, 39(4), 1001–1016.
- TAYLOR, F.B. (1928b). Sliding continents and tidal and rotational forces. *En: Van der Gracht* (1928), p. 158–177.
- TAYLOR, F.B. (1930). Correlation of Tertiary mountain ranges in the different continents. *Geological Society of America Bulletin*, 41(3), 431–474.

- TAYLOR, F.B. (1932). Wegener's theory of continental drifting: a critique of some of his views. *Geological Society of America Bulletin*, 43(1), 173 (abstract).
- TAYLOR, G.T. (1994). The scientific legacy of Apollo. *Scientific American*, 271(1), 26–33.
- TAYLOR, S.R. (1987). The origin of the Moon. *American Scientist*, 75(5): 468–477.
- TAZIEFF, H. (1972). *Los volcanes y la deriva de los continentes*. Labor, Barcelona (trad. castellana 1974).
- TEICHERT, C. (1976). Wegener fit: Comment. *Geology*, 4(4), 200.
- TEICHERT, C. (1986). An early German supporter of continental drift. *Earth Sciences History*, 5(2), 134–136.
- TER HAAR, D. y CAMERON, A.G.W. (1963). Historical review of theories of the origin of the solar system. En: Jastrow, R. y Cameon, A.G.W. (eds.). *Origin of the solar system*. Academic Press, Nueva York–Londres, p. 1–37.
- TERMIER, H. y TERMIER, G. (1979). *Histoire de la Terre*. Presses Universitaire de France, París.
- TERRALL, M. (2002). *The man who flattened the earth: Maupertuis and the sciences in the enlightenment*. The University of Chicago Press, Chicago.
- TESTARD VAILLANT, P. (2002). Alfred Wegener, l'heretique reste de glace. *La Recherche*, 358, 52–55.
- THENIUS, E. (1982). Alfred Wegener: Zum 100. Geburtstag des Begründers der continentalverschiebungstheorie. *Schriften des Vereines zur Verbreitung Naturwissenschaftlichen Kenntnisse in Wien*, 121, 1–33.
- THENIUS, E. (1984). The Austrian geologist Otto Ampferer as founder of the sea-floor spreading concept, a contribution to the history of earth sciences. *Earth Science History*, 3(2), 174–177.
- THENIUS, E. (1988). Otto Ampferer, Begründer der Theorie der Ozeanbodenspreizung. *Die Geowissenschaften*, 6, 103–105.
- THENIUS, F. (1981/1982). Das “Gondwana-Land” Eduard Suess 1885. Der Gondwanakontinent in erd- und biowissenschaftlicher Sicht. *Mitteilungen der Österreichische Geologische Gesellschaft*, 74/75, 53–81.
- THOMPSON, M.D. y BOWRING, S.A. (2000). Age of Squantum “tillite” Boston, Massachusetts: U–Pb zircon constraints on terminal Neoproterozoic glaciation. *American Journal of Science*, 300(8), 630–658.
- THOMSON, W. (1862). On the secular cooling of the earth. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 23, 157–169 [reimpreso en: Thomson, W. y Tait, P.G. (1890). *Treatise on Natural Philosophy*. Cambridge University Press, Cambridge, Part II, p. 468–485; y en: Thomson, W. (1890). *Mathematical and Physical Papers*. Vol III, *Elasticity, Heat, Electro–Magnetism*. C.J. Clay & Sons, Londres, p. 295–311]. [BL]

- TODHUNTER, I. (1873). *A history of the mathematical theories of attraction and the figure of the Earth from the time of Newton to that Laplace*. Dover, Nueva York, 2 vols. (reed. 1962).
- TOKSVIG, S. (1948). *Emanuel Swedenborg, scientist and mystic*. Swedenborg Foundation, Nueva York (reed. 1983).
- TOTTEN, S.M. (1980). Frank B. Taylor's personal claim as originator of the continental drift theory. *Annual Meeting of the Geological Society of America, Abstracts with Program*, 12(7), 536.
- TOTTEN, S.M. (1981). Frank B. Taylor, plate tectonics, and continental drift. *Journal of Geological Education*, 29(5), 212–220.
- TOZER, E.T. (1989). Tethys, Thetis, Thethys, or Thetys? What, where, and when was it? *Geology*, 17(10), 882–884.
- TROLLE, A. y LEGAT, H. (1936). *Danmark-Ekspeditionens Nekrologer I–IX*. Levin & Munksgaard, Copenhagen. [AWI]
- TRUBITSYN, V.P. y RYKOV, V.V. (1995). A 3–D numerical model of the Wilson cycle. *Journal of Geodynamics*, 20(1), 63–75.
- TRÜMPY, R. (1984). Des géosynclinaux aux océans perdus. *Bulletin de la Société Géologique de France*, sér. 7, 26(2), 201–206.
- TRÜMPY, R. (1988). Cent ans de tectonique des nappes dans les Alpes. *La Vie des Sciences/Académie des Sciences de Paris*, 5(1), 1–13.
- TRÜMPY, R. (1991). The Glarus Nappes: a controversy of a century ago. *En: Müller et al.* (1991), cap. 18, p. 385–404.
- TRÜMPY, R. (1999). Weshalb die Plattentektonik nicht in den Alpen erfunden wurde. *Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten*, Ser. A, 52, 1. (Abstract).
- TRÜMPY, R. (2001). Why plate tectonics was not invented in the Alps. *International Journal of Earth Sciences*, 90(3), 477–483.
- TRÜMPY, R. (2003). Trying to understand Alpine sediments—before 1950. *Earth Science Reviews*, 61(1–2), 19–42.
- TRÜMPY, R. y LEMOINE, M. (1998). Marcel Bertrand (1847–1907): Les nappes de charriage et le cycle orogénique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Series IIA*, 327(3), 211–224.
- TURCOTTE, D.L. y OXBURGH, E.R. (1972). Mantle convection and the new global tectonics. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 4, 33–66.
- TUREKIAN, K.K. (1968). *Oceans*. Prentice–Hall, Englewood Cliffs (NJ) (2ª ed. 1976).
- TURNBULL, H.W. (1960). *The correspondence of Isaac Newton*. Cambridge University Press, Cambridge, vol. 2 (1676–1687).
- UDÍAS, A. (1996). Prólogo. *En: A. Wegener* (1929). *El origen de los continentes y*

