

EL ORIGEN DE LOS CONTINENTES^[1,2]

POR EL DR. ALFRED WEGENER, MARBURGO

TRADUCCIÓN CASTELLANA Y [NOTAS] DE CÁNDIDO MANUEL GARCÍA CRUZ

[185]^[3] En las páginas que siguen se hará un primer intento provisional de interpretar los principales caracteres de la superficie terrestre, es decir, los continentes y las cuencas oceánicas, mediante un principio genético global, el principio de movilidad horizontal de los bloques continentales. Donde teníamos antiguas conexiones de tierra firme^[4] que se hundían en la profundidad de los océanos, aceptaremos ahora la ruptura y separación^[5] de los témpanos continentales.^[6] Así, la imagen que obtenemos de la naturaleza de la corteza terrestre es nueva y en cierto sentido paradójica, pero como se mostrará no carece de fundamento físico. Por otro lado, las numerosas simplificaciones^[7] y las sorprendentes interrelaciones solo se hacen patentes después de un análisis preliminar de los principales resultados geológicos y geofísicos, y solo por esa razón considero justificado, incluso necesario, reemplazar la vieja hipótesis de los continentes hundidos por una nueva, puesto que parece ser más convincente, y porque su ineficacia se hace ya evidente mediante su antítesis, a saber, la permanencia de los océanos.⁸ A pesar de estar bien fundamentado, considero el nue-

[1] Referencia original: Wegener, A.L. (1912a). *Die Entstehung der Kontinente*. Petermanns Geographische Mitteilungen, 58(4), 185–195. [NT]

2 Debido a mi participación en la expedición danesa a Groenlandia, me veo obligado a posponer el trabajo planificado más desarrollado, y publicar tan solo esta comunicación preliminar por el momento. [NT: Se trata de la expedición dirigida entre 1912–1913 por el explorador danés Jens Peter Koch (1870–1928) en la que Wegener participó como meteorólogo; los resultados científicos se encuentran en: Koch, J.P. y Wegener, A.L. (1928). *Wissenschaftliche Ergebnisse der dänischen Expedition nach Dronning Louises-Land und quer über das Inlandeis von Nordgrönland 1912/13 unter Leitung von Hauptmann J.P. Koch*. Meddelelser om Grønland, 75, 1–676].

[3] Los números entre corchetes, en **negrita** y cursiva, indican la paginación (inicio de página) del texto original. [NT]

[4] Como se mostrará a lo largo del texto, la teoría de los puentes terrestres es una de las ideas básicas en contra de la que Wegener va a desarrollar su hipótesis alternativa de la movilidad continental; sobre su origen, véase: García Cruz, C.M. (1998). *Puentes intercontinentales e isostasia: aspectos históricos y didácticos*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 6(33), 211–216; véase, además, la nota [24]. [NT]

[5] Wegener utiliza el término *abtreiben*, que significa derivar en el sentido de proceder, extraer, separar. Lo hemos traducido con esta última acepción, puesto 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 –véase la nota [45], segundo párrafo–), expresión que por otro lado es ajena a Wegener, y que tampoco fue habitual entre los autores germanoparlantes. En alusión a su hipótesis, Wegener siempre habló de desplazamientos continentales (en el original, *Kontinentalverschiebungen*). 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, Brunswick/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. [NT]

[6] El término témpano (Scholle, en alemán), aplicado a la corteza terrestre, había sido utilizado en 1902 por el polifacético misionero alemán Damian Kreichgauer SVD (1859–1911), en un tratado sobre el papel del ecuador en geología; para este autor, la corteza no era un todo coherente, sino que estaba compuesta por numerosos témpanos en forma de mosaico a modo de balsa flotante; véase: Kreichgauer, D. (1902). *Die Äquatorfrage in der Geologie*. Kaldenkirchen, Steyl, 394 pp. (2ª ed. 1926), II.1, p. 27, II.13, p. 42. [British Library, Londres]. Precisamente Wegener, en los años siguientes, consideraría a este autor como uno de sus precursores; véanse, por ejemplo: Wegener, A.L. (1922). La génesis de los continentes y océanos. *Biblioteca Revista de Occidente, Madrid* (trad. castellana 1924 de la 3ª edición alemana), p. 17; Wegener, A.L. (1929). El origen de los continentes y océanos. *Ed. Pirámide, Madrid* (trad. castellana 1983 de la 4ª edición alemana), p. 14. [NT]

[7] Wegener alude aquí –y también más adelante, pp. [187] y [188]– al Principio de Parsimonia en favor de su hipótesis, en tanto que esta es más simple que otros modelos sobre el funcionamiento del planeta, y consecuentemente es capaz de prescindir de ciertos presupuestos innecesarios, tal y como irá exponiendo a lo largo del texto. En las décadas siguientes, algunos adversarios de Wegener recurrirían también a este principio metodológico en contra del moviismo continental. [NT]

8 Böse, E. (1910). Die Erdbeben. En: Schoenichen, W. (ed.). *Die Natur (Eine Sammlung naturwissenschaftlicher Monographien)*. A.W. Zwickfeldt, Osterwieck–Harz, vol. 7, p. 16 (nota), caracteriza la situación actual con las palabras: «...la teoría de la contracción ya no se acepta plenamente y por el momento no se encuentra otra que pueda reemplazarla por completo y que explique todos los fenómenos». [NT: Emil Böse (1868–1927), geólogo germano–mexicano].

vo principio como una hipótesis de trabajo^[9] y me gustaría que se viera como tal, al menos hasta que sea posible probar por posicionamientos astronómicos con una precisión indudable que los desplazamientos horizontales continúan en la actualidad. Además, no es superfluo señalar que esto es un primer esbozo. Un examen más detallado de la hipótesis nos enseñará probablemente que es necesario modificarla en muchos aspectos.^[10]

En el primer capítulo, y mediante observaciones geofísicas y geológicas generales, se discutirá la cuestión de si es o no posible concebir importantes desplazamientos horizontales de témpanos individuales para la corteza aparentemente rígida de la Tierra, y cómo podrían producirse. El siguiente capítulo proporciona un primer intento modesto de rastrear las fracturas del pasado y los desplazamientos de los bloques continentales durante la historia de la Tierra, y sacar a la luz su relación con el origen de las principales cadenas montañosas y con el desplazamiento del polo. En el tercer capítulo, por último, se enumerarán brevemente las posiciones astronómicas que son capaces de revelar que los desplazamientos continúan y son observables en la actualidad, y se intentará interpretar las fluctuaciones del polo.

Antes de la exposición, comenzaré con unas breves observaciones históricas. Existe una hipótesis muy común actualmente en Inglaterra, expresada principalmente por O. Fisher en su obra *Physics of the Earth's Crust*,^[11] según la cual el océano Pacífico representa la huella de una depresión anterior más profunda de la que se originó la Luna con su separación. No podemos ocuparnos aquí de esta hipótesis, que está basada en la investigación de G.H. Darwin^[12] sobre la evolución de la Luna, y también parcialmente en el famoso estudio de Poincaré^[13] sobre la figura de equilibrio de rotación de los cuerpos celestes, puesto que probablemente se

[9] Wegener plantea su idea como una hipótesis de trabajo en el sentido de estimular el estudio y la investigación tendientes a una mejor comprensión de la dinámica terrestre. Sin embargo, en los años siguientes, una de las críticas más ortodoxas y radicales a la teoría de los desplazamientos la consideraba como un excelente ejemplo de lo que no debería ser precisamente una hipótesis de trabajo; véase: Semper, M. (1917). *Was ist eine Arbeitshypothese?* Zentralblatt für Mineralogie, Geologie, und Paläontologie, 1917, 146–163. Sobre la metodología en las Ciencias de la Tierra, véanse, por ejemplo, los trabajos ya clásicos del geólogo norteamericano Thomas Chrowder Chamberlin (1843–1928), que en gran medida constituyeron la base de la crítica a Wegener: Chamberlin, T.C. (1890). *The method of multiple working hypotheses*. Science, 15(366), 92–96 [reimpreso en varias ocasiones: 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. (1904). *The methods of the Earth-Sciences*. Popular Science Monthly, LXVI, 66–75; véanse, además: Mackin, J.H. (1963). *Métodos de investigación racionales y empíricos en la Geología*. En: Albritton, C.C., Jr. (ed.). *Filosofía de la Geología*. CECSA, México (trad. castellana 1970), pp. 173–207; Pyne, S.J. (1978). *Methodologies for Geology: G.S. Gilbert and T.C. Chamberlin*. Isis, 69(3), 413–424; Le Grand, H.E. (1986). *Steady as rock: Methodology and moving continents*. En: Schuster, J.A. y Yeo, R.R. (eds.). *The Politics and rhetoric of scientific method: historical studies*. D. Reidel, Dordrecht, pp. 97–138; Baker, V. (1999). *The methodological beliefs of geologists*. Earth Sciences History, 18(2), 321–335.

[10] La valoración que hace Wegener de su propia hipótesis en las últimas frases de este párrafo, y más adelante, en el primero de la segunda parte –p. [253]–, constituye una muestra de esa modestia y humildad que caracterizaba la personalidad del científico alemán, tal y como destacó en su obituario el físico y sismólogo suizo Hans Benndorf (1870–1953), amigo y colega suyo en la universidad de Graz, y su primer biógrafo; véase: Benndorf, H. (1931). *Alfred Wegener*. Gerlands Beiträge zur Geophysik, 31(4), 337–377. [NT]

[11] Fisher, O. (1889). *Physics of the Earth's Crust*. Macmillan, Londres (2ª edición ampliada), cap. xxv, pp. 336–341 (este cap. no aparece en la 1ª edición/1881); sobre las ideas de este matemático y geólogo británico, Rvdo. Osmond Fisher (1817–1914), en relación con el origen de la Luna, véanse también: Fisher, O. (1882). *On the physical cause of the ocean basins*. Nature, 25(637), 243–244; Fisher, O. (1892). *Hypothesis of a liquid condition of the Earth's interior considered in connexion with Professor Darwin's theory of the genesis of the Moon*. Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 7, 335–348. Por otro lado, resulta sorprendente que la obra mencionada no fuera valorada adecuadamente en su época, incluido por el propio Wegener, puesto que contenía ideas fundamentales como las corrientes convectivas (véase nota 33), la isostasia y la dinámica cortical, entre otras, que hacen de su autor uno de los antecedentes del moviismo geológico; para un análisis detallado al respecto, véase: García Cruz, C.M. (2003a). *Más allá de la geografía especulativa: Orígenes de la deriva continental*. Lull, Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, 26, 121–145. [NT]

[12] Wegener hace alusión aquí a los distintos trabajos que el astrónomo y matemático británico George Howard Darwin (1845–1912) realizó sobre la naturaleza y el origen de la Luna; véanse, por ejemplo: 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 & Co., San Francisco–Londres (reedición 1962), cap. xviii, pp. 316–333 [probablemente Wegener debió utilizar la edición alemana: Ebbe und Flut sowie Verwandte Erscheinungen im Sonnensystem. B.G. Teubner, Leipzig (trad. alemana 1902), cap. xviii, pp. 286–302]; véase, además, la nota [16]. [NT]

[13] Entre 1885 y 1901, el matemático francés Jules Henri Poincaré (1854–1912) publicó diversos trabajos sobre la figura de equilibrio de rotación de los cuerpos celestes; Wegener se refiere al ensayo: Poincaré, H. (1885). *Sur l'équilibre d'une masse fluide animée d'un mouvement de rotation*. Acta Mathématique, 7(1), 259–380 [reproducido en: Levy, J. (ed.) (1952). *Œuvres de Henri Poincaré*. Gauthier-Villars, París, tomo vii (Mécanique Céleste et Astronomie), pp. 40–140]. [NT]

debe considerar que ha sido refutada por las objeciones de Schwarzschild y Liapunow.¹⁴ Es mencionada aquí porque W.H. Pickering durante la explicación de estas ideas también expresa la opinión de que América se separó de Europa–África en esta ocasión y cambió de posición al ensancharse el Atlántico.¹⁵ La idea de que el continente americano se desgajó del Viejo Mundo ya es expresada aquí de esta forma, y, a mi juicio, debido al extremo paralelismo de sus costas, es correcta, pero situándola en un pasado remoto, fuera de control, y en combinación con una hipótesis obviamente equivocada,^[16] solo tiene interés histórico.