- océanos. Círculo de Lectores, Barcelona (trad. castellana 1983), p. 9–30.
- UDINTSEV, G.B. (1995). The development of plate tectonics in Russia: an historical view. *En: Bonatti y Wezel (1995)*, p. 603–606.
- UREY, H.C. (1953). On the origin of continents and mountains. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 39(9), 933–946.
- USSHER, J. (1650). *Annales veteris testamenti, a prima mundi origine deducti...* Ex officina J. Flesher, & prostant apud J. Crook & J. Baker, Londres, vol. I. [TC]
- USSHER, J. (1654). *Annalium pars posterior, in qua praeter maccabaicam et novi testament historia...* Typis J. Flesher, impensis J. Crook, Londres, vol. II. [TC]
- USSHER, J. (1658). *The annals of the world*. E. Tyler, for J. Crook & G. Bedell, Londres. [TC] [existe reed. en: Master Books, Green Forest (AR), 2003].
- UYEDA, S. (1972). Derive de continentes et tectonique des plaques. *La Recherche*, 25, 649–664.
- UYEDA, S. (1978). *La nueva concepción de la Tierra*. Blume, Barcelona (trad. castellana 1980).
- UYEDA, S. (2002). Continental drift, sea–floor spreading, and plate/plume tectonics. *International Geophysics Series*, 81(A), 51–68.
- VAI, G.B. (2006). Isostasy in Luigi Ferdinando Marsili's manuscripts. *En: Vai, G.B. y Caldwell, W.G.E. (eds.). The origins of geology in Italy*. Geological Society of America, Sp. Pap. N° 411, p. 95–127.
- VALDÉS Y AGUIRRE, F. (1856). ¿Los dos continentes estarían unidos antiguamente por África y América? *Floresta Cubana*, tomo único, p. 130–131.
- VALDÉS Y AGUIRRE, F. (1859). *Apuntes para la historia de Cuba primitiva*. E. Thunot, París, 66 p. [CCHS]
- VALENTINE, J.W. (1977). The geological record. *En: Dobzhansky, T., Ayala, F.J., Stebbins, G.L. y Valentine, J.W. (eds.). Evolution*. W.H. Freeman, San Francisco (CA), p. 314–348.
- VALENTINE, J.W. y MOORES, E.M. (1972). Global tectonics and the fossil record. *Journal of Geology*, 80(2), 167–184.
- VALLAUX, C. (1933). *Geografía general de los mares*. Juventud, Barcelona (trad. castellana 1953, 2ª ed. 1961).
- VÁZQUEZ ABELEDO, M. (1998). *La historia del sol y el cambio climático*. McGraw–Hill, Madrid.
- VEEN, F.R. van (1996). Van Waterschoot van der Gracht en de Amerikaanse controverse over Wegeners continentverschuivingstheorie in 1926. *En: Massard, J.A. (ed.). L'homme et la terre. Actes du 13^e congrès Benelux d'histoire des science*. Centre Universitaire, Luxemburgo, p. 221–229.
- VENING–MEINESZ, F.A. (1926). Gravity survey by submarine via Panama to Java.

- Geographical Journal*, 1(21), 144–159.
- VENING–MEINESZ, F.A. (1947). Shear patterns of the Earth's crust. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 28(1), 1–61.
- VENING–MEINESZ, F.A. (1948). *Gravity Expeditions at Sea*. Publications of the Netherlands Geodetic Committee, Vol. IV.
- VENING–MEINESZ, F.A. (1952). The origin of continents and oceans. *Geologie en mijnbouw. Maandblad van het koninklijk Nederlandsch*, 14, 373–384.
- VENING–MEINESZ, F.A. (1962). Thermal convection in the earth's mantle. *En: Runcorn, S.K. (ed.). Continental drift*. Academic Press, Nueva York, p. 145–176.
- VENING–MEINESZ, F.A., UMGROVE, J.H.F. y KUENEN, Ph.H. (1934). *Gravity Expeditions at Sea, 1923–1932*. Netherlands Geodetic Commission, Vol. II.
- VERSTEGEN, R. (1605). *A restitution of decayed intelligence*. Amberes. [BL] [existe ed. moderna (1979) en: Theatrum Orbis Terrarum y W.J. Johnson, Amsterdam–Norwood (NJ)].
- VIGOUROUX, P. Le (2024). A European support to continental drift: Émile Argand and his “Tectonics of Asia”. *IUGS e-Bulletin (Anniversaries INHIGEO)*, 208, 1–6.
- VINE, F.J. (1977). The continental drit debate. *Nature*, 266(5597), 19–22.
- VINE, F.J. y MATTHEWS, D.H. (1963). Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature (London)*, 199(4897), 947–949 [reproducido en Cox (1973), p. 232–237].
- VLAAR, N.J. (1989). Vening–Meinesz –A student of the earth. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 70(9), 129–140.
- VOGEL, K. (1983). Global models and Earth expansion. *En: Carey (1983)*, p. 17–27.
- VOGEL, K. (2003). Earth expansion and plate tectonics. From Alfred Wegener's theory of continental drift to Earth expansion. *En: Scalera y Jacob (2003)*, p. 79–83.
- VOO, R. van der (1975). Paleomagnetism, continental drift and plate tectonics. *Review of Geophysics & Space Physics*, 13(3), 195–197.
- VOO, R. van der (1979). Paleomagnetism related to continental drift and plate tectonics. *Review of Geophysics & Space Physics*, 17(2), 227–235.
- VÖPPEL, D. (1980). Alfred Wegener als Geowissenschaftler. *Seewart*, 41, 242–253.
- VOSS, J. (1992). In memoriam Else Wegener. *Polarforschung*, 61(2/3), 183–184.
- WAHR, J.M. (1988). The Earth's rotation. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 16, 231–249.
- WALCOTT, I.R. (1970). Flexural rigidity, thickness and viscosity of the lithosphere. *Journal of Geophysical Research*, 75(20), 3941–3954.

- WANG, C.S. (1972). Geosynclines in the New Global Tectonics. *Geological Society of America Bulletin*, 83(7), 2105–2110.
- WANG, C.S. (1979). Concept of geosyncline. *Geologische Rundschau*, 68(2), 696–706.
- WARRING, C.B. (1887). The evolution of continents. *Transactions of Vassar Brothers Institute, New York*, 4(2), 256–271.
- WATTS, A.B. (2001). *Isostasy and flexure of the lithosphere*. Cambridge University Press, Cambridge–Nueva York, cap. 1, p. 1–47.
- WEGENER, A.L. (1905). *Die Alphonsinischen Tafeln für den Gebrauch eines modernen Rechners*. Tesis Doctoral, Universidad de Berlín, 64 p. [publicado en: Die astronomischen Werke Alfons X. *Bibliotheca Mathematica* (Leipzig), vol. 6, N° 2, cap. 3, p. 129–185 (1905).
- WEGENER, A.L. (1906a). Über die Flugbahn des am 4. Jan. 1906 in Lindenberg aufgestiegenen Registrierballons. *Beiträge zur Physik*, 2, 30–34.
- WEGENER, A.L. (1906b). Studien über die Luftwogen. *Beiträge zur Physik*, 2 55–72.
- WEGENER, A.L. (1906c). Die Ergebnisse der Danmark–Expedition. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, 10, 22–27.
- WEGENER, A.L. (1910a). Zur Schichtung der Atmosphäre. *Beiträge zur Physik*, 3, 30–39.
- WEGENER, A.L. (1910b). Über eine eigentümliche Gesetzmässigkeit der oberen Inversion. *Beiträge zur Physik*, 3, 206–214.
- WEGENER, A.L. (1910c). Über eine neue fundamentale Schichtgrenze der Erd–Atmosphäre. *Beiträge zur Physik*, 3, 225–232.
- WEGENER, A.L. (1910d). Die Grösse der Wolken–Elemente. *Meteorologische Zeitschrift*, 27, 354–361.
- WEGENER, A.L. (1910e). Über die Eisphase des Wasserdampfes in der Atmosphäre. *Meteorologische Zeitschrift*, 27, 451–459.
- WEGENER, A.L. (1911a). Untersuchungen über die Natur der obersten Atmosphärenschichten. *Physikalische Zeitschrift*, 12, 170–178.
- WEGENER, A.L. (1911b). Untersuchungen über die Natur der obersten Atmosphärenschichten. *Physikalische Zeitschrift*, 12, 214–222.
- WEGENER, A.L. (1911c). Über den Ursprung der Tromben. *Meteorologische Zeitschrift*, 28, 201–209.
- WEGENER, A.L. (1911d). Neue Forschungen auf dem Gebiet der atmosphärischen Physik. *Fortschritte der Naturwissenschaften Forschung*, 3, 1–70.
- WEGENER, A.L. (1911e). Meteorologische Beobachtungen während der Seereise 1906 und 1908 (Danmark Exped.). *Meddelelser om Grønland*, 42, 113–124.