Sin embargo, un trabajo publicado recientemente por F.B. Taylor¹⁷ puede ser considerado como un precursor de la presente idea, aunque ambas se han originado de forma independiente una de la otra.^[18] Taylor supone, como nosotros, desplazamientos horizontales de los continentes en tiempos geológicos bien conocidos, especialmente durante el Terciario, y los asocia con los grandes sistemas de plegamiento de este período. Su principal interés es el desprendimiento de Groenlandia de Norteamérica, basándose en el paralelismo de sus costas. Así, pues, he aquí un segundo lugar de la superficie terrestre para el que se ha expresado nuestra idea. Se supone que para el Atlántico solo una parte considerable de su anchura es el resultado de la traslación de los témpanos americanos, mientras que nosotros entendemos que las costas son casi idénticas a los bordes de la fractura. Tampoco puedo coincidir con Taylor cuando considera la dorsal mesoatlántica una reliquia

14 Rudzki, M.P. (1911). *Physik der Erde*. Tauchnitz, Leipzig, p. 210. [NT: Esta obra (trad. alemana de la original polaca: *Fizyka ziemi*. Polska Akademii Umiejetnosci, Cracovia/1909, 538 pp.) del astrónomo y geofísico polaco Maurycy Pius Rudzki (1862–1916), es de los tratados más importantes de la época, y fue una de las principales fuentes de documentación de la que Wegener tomó muchas de las ideas aceptadas por la comunidad geológica en los primeros años del siglo xx. La cita se refiere a la crítica a la teoría de H. Poincaré sobre la rotación de los sólidos rígidos (nota anterior), realizada por el físico y astrónomo alemán Karl Schwarzschild (1873–1916), y también a su refutación por parte del matemático ruso Aleksandr M. Lyapunov (1857–1918); véanse, por ejemplo: Schwarzschild, K. (1897). *Die Poincarésche Theorie des Gleichgewichts einer homogenen rotierenden Flüssigkeitsmasse*. Neue Annalen der Koeniglichen Sternwarte in Bogenhausen bei Muenchen, 3, 231–299; Lyapunov, A.M. (1897). *New integrable case of the equations of motion of a rigid body in a fluid*. Fortschritte der Mathematik, 25, 1501–1504; Lyapunov, A.M. (1903). *Recherches dans la théorie de la figure des corps célestes*. Zapiski Imperatorskoj Akademii Nauk po Fiziko–Matematicheskomu Otdeleniju, seriya 8, 14(7), 1–37].

15 Pickering, W.H. (1907a). *The place of the origin of the moon: the volcanic problem*. Journal of Geology, 15(1), 23–38; véase, también: Pickering, W.H. (1907b). *Der Ursprungsort des Mondes auf den Erde und das vulkanischen Problem*. Gaea, 43, 385–448. [NT: El primer artículo citado del astrónomo norteamericano William Henry Pickering (1858–1938) también apareció ese mismo año con correcciones en otras dos revistas: Scottish Geographical Journal, 23(10), 523–535 (1907), y Popular Astronomy, 15, 274–287 (1907); Pickering había publicado otros trabajos sobre el mismo tema: Pickering, W.H. (1906). *Lunar and Hawaiian physical features compared*. Memoirs of the American Academy of Arts and Sciences, XIII, 151–179; Pickering, W.H. (1907c). *Studien über die vulkanischen Bildungen Hawaiis und des Mondes*. Gaea, 43, 143–145 y 213; como precursor del moviilismo geológico, véase: García Cruz (2003a), op. cit. (nota [11]).

[16] Wegener se refiere a la mencionada hipótesis de la fisión que relacionaba el origen de la Luna con la formación del océano Pacífico; sobre esta y otras hipótesis en relación con el origen de nuestro satélite, véanse, por ejemplo: Brush, S.G. (1986). *Early history of selenogony*. En: Hartmann, W.K., Phillips, R.J. y Taylor, G.J. (eds.). *Origin of the moon*. Lunar and Planetary Institute, Houston (TX), pp. 3–15; Brush, S.G. (1996). *A history of modern planetary physics*. Vol. III: *Fruitful encounters*. The origin of the solar system and of the moon from Chamberlain to Apollo. Cambridge University Press, Cambridge, part IV, pp. 177–260; Woolfson, M.M. (2000). *The origin and evolution of the solar system*. Institute of Physics Publ., Bristol, cap. 9, pp. 251–293. [NT]

17 Taylor, F.B. (1910). *Bearing of the Tertiary mountain belt on the origin of the earth's plan*. Bulletin of the Geological Society of America, 21, 179–226. [NT: El geógrafo y geólogo norteamericano Frank Bursley Taylor (1860–1938) había adelantado estas ideas en 1898 en un breve ensayo astronómico donde consideraba que, como consecuencia de la captura de la Luna por la Tierra, había aparecido una fuerza mareal que aumentó la velocidad de rotación del planeta: la conjunción de ambas fuerzas, mareal y rotacional, habría provocado el empuje de los continentes hacia el ecuador a partir del polo norte; véase: Taylor, F.B. (1898). *An endogenous planetary system. A study in Astronomy*. Archer Printing Co., Fort Wayne (IN), 40 pp.; un estudio más completo de esta teoría fue presentado diez años después en el encuentro anual de la Geological Society of America, el 29 de diciembre de 1908, en Maryland, y que se publicaría en 1910 en el ya citado boletín de dicha sociedad; de este trabajo se hizo una reseña en la revista alemana Geologisches Zentralblatt (15 de abril de 1911) que sin duda no pasó desapercibida para Wegener. Las ideas geológicas de Taylor lo convierten en el principal antecedente de la teoría de los desplazamientos continentales; véanse: Black, G.W., Jr. (1979). *Frank Bursley Taylor – Forgotten pioneer of continental drift*. Journal of Geological Education, 27, 67–70; Laudan, R. (1985). *Frank Bursley Taylor's theory of continental drift*. Earth Sciences History, 4(2), 118–121; García Cruz (2003a), op. cit. (nota [11]); 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), 38; véase, también, la nota siguiente].

[18] Wegener sostiene aquí, y también en su obra posterior, la independencia de ambas ideas; véanse, por ejemplo: Wegener (1922), op. cit. (nota [6]), p. 18; Wegener (1929), op. cit. (nota [6]), p. 15. Sin embargo, algunos historiadores de la ciencia han planteado una seria duda a favor de Taylor en relación con esto: en una carta personal al editor de Popular Science Monthly escrita el 4 de diciembre de 1931, Taylor afirmaba tener la confianza de que el autor alemán estaba al tanto de su trabajo, algo que Wegener jamás llegó a reconocer; recordemos, por otro lado, que la formación inicial de Wegener era en Astronomía, y pudo haber tenido conocimiento del estudio astronómico de Taylor citado en la nota anterior; véanse: 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 Programs, 12(7), 536; Totten, S.M. (1981). *Frank B. Taylor, plate tectonics, and continental drift*. Journal of Geological Education, 29(5), 212–220; Cohen, I.B. (1985). *Revolución en la ciencia*. Ed. Gedisa, Barcelona (trad. castellana 1989), cap. 29 (preferentemente p. 401, nota 1). [NT]

de la anterior conexión terrestre a pesar de su gran profundidad. Parece ser que Taylor no ha reconocido las enormes consecuencias de unos desplazamientos continentales tan grandes, y puesto que no ha investigado las implicaciones –a pesar de contradecir las opiniones tradicionales–, su sugerencia probablemente se ha tropezado con el escepticismo. Este no era el punto de partida de mi trabajo puesto que, como he dicho, me enteré de ello más tarde.

Comenzaré a continuación mi presentación.