- WEGENER, A. (1911f). Meteorologische Terminbeobachtungen am Danmark-Havn. En: *Danmark-Ekspeditionen til Grønlands Nordøstkyst 1906–1908. Meddelelser om Grønland*, 42(4), 125–355.
- WEGENER, A.L. (1911g). *Themodynamik der Atmosphäre*. Barth, Leipzig (eds. 1924, 1928). [AWI]. [Existe reed. revisada y ampliada por Kurt Wegener: *Vorlesungen über Physik der Atmosphäre*. J.A. Barth, Leipzig (1935)]. [IQFR]
- WEGENER, A.L. (1912a). Über die Ursache der Zerrbilder bei Sonnenuntergängen. *Beiträge zur Physik*, 4, 26–34.
- WEGENER, A.L. (1912b). Über Temperaturinversionen. *Beiträge zur Physik*, 4, 55–65.
- WEGENER, A.L. (1912c). Die Erforschung der obersten Atmosphärenschichten. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, 11, 104–124.
- WEGENER, A.L. (1912d). Über turbulente Bewegungen in der Atmosphäre. *Meteorologische Zeitschrift*, 29, 49–59.
- WEGENER, A.L. (1912e). Die Entstehung der Kontinente. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 58(4), 185–195 [existe trad. castellana de este artículo y de los dos siguientes en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20(1), 27–63 (2012), e inglesa en Jacoby (2001a); algunos fragmentos se encuentran también en Fritscher (2002)].
- WEGENER, A.L. (1912f). Die Entstehung der Kontinente. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 58(5), 253–256.
- WEGENER, A.L. (1912g). Die Entstehung der Kontinente. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 58(6), 305–309.
- WEGENER, A.L. (1912h). Die Entstehung der Kontinente. *Geologische Rundschau*, 3(4), 276–292 [existe trad. inglesa: The origins of continents. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 91(Suppl. 1), 4–17 (2002), reproducido en Dullo (2003), p. 4–17].
- WEGENER, A.L. (1912i). Barometer. *Handwörterbuch der Naturwissenschaften*, 1, 828–839.
- WEGENER, A.L. (1912j). Luftdruck. *Handwörterbuch der Naturwissenschaften*, 6, 465–471.
- WEGENER, A.L. (1914a). Beobachtungen über atmosphärische Polarisierung auf der dänischen Grönland-Expedition unter Hauptmann Koch. *Sitzungsberichte der Wissenschaftlichen Gesellschaft zu Marburg*, 7–18.
- WEGENER, A.L. (1914b). Staubwirbel auf Island. *Meteorologische Zeitschrift*, 31, 199–200.
- WEGENER, A.L. (1914c). *Drachen- und Fesselballonaufstiege. Ausgeführt auf der Danmark Expedition 1906–08*. Kommissionen for Ledelsen af de Geologiske og Geografiske Undersøgelser i Grønland, København. *Medde-*

- lelser om Grønland*, 42(1), 1–75.
- WEGENER, A.L. (1914d). *Meteorologische Beobachtungen während der Seereise 1906 und 1908*. Kommissionen for Ledelsen ad de Geologiske och Geografiske Undersøgelser i Grønland, København. *Meddelelser om Grønland*, 42(3), 113–123.
- WEGENER, A.L. (1914e). *Meteorologische Terminbeobachtungen am Danmark-Havn*. Kommissionen for Ledelsen ad de Geologiske och Geografiske Undersøgelser i Grønland, København. *Meddelelser om Grønland*, 42(4), 125–355.
- WEGENER, A.L. (1915a). Neuere Forschungen auf dem Gebiet der Meteorologie und Geophysik. *Annalen der Hydrographie*, 43, 159–168.
- WEGENER, A.L. (1915b). Zur Frage der atmosphärischen Mondgezeiten. *Meteorologische Zeitschrift*, 32, 253–258.
- WEGENER, A.L. (1915c). Über den Farbenwechsel der Meteore. *Das Wetter* (15 April), 62–66 [ed. especial en homenaje a Richard Assmann].
- WEGENER, A.L. (1915d). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Vieweg, Brunswick (1^a ed.).
- WEGENER, A.L. (1917a). Die Neben-Sonnen unter dem Horizont. *Meteorologische Zeitschrift*, 34, 295–298.
- WEGENER, A.L. (1917b). Das detonierende Meteor vom 3. April 1916, 3 1/2 Uhr nachmittags in Kurhessen. *Schriften der Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften zu Marburg*, 14(1), 1–83.
- WEGENER, A.L. (1917c). *Wind- und Wasserhosen in Europa*. Vieweg, Brunswick. [AWI]
- WEGENER, A.L. (1918a). Über die planmässige Auffindung des Meteoriten von Treysa. *Astronomische Nachrichten*, 207, 185–190.
- WEGENER, A.L. (1918b). Elementare Theorie der atmosphärischen Spiegelungen. *Annalen der Physik*, 57(4), 203–230.
- WEGENER, A.L. (1918c). Der Farbenwechsel grosser Meteore. *Nova Acta, Abhandlungen der Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher*, 104, 1–34.
- WEGENER, A.L. (1919). Referat über J.P. Koch, Nordgrönlands Trift nach Westen. *Astronomische Nachrichten*, 208, 271–276.
- WEGENER, A.L. (1920a). Versuche zur Aufsturz-Theorie der Mondkrater. *Nova Acta, Abhandlungen der Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher*, 106(2), 107–117.
- WEGENER, A.L. (1920b). Die Aufsturzhypothese der Mondkrater. *Sirius*, 53, 189–194.

- WEGENER, A.L. (1920c). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Vieweg, Brunswick (2^a ed.). [AWI]
- WEGENER, A.L. (1921a). Die Theorie der Kontinentalverschiebungen. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde Berlin*, 3, 89–103.
- WEGENER, A.L. (1921b). Die Theorie der Kontinentalverschiebungen. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde Berlin*, 4, 125–130.
- WEGENER, A.L. (1921c). *Die Entstehung der Mondkrater*. Vieweg, Brunswick. [Un resumen apareció en *Naturwissenschaften*, 9(30), 592–594; existe trad. inglesa (incompleta) en Sengör (1975), y castellana (completa) en García Cruz (2017)].
- WEGENER, A.L. (1922a). The origin of continents and oceans. *Discovery*, 3(29), 114–118.
- WEGENER, A.L. (1922b). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Vieweg, Brunswick (3^a ed.) [MNCN] [trad. castellana: *La génesis de los continentes y océanos*. Biblioteca Revista de Occidente, Madrid (1924)]. [BP]
- WEGENER, A.L. (1924). Die Theorie der Kontinentverschiebung, ihr gegenwärtiger Stand und ihre Bedeutung für die exakten und systematischen Geo-Wissenschaften. *Naturwissenschaften Monatshefte*, 5, 142–153.
- WEGENER, A.L. (1925a). Theorie der Haupthalos. *Archiv der deutsche Seewarte*, 43, 1–32.
- WEGENER, A.L. (1925b). Die äussere Hörbarkeitsgrenze. *Zeitschrift für Geophysik*, 1, 297–314.
- WEGENER, A.L. (1926a). Ergebnisse der dynamischen Meteorologie. *Ergebnisse der Exakten Naturwissenschaften*, 5, 96–124.
- WEGENER, A.L. (1926b). Paläogeographische Darstellung der Theorie der Kontinentalverschiebungen. En: Dacqué, E. (ed.). *Enzyklopädie der Erdkunde. Paläogeographie*. F. Deuticke, Leipzig–Viena, p. 174–189.
- WEGENER, A.L. (1926c). Thermodynamik der Atmosphäre. En: Geiger, H. y Scheel, K. (eds.). *Handbuch der Physik*. J. Springer, Berlin, p. 156–189.
- WEGENER, A.L. (1927a). Die geophysikalischen Grundlagen der Theorie der Kontinentverschiebung. *Scientia*, 41, 102–116.
- WEGENER, A.L. (1927b). Der Boden des Atlantischen Ozeans. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, 17(3), 311–321.
- WEGENER, A.L. (1927c). Die Geschwindigkeit grosser Meteore. *Die Naturwissenschaften*, 15(12), 286–288.
- WEGENER, A.L. (1928a). Die Windhose in der Oststeiermark vom 23. Sept. 1927. *Meteorologische Zeitschrift*, 45, 41–49.
- WEGENER, A.L. (1928b). Beiträge zur Mechanik der Tromben und Tornados.

Meteorologische Zeitschrift, 45, 201–214

- WEGENER, A.L. (1928c). Two notes concerning my theory of continental drift. *En: Van der Gracht* (1928), p. 97–103 [trad. castellana este *Simposio*, p. 117–121].
- WEGENER, A.L. (1928d). Bemerkungen zu H. v. Iherings Kritik der Theorien der Kontinentverschiebungen und der Polwanderungen. *Zeitschrift für Geophysik*, 4(1), 46–48.
- WEGENER, A.L. (1928e). Akustik der Atmosphäre. *En: Pouillet, C.S.M. y Müller, J. (eds.). Lehrbuch der physik und meteorologie* (11^a ed.). Vieweg, Brunswick, vol. 1, p. 171–198.
- WEGENER, A.L. (1928f). Optik der Atmosphäre. *En: Pouillet, C.S.M. y Müller, J. (eds.). Lehrbuch der physik und meteorologie* (11^a ed.). Vieweg, Brunswick, vol. 1, p. 199–289.
- WEGENER, A.L. (1929a). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Vieweg, Brunswick (4^a ed.) [trad. castellana: *El origen de los continentes y océanos*. Pirámide, Madrid (1983); reeds.: Planeta–Agostini, Barcelona (1994), Círculo de Lectores, Barcelona (1996), y Crítica, Barcelona (2009)].
- WEGENER, A.L. (1929b). Optik der Atmosphäre. B. Atmosphärische Strahlenbrechung, optische Erscheinungen in den Wolken. *En: Gutenberg, B. (ed.). Lehrbuch der Geophysik*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, p. 693–729.
- WEGENER, A.L. (1929c). *Vertraulicher Bericht über die Grönland–Expedition 1929*. Publikationen aus dem Archiv der Universität Graz, Graz [reedicion en: Flügel (1980)].
- WEGENER, A.L. (1930). Deutsche Inlandeis–Expedition nach Grönland, Sommer 1929. *Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*, 81–124.
- WEGENER, A.L. (1935a). *Mit Motorboot und Schlitten in Grönland* (ed. póstuma). Velhagen–Klasing, Bielefeld–Leipzig. [AWI]
- WEGENER, A.L. (1935b). *Vorlesungen über Physik der Atmosphäre* (ed. póstuma de K. Wegener). J.A. Barth, Leipzig. [AWI]
- WEGENER, A.L. (1936). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Vieweg, Brunswick (5^a ed. póstuma revisada por Kurt Wegener).
- WEGENER, A.L. (1941). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Vieweg, Brunswick (6^a ed. póstuma revisada por Kurt Wegener).
- WEGENER, A.L. (1961). *Tagebuch eines Abenteuers: Mit Pferdeschlitten quer durch Grönland* (ed. póstuma). F.A. Brockhaus, Wiesbaden. [AWI]
- WEGENER, A.L. (1980). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Akademie, Berlín [facsimile de las ediciones 1^a (1915) y 4^a (1929)].
- WEGENER, A.L. (2005). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. AWI–Gebrüder Borntraeger, Berlín–Stuttgart [facsimile de las ediciones 1^a (1915) y 4^a