[186]

I. Argumentos geofísicos.

1. *El problema de las plataformas continentales.* El problema de cómo explicar las elevaciones tabulares de los continentes que surgen desde el fondo del océano, es antiguo. Heim había escrito ya en 1878:

«En consecuencia, los continentes aparecen como enormes y vastos cimientos sobre los que se elevan las cadenas montañosas como pequeñas ondulaciones, y constituyen solo 1/500 del volumen... Los movimientos de la corteza, que separan los continentes y los océanos entre sí, son probablemente distintos de los que han arrugado la corteza en las grandes altiplanicies continentales, aunque las fuerzas quizás

no sean diferentes... Creo que hasta que no se hagan observaciones más exactas sobre los cambios continentales del pasado... y hasta que no tengamos medidas más completas del acortamiento promedio para la mayoría de las montañas, *tendremos que esperar para conseguir un progreso sustancial y fidedigno en la comprensión de la relación causal entre las montañas y los continentes así como de sus formas correspondientes*».¹⁹,^[20]

De la Fig. 1²¹ se deduce claramente la existencia de dos niveles preferentes que se corresponden con la profundidad del fondo oceánico y con la superficie continental. Como se sugiere en la figura, se encuentran a unos 4.300 m por debajo y 700 m sobre el nivel del mar. Se ve que las partes de las llanuras continentales, las llamadas plataformas que se hunden en el mar, se encuentran incluso a mayor profundidad. Por lo general, el talud descendente hasta el abismo, que comienza en su borde, no deja lugar a dudas sobre su relación con las plataformas continentales.

Puesto que trataremos aquí globalmente con las llanuras continentales (continentes más plataformas), es necesario liberarnos de la forma tradicional de los litorales, que están afectados por inundaciones superficiales de las plataformas, las «transgresiones». En el mapa de la Lámina I.1 se representa un croquis de los témpanos continentales.²² Por lo general, el contorno submarino a 200 m de profundidad coincide con el borde continental, pero para la plataforma noruega, la de Barents y la de Feroe–Islandia entre otras, Krümmel²³ da profundidades de 200 a 300 m, alcanzando incluso los 500 m en sus márgenes. El esquema cambia ligeramente al incluir las plataformas solo en detalle, en su mayoría próximas a Inglaterra, Siberia septentrional, Indochina y el estrecho de Bering; además, Nueva Guinea parece ahora estar conectada con Australia.

19 Heim, A. (1878). Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe. Schwabe, Basilea, vol. II, pp. 237 y 239. [NT: Esta obra ya clásica sobre los Alpes del geólogo suizo Albert Heim (1849–1937) fue una de las principales fuentes que utilizó Wegener para refutar la teoría de la contracción que, paradójicamente, Heim defendía en ella –véanse notas [28] y [64]–; constituyó asimismo una de las obras de referencia para trabajos posteriores en relación con la deformación de las rocas y el origen de las montañas; véase: Rudzki (1911), op. cit. (nota 14), pp. 245–246; véase, además: Milnes, A.G. (1979). *Albert Heim's general theory of natural rock deformation* (1878). *Geology*, 7, 99–103.]

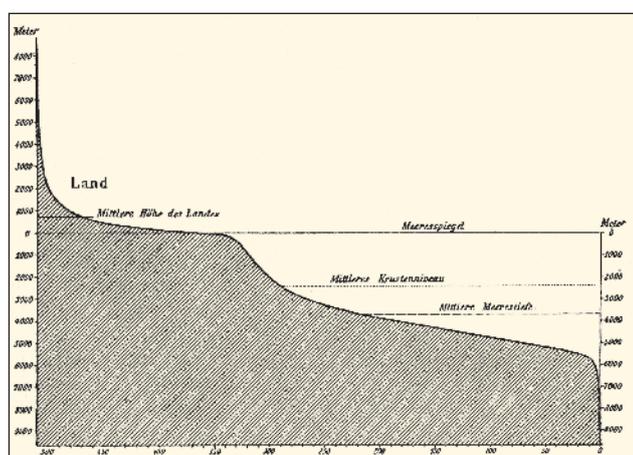
[20] Énfasis en el original; Heim (1878), op. cit. (nota 19), p. 237, también resalta la primera parte del párrafo citado (“En consecuencia... ..del volumen”), aunque no lo recoge aquí Wegener. [NT]

21 Krümmel, O. (1907). *Handbuch der Ozeanographie. J. Engelhorn, Stuttgart, vol I (Die räumlichen, chemischen und physikalischen Verhältnisse des Meeres)*, p. 87. [NT: El oceanógrafo alemán Otto Krümmel (1854–1912) fue uno de los científicos más relevantes de la época; este manual (en dos volúmenes) es la 2ª edición de la obra homónima (1884) de su compatriota y colega Georg Heinrich von Boguslawski (1827–1884), muy ampliada y corregida por Krümmel, obra muy rigurosa y de gran valor didáctico, especialmente por sus abundantes y claras ilustraciones.]

22 Principalmente según Kegel, W. (1910). Die Grösse der Schelfflächen auf Grund einer neuen Berechnung. (Georg-August-Universität, Gotinga, tesis doctoral, 47 pp.), aunque no considera como algo definitivo el contorno submarino de 200 m que la circunda. [NT: Wilhelm Kegel (1883–1971), geofísico germano-brasileño.]

23 Krümmel (1907), op. cit. [nota 21], p. 113.

Fig. 1. Curva hipsométrica de la superficie terrestre (según Krümmel).



Las opiniones actuales sobre el origen de esas curiosas elevaciones tabulares que destacan en la corteza de la Tierra es un raro ejemplo de confusión contradictoria en la ciencia. Aunque en principio se evitará la controversia en este artículo, no podemos dejar de echar una pequeña ojeada crítica a algunas de las ideas^[24] para mostrar lo que perderíamos si las reemplazamos por nuestra hipótesis. En gran medida, los geólogos europeos, en especial, parecen apoyar probablemente un punto de vista quizás útil en otra época, ilustrado drásticamente por una manzana que se seca,^[25] más en su interior que por fuera. En la corteza externa, que es bastante extensa, existe una «tensión de cúpula» que produce su arrugamiento (montañas de plegamiento). Se cree que durante la contracción, el hundimiento de la corteza terrestre es irregular, de tal forma que mientras en unos lugares permanece un «horst», en otros «desciende» un bloque. Los continentes serían tales horsts; conforme continúa el proceso de la contracción los horsts pueden hundirse en los antiguos bloques oceánicos, por lo que puede tener lugar un intercambio entre continentes y océanos.^[26] El principal defensor de esta teoría, Eduard Suess, la ha condensado en una frase: «Asistimos, pues, al desmoronamiento del globo terrestre».²⁷ Pero fue precisamente la consecuencia inexorable con que Suess completó esta idea lo que permitió que se percibiese su debilidad e indirectamente preparó el camino para una interpretación más correcta. Desde que Heim defendiera la hipótesis de la contracción,^[28] los geofísicos han acumulado dudas y argumentos en su contra. Ni siquiera el principio básico: «la Tierra debe estar enfriándose», ha permanecido en apariencia intacto más allá de toda duda, puesto que la investigación sobre el radio ha invertido la pregunta en cuanto a considerar si la temperatura interna de la Tierra no está aumentando.²⁹ Se puede afirmar con toda probabilidad que el interior de la Tierra no se compone de gases fuertemente compresibles, sino de acero-níquel^[30] muy comprimidos y casi sin más posibilidad de seguir comprimiéndose, por lo que