- (1929)].
- WEGENER, A.L. y KULBRODT, E. (1922). Pilotballonaufstiege auf einer Fahrt nach México, März bis Juni 1922. *Archiv der deutsche Seewarte*, 30, 1–46.
- WEGENER, E. (ed.) (1932). *Alfred Wegeners letzte Grönlandfahrt. Die Erlebnisse der deutschen Grönlandexpedition 1930–1931 geschildert von seinen Reisegefährten und nach Tagebüchern des Forschers*. F.A. Brockhaus, Leipzig [existe trad. inglesa: *Greenland Journey: The Story of Wegener German Expedition in 1930–31*. Blackie & Son: London & Glasgow (1939)]. [AWI]
- WEGENER, E. (ed.) (1960). *Tagebücher, Briefe, Erinnerungen*. F.A. Brockhaus, Wiesbaden. [BP]
- WEGENER, K. (1933). *Geschichte der Expedition [Deutsche Grönland-Expedition Alfred Wegener] Mit Beiträgen über Einzelergebnisse von den Mitgliedern der Expedition*. F.A. Brockhaus, Leipzig. [AWI]
- WEGENER, K. (ed.) (1933–40). *Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Grönland-Expedition Alfred Wegeners in den Jahren 1929 und 1930/31*. F.A. Brockhaus, Leipzig, 7 vols. [AWI]
- WEGENER, K. y SCHMIDT-OTT, F. (1933). Einiges aus den wissenschaftlichen Ergebnissen der Deutschen Grönland-Expedition Alfred Wegener. *Naturwissenschaften*, 21(5–7), 111–115.
- WEIZSÄCKER, C.F. von (1944). Über die Entstehung des Planetensystems. *Zeitung der Astrophysik*, 22, 319–355.
- WEIZSÄCKER, C.F. von (1946). Über die Entstehung des Planetensystems. *Naturwissenschaften*, 33(1), 8–14.
- WESSON, P.S. (1970). The position against continental drift. *Quarterly Journal of the Royal astronomical Society*, 11(4), 312–340.
- WESSON, P.S. (1972). Objections to continental drift and plate tectonics. *Journal of Geology*, 80(2), 185–197.
- WESTPHAL, F. (1952). *Station Eismitte; Alfred Wegeners letzte Grönlandexpedition*. Ensslin & Laiblin, Reutlingen. [AWI]
- WETTSTEIN, H. (1880). *Die Strömungen des Festen, Flüssigen und Gasförmigen und ihre Bedeutung für Geologie, Astronomie, Klimatologie und Meteorologie*. Wurster, Zurich. [BL]
- WEYMAN, D. (1984). *Tectonic processes*. George Allen & Unwin, Londres (2ª impresión).
- WHEWELL, W. (1837). *History of inductive sciences*. J.W. Parker, Londres, vol. 3. [BL]
- WHISTON, W. (1696). *A new theory of the earth*. B. Tooke, Londres [reed. en Arno Press, Nueva York (1978)].

- WILCOX, R.E. (1999). The idea of magma mixing: History of a struggle for acceptance. *Journal of Geology*, 107(4), 421–432.
- WILLIAMS, W.F. (ed.) (2000). *Encyclopedia of pseudoscience*. Facts on File, Nueva York.
- WILLIS, B. (1910). Principles of palaeogeography. *Science*, 31(790), 241–260.
- WILLIS, B. (1932). Isthmian links. *Geological Society of America Bulletin*, 43(4), 917–952.
- WILLIS, B. (1944). Continental drift, ein Märchen. *American Journal of Science*, 242(9), 509–513.
- WILSON, J.T. (1951). On the growth of continents. *Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania for the Year 1950*, 85, 85–111.
- WILSON, J.T. (1954). The development and structure of the crust. En: Kuiper, G.P. (ed.). *The Earth as a planet*. University of Chicago Press, Chicago, p. 138–214.
- WILSON, J. T. (1963a). Continental drift. *Scientific American*, 208(4), 86–100 [existe trad. castellana en: Wilson (1972), p. 45–60].
- WILSON, J.T. (1963b). Hypothesis of Earth's behaviour. *Nature*, 198(4884), 925–929.
- WILSON, J.T. (1963). ¿Marchan los continentes a la deriva? *El Correo de la Unesco*, XVI(10), 4–11.
- WILSON, J.T. (1963c). Movement of continents. *Symposium on the Upper Mantle Project*, XIII General Assembly of IUGC, Berkeley (agosto/1963). Publicado en: *ICSU Review of World Science*, 6, 84–91 (1964).
- WILSON, J.T. (1965). A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature*, 207(4995), 343–347 [reproducido en: Cox (1973)].
- WILSON, J.T. (1966). Did the Atlantic close and then re-open? *Nature*, 211(5050), 676–681.
- WILSON, J.T. (1968a). A revolution in the Earth Sciences. *Geotimes*, 13(10), 10–22.
- WILSON, J.T. (1968b). Static or mobile earth: the current scientific revolution. *American Philosophical Society Proceedings*, 112(5), 309–320.
- WILSON, J.T. (ed.) (1969). *Gondwana stratigraphy/Estratigrafía de Gondwana*. I.U.G.S. symposium, Buenos Aires, 11–15 october/1967. UNESCO, París.
- WILSON, J.T. (ed.) (1972). *Deriva continental y tectónica de placas* (Selecciones de *Scientific American*). Blume, Madrid (trad. castellana 1974).
- WILSON, J. T. (1973). Mantle plumes and plate motions. *Tectonophysics*, 19(2), 149–164.
- WILSON, J.T. (1990). Continental drift and a theory of convection. *Terra Nova*, 2(6), 519–538.
- WILSON, J.T. y BURKE, K. (1972). Two types of mountain building. *Nature*,

- 239(5373), 448–449.
- WILSON, M. (1993). Plate-moving mechanisms: Constraints and controversies. *Journal of the Geological Society*, 150(5), 923–926.
- WINCHESTER, S. (2003). *Krakatoa*. Harper Collins, Nueva York.
- WINDLEY, B. (1993). Uniformitarianism today: plate tectonics is the key to the past. *Journal of the Geological Society*, 150(1), 7–19 [reproducido en Le Bas (1995), cap. 2].
- WOERKOM, A.J. J. von (1953). The astronomical theory of climatic changes. En: Shapley, H. (ed.). *Climatic change. Evidence, causes, and effects*. Harvard University Press, Cambridge, p. 147–157.
- WOLFSON, A. (1985). Bird migration and the concept of continental drift. *Earth Sciences History*, 4(2), 182–186.
- WOLCKEN, K. (1955). Alfred Wegener. *Meteoros*, 379–382.
- WOOD, R.M. (1980a). Coming apart at the seams. *New Scientist*, 85, 252–254.
- WOOD, R.M. (1980b). Geology versus dogma: the Russian rift. *New Scientist*, 86, 234–237.
- WOOD, R.M. (1985). *The dark side of the earth*. George Allen & Unwin, Londres.
- WOODWARD, J. (1695). *An essay toward a natural history of the earth*. R. Wilkin, Londres. [BL]
- WOOLFENDEN, W.R. (ed.) (1992). *Emanuel Swedenborg: Scientific and philosophical treatises, 1716–1740*. Swedenborg Scientific Association, Bryn Athyn (PA), 2ª ed.
- WOOLFSON, M.M. (1969). Evolution of solar system. *Reports on Progress in Physics*, 32(2), 135–185.
- WOOLFSON, M.M. (1993). The Solar System. Its origin and evolution. *Quarterly Journal of the Royal astronomical Society*, 34(1), 1–20.
- WOOLFSON, M.M. (2000). *The origin and evolution of the solar system*. Institute of Physics, Bristol.
- WORSLEY, T.R., NANCE, R.D. y MOODY, J.B. (1986). Tectonic cycles and the history of the earth's biochemical and paleoceanographic record. *Paleoceanography*, 1(3), 233–263.
- WRIGHT, J.B. (ed.) (1977). *Mineral deposits, continental drift, and plate tectonics*. Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg (Pa).
- WRIGHT, J.B. (1992). Continental drift and the origin of mineral deposits. En: Nierenberg, W.A. (ed.). *Encyclopedia of Earth System Science*. Academic Press, San Diego, vol. 1, p. 603–608.
- WRIGHT, T. (1750). *An original theory or new hypothesis of the Universe*. American Elsevier, Nueva York (facsimile 1971).