[24] Para una síntesis de las ideas geológicas (entre ellas, la contracción terrestre, el geosinclinal, los puentes continentales, etc.) que predominaban durante esos años en que Wegener propuso su hipótesis, véase: García Cruz, C.M. (2003b). *La filosofía geológica a principios del siglo xx: Marco epistemológico de la deriva continental*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 11(1), 28–37 [NT]

[25] La teoría de la contracción (junto con la de los puentes terrestres) fue sin duda la idea más relevante a la que tuvo que enfrentarse Wegener; además de lo indicado en la nota anterior, véase también: Dana, J.D. (1875). *Manual of Geology*. Ivison, Blakeman, Taylor & Co., Nueva York (2ª edición), pp. 383–391; para una excelente y completa exposición de esa teoría coetánea durante los primeros años de la geología moviñista, véase: Nölke, F. (1924). *Hipótesis geotectónicas. Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Madrid (trad. castellana 1935)*, pp. 130–185; véanse, también: Meunier, S. (1911). *L'évolution des théories géologiques*. F. Alcan Éd., París, cap. iv [existe trad. castellana: *La evolución de las teorías geológicas*. Librería Gutenberg de José Ruiz, Madrid (1911), 383 pp.]; Greene, M.T. (1982). *Geology in the nineteenth century: Changing views of a changing world*. Cornell University Press, Ithaca (NY), cap. 10; Oreskes, N. (1999). *The rejection of continental drift: Theory and method in American earth science*. Oxford University Press, Oxford, caps. 1–2; Wood, R.M. (1985). *The dark side of the earth*. G. Allen & Unwin, Londres, caps. 2–3. [NT]

[26] Esta idea del intercambio entre los dominios continental y oceánico, especialmente en cuanto a su naturaleza cíclica, puede remontarse hasta las culturas de Babilonia y Egipto, donde la alternancia entre la inundación y la desecación del terreno era algo más que una tradición anual. De aquí pasaría al mundo helénico, con Jenófanes de Colofón (c. 570–475 a.C.) como exponente del período científico presocrático, para culminar a finales del siglo XVIII con la Teoría de la Tierra de James Hutton (1726–1797); constituiría además una idea clave dentro de la teoría de la contracción terrestre a la que alude Wegener; véanse, por ejemplo, Kirk, G.S., Raven, J.E. y Schofield, M. (1983). *Los filósofos presocráticos*. Ed. Gredos, Madrid (trad. castellana 1987, 2ª edición), pp. 259–262; Hutton, J. (1788). *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 of Edinburgh, 1, 209–304 [existe trad. castellana en: Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 12(2), 160–205 (2004)]; una ampliación de las ideas huttonianas se encuentra en: Hutton, J. (1795). *Theory of the Earth, with proofs and illustrations*. Cadell, Jr. & Davies-Creech, Londres-Edimburgo, vol. I, parte I, cap. vi, pp. 421–472 [facsimile en Hafner, Nueva York (1959)]. [NT]

27 Suess, E. (1885). *Das Antlitz der Erde*. F. Tempski, Praga, vol. I, p. 778. [NT: La Faz de la Tierra. R. Velasco, Madrid, vol. I (trad. castellana 1923), p. 612]. [NT: Esta obra del geólogo austriaco Eduard Suess (1831–1914) constituyó un hito en el desarrollo de la geología, fue la principal fuente de documentación e información de Wegener, y en sus diversas traducciones, entre ellas al castellano, fue de referencia obligada durante décadas].

[28] La defensa que hizo en 1878 Albert Heim de la hipótesis de la contracción estaba basada en la estimación que él mismo había realizado del acortamiento en la anchura tanto del Jura como de los Alpes; véase: Heim (1878), op. cit. (nota 19), vol. II, pp. 194–226. [NT]

29 Rudzki (1911), op. cit. [nota 14], p. 122. [NT: El descubrimiento de la radioactividad a finales del siglo XIX fue trascendental, entre otros temas geológicos, para una mejor comprensión de la dinámica terrestre, con algunos trabajos contemporáneos de Wegener de los que inicialmente no se hizo eco; véase, por ejemplo: Joly, J. (1909). *Radioactivity and geology. An account of the influence of radioactive energy on terrestrial history*. A. Constable & Co., Londres, preferentemente caps. IV–IX (facsimile en: Adamant Media Co., Boston/2004; reedición 2008); véase, además: 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, Special Publication, Nº 192, pp. 167–184].

[30] Cuando Wegener expresa aquí que el interior de la Tierra está formado por acero-níquel (nickelstahl, en el original) está considerando la idea que se sostenía en esos años de que el planeta presentaba la rigidez del acero, de acuerdo principalmente con los trabajos del físico británico William Thomson (Lord Kelvin) (1824–1907); véase más adelante, pp. [191–192], y notas [109] y [110]. [NT]

parece que la causa indicada no puede seguir siendo suficiente por más tiempo para explicar los grandes pliegues de la corteza terrestre, especialmente su tamaño reconocido correctamente en la estructura de manto plegado.^[31] La gran tensión de cúpula que debería ser capaz de transmitir la contracción a lo largo de un círculo máximo hasta cada uno de sus puntos, ha resultado ser por sí misma físicamente imposible, porque allí las fuerzas moleculares (fuerzas de presión) no son suficientes ya para que un inmenso bloque de 100 km permanezca unido a otro que empuje sobre él. «El bloque rocoso no se movería de su sitio, sino que se rompería en pedazos».³² Por consiguiente, la contracción no puede **[187]** reducirse a un círculo máximo sino que afectaría de forma regular a la totalidad de la superficie terrestre, tal y como han requerido con buenas razones Ampferer,³³ Reyer,³⁴ y otros. Además, es difícil de comprender cómo el mismo proceso de contracción de la Tierra habría conducido en un lugar al arrugamiento y plegamiento, y sin embargo en otra época solo al hundimiento de enormes bloques y a la formación de horsts. La idea de un intercambio de los horsts continentales y las depresiones oceánicas también contradice el hecho de que casi todos los sedimentos encontrados sobre los témpanos continentales son de aguas poco profundas, nunca se han encontrado en los fondos oceánicos sino que solo ocasionalmente han estado inundados por transgresiones superficiales. Los sedimentos que con anterioridad fueron considerados abisales^[35] recientemente han sido reconocidos cada vez con más claridad como someros. Esto es especialmente cierto para la creta como demostró Cayeux.^[36] Igual que