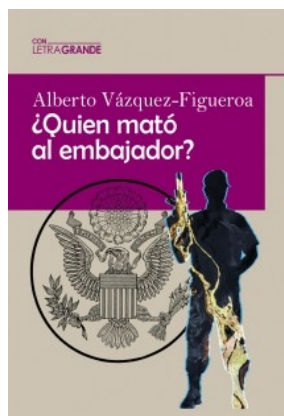
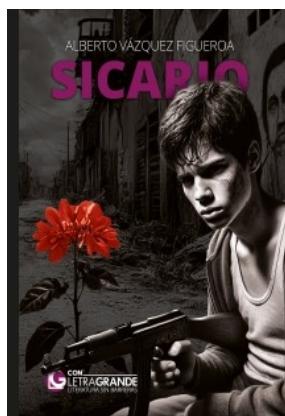
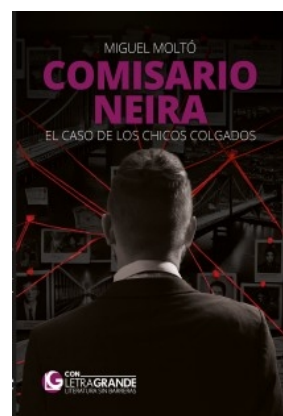
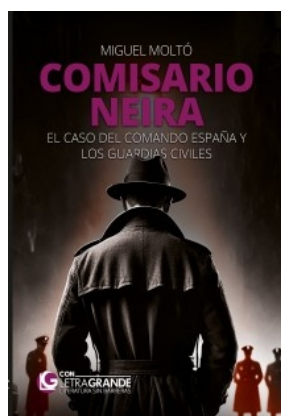
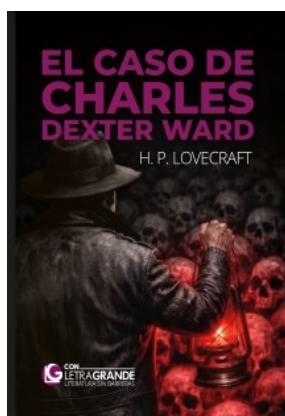
- WRIGHT, W.B. (1923). The Wegener hypothesis. Discussion at the British Association. *Nature*, 111(2375), 30–31.
- WUNDERLICH, H.G. (1962). 50 Jahre Kontinentalverschiebungstheorie– von Wegener bis Runcorn. *Geologische Rundschau*, 52(1), 504–513.
- WUTZKE, U. (1988a). Alfred Wegener. Kommentiertes Verzeichnis der schriftlichen Dokumente seines Lebens und Wirkens. *Berichte zur Polarforschung*, 288, 1–144.
- WUTZKE, U. (1988b). *Der Forscher von der Friedrichsgracht – Leben und Leistung Alfred Wegeners*. F.A. Brockhaus, Leipzig.
- WUTZKE, U. (1997). *Durch die weisse Wüste. Leben und Leistungen des Grönlandforschers und Entdeckers der Kontinentaldrift Alfred Wegener*. Perthes, Gotha.
- WUTZKE, U. (1998a). Alfred Wegener. Kommentiertes Verzeichnis der schriftlichen Dokumente seines Lebens und Wirken. *Berichte zur Polarforschung*, 288, 1–154.
- WUTZKE, U. (1998b). Die Gedenktafeln Alfred Wegeners. *Geohistorische Blätter*, 1(1), 23–35.
- WUTZKE, U. (2000a). Alfred Wegener (1880–1930), und die Entwicklung der Vorstellungen über die Entstehung der Erde. Eine Einführung. *Berichte der Geologischen Bundesanstalt*, 51, 76–78.
- WUTZKE, U. (2000b). Die Motorschlitten "Eisbär" und "Schneespätz" am Kammarujuk: 70 Jahre "Deutsche Grönland-Expedition Alfred Wegener". *Geohistorische Blätter*, 3(1), 57–60.
- WYLLIE, P.J. (1971). *The dynamic earth*. J. Wiley, Chichester (NY).
- WYLLIE, P.J. (1976). *The way the world works. An introduction to the new global geology and its revolutionary development*. J. Wiley, Chichester (NY).
- WYSE JACKSON, P.N. (2002). John Joly's paper: "Uranium and Geology" (1908). *Episodes*, 25(4), 258–263.
- YANG, J.Y. y OLDROYD, D. (1989). The introduction and development of continental drift theory and plate tectonics in China: a case study in the transference of scientific ideas from west to east. *Annals of Science*, 46(1), 21–43.
- YANG, J.Y. y OLDROYD, D. (2003). A Chinese geologist, Ma Ting-Ying (1902–1979): From coral growth-rings to global tectonics. *Episodes*, 26, 19–25.
- YOUNG, D.A. (2003). *Mind over magma. The story of igneous petrology*. Princeton University Press, Princeton (NJ).
- YOUNG, T. (1807). *A course of lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*. J. Johnson, Londres. [BL]
- ZACH, F.X. von (1814). *L'attraction des montagnes et ses effets sur les fils à*

plomb ou sur les niveaux des instrumens d'astronomie constatés et déterminés par des observations astronomiques et géodésiques faites en 1810... Aviñón, tomos I y II. [BL]

- ZHANG, Y. (2002). The age and accretion of the Earth. *Earth–Science Reviews*, 59(1), 235–263.
- ZIEGLER, P.A. (1993). Plate–moving mechanisms: their relative importance. *Journal of the Geological Society*, 150(5), 927–940.
- ZILSEL, E. (1942). The sociological roots of science. *American Journal of Sociology*, 47(4), 544–562.
- ZIMAN, J.M. (1968). *El conocimiento público. Un ensayo sobre la dimensión social de la ciencia*. Fondo de Cultura Económica, México (trad. castellana 1972).
- ZIMAN, J.M. (2000). Are debatable scientific questions debatable? *Social Epistemology*, 14(2–3), 187–199.
- ZONENSHAIN, L.P., KUZMIN, M.I., PAGE, B.M., HARBERT, W. y KAZMIN, V.G. (eds.) (1992). *Paleogeodynamics: The plate tectonic evolution of the earth*. American Geophysical Union, Washington (DC) (trad. inglesa 1997).

¿Conoces nuestro catálogo de libros con letra grande?

Están editados con una letra superior a la habitual para que todos podamos **leer sin forzar ni cansar la vista.**



Consulta **AQUI** todo el catálogo completo.

Puedes escribirnos a pedidos@edicionesletragrande.com