[31] Con el término estructura de manto plegado (Deckfaltenbau, en el original) Wegener se refiere a los mantos de corrimiento, expresión que ya era habitual en la ciencia geológica en los primeros años del siglo xx (nappes de charriage, originalmente en francés). Tiene su origen principalmente en los trabajos de los geólogos suizos Hans Schardt (1858-1931) y Maurice Lugeon (1870-1953) sobre los mantos de recubrimiento en relación a la estructura de los Alpes, y que daría lugar a una interesante controversia geológica durante más de medio siglo, con una serie de implicaciones muy importantes para la geología movilista; véanse las notas [117], [118] y [119]; véanse, además: Brouwer, A. (1981). From Eduard Suess to Alfred Wegener. Geologische Rundschau, 70(1), 33-39; Dal Piaz, G.V. (2001). History of tectonic interpretations of the Alps. Journal of Geodynamics, 32(1-2), 99-114; Greene (1982), op. cit. (nota 25), cap. 8, pp. 191-220; Trümpy, R. (1991). The Glarus Nappes: a controversy of a century ago. En: Müller, D.W., McKenzie, J.A. y Weissert, H. (eds.). Controversies in Modern Geology. Academic Press, Londres, cap. 18, pp. 385-404; Trümpy, R. y Oberhauser, R. (1999). Zu den Beziehungen zwischen österreichischen und schweizerischen Geologen: Die Tektonik der Alpen, 1875-1950. Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 56(1), 13-28; Trümpy, R. (2001). Why plate tectonics was not invented in the Alps. International Journal of Earth Sciences, 90(3), 477-483. [NT]

32 Rudzki (1911), op. cit. [nota 14], p. 244. Loukaschewitsch, J.D. (1911). Sur le mécanisme de l'écorce terrestre et l'origine des continents. Imprimerie Russo-Française, San Petersburgo, p. 7, expresa la idea de la disminución de las fuerzas moleculares en las grandes masas cósmicas con la frase «Les forces molaires l'emportent sur les forces moléculaires». [NT: Las fuerzas molares predominan sobre las fuerzas moleculares (en francés en el original)]. [NT: La segunda referencia que cita Wegener corresponde a un extracto (60 pp.) de la obra Vida inorgánica de la Tierra. Vol. III: Estructura de la Tierra en relación con su historia (en ruso). Tipografía Pervoj Spb. Trudovoj Arteli, San Petersburgo (1911), 629 pp., en la que el físico, geólogo y revolucionario polaco Józef Łukasiewicz (1863-1928) expone sus ideas sobre la constitución del globo, la formación de las montañas y la impermanencia de los continentes, y con la que contribuyó, por otro lado, a la generalización del término litosfera].

33 Ampferer, O. (1906). Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. Jahrbuch der Kaiserlich-königlichen geologischen Reichsanstalt (Wien), 56, 539-622. En la p. 549 califica la presión total realmente como una «barbaridad». [NT: El geólogo austriaco Otto Ampferer (1875-1947) introduce en este trabajo su teoría de las corrientes subcorticales con la que explicaba numerosos procesos tectónicos por medio de corrientes convectivas de origen térmico en las zonas por debajo de la corteza terrestre. La convección térmica había sido descubierta a finales del siglo XVIII por el físico anglo-norteamericano Benjamin Thompson, conde de Rumford (1753-1814); como fenómeno subcortical había sido sugerido en 1839 por el matemático y geólogo británico William Hopkins (1793-1866), y más tarde, en 1858, el naturalista alemán Alexander von Humboldt (1769-1859), y en 1881, Osmond Fisher, habían reconocido su importancia en cuanto a sus aplicaciones geológicas; véanse: Hopkins, W. (1839). Researches in Physical Geology. On the phenomena of precession and nutation, assuming the fluidity of the interior of the earth. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 129, 381-423; Hopkins, W. (1840). Researches in Physical Geology. Second Series: On the phenomena of precession and nutation, assuming the interior of the earth to be a heterogeneous fluid. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 130, 193-208; Hopkins, W. (1842). Researches in Physical Geology. Third Series: On the thickness and constitution of the earth's crust. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 132, 43-55; Humboldt, A. von (1858). Cosmos, ensayo de una descripción física del mundo. Imprenta de Gaspar y Roig, Madrid (trad. castellana 1875), vol. IV, p. 17; Fisher, O. (1881). Physics of the Earth's crust. Macmillan, Londres (1ª edición), caps. I-II; véanse, además, Brown, S.C. (1967). Benjamin Thompson, Count Rumford: Count Rumford and the nature of heat. Pergamon Press, Oxford-Nueva York, cap. 1; Smith, C. (1989). William Hopkins and the shaping of dynamical geology: 1830-1860. British Journal for the History of Science, 22, 27-52; véase, más adelante, nota [133].

34 Reyer, E. (1907). Geologische Prinzipienfragen. W. Engelmann, Leipzig, pp. 140 y ss. [NT: Esta obra del geólogo austriaco Eduard Reyer (1849-1914) aborda las cuestiones más importantes sobre geología que se planteaban a principios del siglo xx; su interés epistemológico ha condicionado la publicación de una versión electrónica inglesa: Questions on geologic principles. Geological Society of America, Boulder (CO) (trad. inglesa 1979), microform publ. 9].

[35] El término abisal que utiliza Wegener aquí (y también más adelante) en relación con los sedimentos, se refiere en su acepción habitual actualmente a las aguas profundas. Sin embargo, este mismo término se aplicaba además a los materiales procedentes del substratum o manto que alcanzaban la corteza terrestre mediante fenómenos magmáticos, así como a aquellas fisuras o cavidades que se suponía comunicaban el manto con la corteza; véase, por ejemplo: Daly, R.A. (1914). Igneous rocks and their origin. McGraw Hill, Nueva York, p. 174. [NT]

[36] Cayeux, L. (1897). Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires. 2. Craie du bassin de Paris.

Steinmann,^[37] algunos consideran todavía a las llamadas radiolaritas del Jurásico Superior y del Cretácico de los Alpes, y a los esquistos rojos con sílex y jaspe, como depósitos «abisales» que proceden de aguas profundas, pero bastaría un mar transgresivo de unos 1.000 m de profundidad.³⁸ Es probable que, por ahora, donde únicamente no existe contradicción es en la interpretación de Harrison y Jukes–Browne^[39] de las arcillas rojas del Terciario de las islas Barbados en las Indias Occidentales, que las consideran equivalentes a las arcillas rojas abisales.⁴⁰ Sin embargo, si comparamos la enorme cantidad de sedimentos con esta escasez, quizás carencia completa, de auténticos sedimentos abisales, es evidente que los continentes nunca han formado parte de las profundidades oceánicas.

No obstante, tendríamos que rechazar esta idea incluso si no existieran todos estos argumentos en contra del desmoronamiento del globo, puesto que contradice las medidas de la gravedad. Si los fondos oceánicos fueran solo continentes hundidos, estarían formados por el mismo material. Sin embargo, las medidas de la gravedad prueban con una lógica ineluctable que bajo los océanos las rocas son más pesadas^[41] que las de los continentes, y no son solo más pesadas: isino que al ser mayor la pesantez que la diferencia de elevación, esto se compensa hasta equilibrar la presión! En las secciones siguientes discutiremos los datos gravimétricos y la hipótesis de la isostasia con más detalle. Quien no se cierre ante los resultados precisos de los primeros y sea imparcial frente a los logros de esta última, apenas puede sostener la hipótesis del colapso. Especialmente los investigadores americanos han hecho hincapié con frecuencia sobre este punto. Pero puesto que el desplazamiento continental horizontal no fue tenido en cuenta, la negación del desmoronamiento y la permanencia de los continentes conduce a la discutible hipótesis de la «permanencia de los océanos», principalmente relacionada con Dana^[42] y Wallace,^[43] y expresada recientemente por Bailey Willis de una forma muy clara pero también inflexible.^[44]

Mémoire de la Société géologique du Nord, 4(2), 207–589 (concretamente, cap. xiv, pp. 522–544). Con anterioridad, el petrólogo y sedimentólogo francés Lucien Cayeux (1864–1944) había adelantado estas ideas en otros dos trabajos: Cayeux, L. (1891). *La craie du Nord de la France et la boue à Globigérines (Note préliminaire)*. Annales de la Société géologique du Nord, 19, 95–118; Cayeux, L. (1891). *La craie du Nord est bien un dépôt terrigène*. Annales de la Société géologique du Nord, 19, 252–260. [NT]

[37] Steinmann, G. (1905). *Geologische Beobachtungen in den Alpen, II. Die Scharfsteinsche Ueberfaltungstheorie und die geologische Bedeutung der Tiefseeabätze und der ophiolithischen Massengesteine*. Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg, 16, 18–67. [Gustav Steinmann (1856–1929), paleontólogo alemán]. [NT]

38 Más adelante se comprenderá por otras razones que probablemente estos océanos han sido parcialmente más profundos en épocas pasadas. [NT: Véanse, más adelante, pp. 305–306].

[39] Jukes–Browne, A.J. y Harrison, J.B. (1892). *The geology of Barbados. Part II. The oceanic deposits*. Quarterly Journal of the Geological Society, London, 48, 170–226. [Alfred John Jukes–Browne (1851–1914), geólogo norteamericano; John Burchmore Harrison (1856–1928), químico y geólogo británico]. [NT]

40 Desde el punto de vista de nuestra hipótesis, actualmente no existe razón para oponerse a la aceptación de que en algunos lugares aislados también se levanta el fondo marino más profundo.

[41] Como fidelidad al texto original, hemos preferido mantener el adjetivo pesado (schwer, en el original) como sinónimo de denso, puesto que Wegener nunca utiliza este último vocablo (dicht, en alemán), a pesar de ser más preciso como concepto físico y más acorde en este caso con la terminología habitual para los materiales geológicos. Hemos conservado asimismo pesantez (Schwere, en el original) teniendo en cuenta que Wegener más adelante emplea la expresión peso específico (spezifische Gewicht, en el original) en lugar de densidad (Dichte, en alemán); véase la nota [75]. [NT]

[42] Sobre las contribuciones del geólogo norteamericano James Dwight Dana (1813–1895) a la teoría de la permanencia de los océanos, véanse, por ejemplo: Dana, J.W. (1846). *On the volcanoes of the moon*. American Journal of Science, 52, 335–355; Dana, J.W. (1847). *Origin of the grand outlines of the earth*. American Journal of Science, 53, 381–398; Dana, J.W. (1890). *Areas of continental progress in North America, and the influence of the conditions of these areas on the work carried forward within them*. Bulletin of the Geological Society of America, 1, 36–48. [NT]

[43] El naturalista británico Alfred Russel Wallace (1823–1913) era partidario de la teoría de la permanencia de los océanos en tanto que su realidad geológica estaba condicionada a la existencia de los puentes intercontinentales para explicar la distribución geográfica de los animales; véase, por ejemplo: Wallace, A.R. (1876). *The geographical distribution of animals, with a study of the relations of living and extinct faunas as elucidating the past changes of the earth's surface*. Harper & Bro., Nueva York, vol. I, cap. III, pp. 35–49; es muy probable que Wegener hubiese consultado la versión alemana de esta obra: *Die geographische Verbreitung der Tiere*. Zahn, Dresde (1876); véase, también: Wallace, A.R. (1892). *The permanence of the great oceanic basins*. Natural Science, 1(6), 418–426. Véanse, por otro lado, las reflexiones del geólogo, arquitecto e ingeniero civil británico Thomas Mellard Reade (1832–1909) en relación con esta teoría: Reade, T.M. (1880). *Continents and oceans*. Geological Magazine, 7(9), 385–391; Reade, T.M. (1903). *The evolution of the earth structure, with a theory of the geomorphic changes*. Longmans, Green & Co., Londres–Nueva York, cap. xxiii, pp. 304–317. [NT]

[44] Willis, B. (1910). *Principles of palaeogeography*. Science, 31(790), 241–260: «The great ocean basins are permanent features of the earth's surface and they have existed, where they now are, with moderate changes of outline, since the waters first gathered» [NT: Las grandes cuencas oceánicas son caracteres permanentes de la superficie terrestre y han existido, donde están actualmente, con pequeños cambios de perfil, desde que se agruparon por primera vez las aguas (en inglés en el original) –p. 243–]. La conclusión es especialmente difícil: «This conclusion appears to place the permanence of ocean basins outside the category of debatable questions» [NT: Esta conclusión parece situar la permanencia de las cuencas oceánicas fuera de la categoría de los problemas discutibles (en inglés en el original) –p. 245–]. [NT: Bailey Willis (1857–1949), geólogo norteamericano, uno de los grandes críticos del movi­lismo continental en las siguientes décadas].

La escuela contraria rechaza esta tesis y tiene buenas razones para ello. Estamos obligados a suponer en períodos geológicos anteriores la existencia de puentes terrestres entre continentes distantes separados por profundos océanos. Centenares de descubrimientos paleontológicos son una prueba en creciente aumento de que las faunas y floras de estos continentes tuvieron un contacto completo y sin restricciones a través de los profundos mares actuales. ¿No son ambas ideas, tanto la permanencia de los océanos como el colapso de la Tierra, inaceptables?^[45] El intento de evitar la permanencia de los océanos mediante la suposición de cadenas de islas, o de rodeos solo a través de regiones aún inexploradas actualmente en lugar de auténticos puentes terrestres, es tan insatisfactorio que no necesitamos tratar más sobre ello.

Así, pues, estas dos ideas opuestas no se pueden reconciliar. Ambas escuelas tienen argumentos válidos e impecables, pero sacan conclusiones inaceptables. Intentaré mostrar también que los postulados correctos de ambas son satisfechos completamente y de una forma sencilla por la hipótesis de la fractura y el desplazamiento horizontal de los continentes.

2. *Las medidas de la gravedad.* Puesto que el agua del océano no es ni la mitad de pesada que una inmensa capa equivalente de roca, debería esperarse que la gravedad en los océanos fuese considerablemente más pequeña que en los continentes. Se sabe desde hace tiempo que esto no es así, pero más sorprendente es que se observa casi el mismo valor de la gravedad en todas partes. Las observaciones más antiguas hechas con un péndulo en islas, así como las de Scott-Hansen en el mar polar durante la Expedición «Fram» (1893-1896),^[46] sufren en parte la perturbación debido a la influencia de las islas, y parcialmente por las dificultades e inexactitudes de la observación; no obstante, este método de medida de la longitud de un péndulo de segundos no es viable a bordo puesto que requiere un soporte sólido. Para obtener valores adecuados, Hecker usó otro método, propuesto por Mohn^[47] que, aunque es diez veces más inexacto, es incluso bastante satisfactorio para este propósito: simultáneamente se leyó el barómetro de mercurio y el «hipsómetro» (termómetro de ebullición). A partir de una medida segura del punto de ebullición del agua se obtiene la presión atmosférica directamente, mientras que el barómetro de mercurio da los valores gravimétricos en relación con la columna de mercurio, cuya longitud varía también con la gravedad. La diferencia que resulta entre ambos está causada por la desviación del valor normal de la gravedad y así puede usarse para su determinación. Mediante estas observaciones, **[188]** llevadas a cabo por Hecker en 1901 en una travesía desde Lisboa hasta Río de Janeiro, y en 1904/1905 en otro viaje a través del Mediterráneo hasta San Francisco pasando por Australia y regresando luego a Yokohama,⁴⁸ se eliminaron las objeciones previas y se estableció definitivamente que no existe el déficit esperado de la fuerza de la gravedad en los océanos.

[45] Una de las primeras críticas a la permanencia de las cuencas oceánicas fue realizada por el naturalista británico Edward Forbes (1815-1854) a mediados del siglo XIX, y varias décadas más tarde también las recibiría de Suess; véanse: Forbes, E. (1846). *On the connection 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 of Great Britain, 1, 336-432 (especialmente, pp. 398-403); Suess, E. (1893). *Are great ocean depths permanent?* Natural Science, 2(13), 180-187 [este último artículo es prácticamente una réplica a Wallace (1892), op. cit. (nota [43])]; Suess, E. (1895). *Note sur l'histoire des océans.* Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, Paris, 121(19), 1113-1116.

Por otro lado, el término deriva (drift), que utiliza Forbes en su trabajo, se refiere tanto al fenómeno (asociado generalmente con el glaciario) como a los materiales (arena, grava, arcillas, bloques, cantos) transportados en el interior de los continentes desde grandes altitudes y depositados sin estratificación alguna; véanse, por ejemplo: Dana (1875). op. cit. (nota [25]), pp. 527-542; Upham, W. (1894). *British drift theories.* American Geologist, 13(5), 275-279. [NT]

[46] Esta expedición estuvo dirigida por el naturalista y explorador noruego Fridtjof Nansen (1861-1930), a bordo del navío «Fram», diseñado por el propio Nansen especialmente para las travesías polares. Fue una de las más importantes hazañas árticas de finales del siglo XIX, y a lo largo de tres años, a pesar de multitud de contratiempos, se desarrollaron importantes investigaciones que abarcaron campos muy diversos, como la geología, meteorología, astronomía, oceanografía, y geofísica, y entre estas las observaciones gravimétricas llevadas a cabo por el teniente de navío noruego Sigurd Scott-Hansen (1868-1937) que cita Wegener; véanse: Nansen, F. (1897). *Farthest north, being the record of a voyage of exploration of the ship «Fram» 1893-96.* A. Constable, Westminster, 2 vols., 510+671 pp. (reedición en Skyhorse, Nueva York, 2008, vii+679 pp.); Nansen, F. (ed.) (1900-1906). *The Norwegian north polar expedition, 1893-1896; scientific results.* Longmans, Green & Co., Londres-Nueva York, J. Dybwad, Christiania, 6 vols; véase también: Huntford, R. (1997). *Nansen: the explorer as hero.* Duckworth, Londres, xiv+610 pp. (preferentemente 3ª parte, pp. 167-460). [NT]

[47] Mohn, H. (1899). *Das Hypsometer als Luftdruckmesser und seine Anwendung zur bestimmung der Schwerekorrektion.* Christiania, Skrifter Videnskabselskabets Mathematisk-Naturvidenskafte, Klasse I, N° 2, 69 pp. La descripción de los instrumentos utilizados por el geofísico alemán Henryk Mohn (1835-1916) realizada por el sismólogo alemán Oskar Hecker (1864-1938) puede verse en: Hecker, O. (1910). *Bestimmung der Schwerkraft auf dem Schwarzen Meere und, an dessen Kuste sowie neue Ausgleichung der Schwerkraftmessungen auf dem Atlantischen, Indischen, und Groszen Ozean.* Zentralbureau der Internationalen Erdmessung, Veroffentlichungen Berlin, N.F., Nr. 20; véase, además, la nota siguiente. [NT]

48 Hecker, O. (1903). *Bestimmung der Schwerkraft auf dem atlantischen Ozean sowie in Rio de Janeiro, Lissabon und Madrid.* Veröffentlichung des könig-preussischen geodätischen Institues, Neue Folge, N° 11, 137 pp.; Hecker, O. (1908). *Bestimmung der Schwerkraft auf dem Indischen und Grossen Ozean und deren Küsten sowie erdmagnetische Messungen.* Veröffentlichung des könig-preussischen geodätischen Institues, Neue Folge, N° 16, 233 pp.

La única explicación adecuada, realizada con anterioridad a las travesías de Hecker por Th. Fischer,^[49] Faye,^[50] Helmert^[51] y otros, es que bajo los océanos la Tierra está constituida por un material más pesado que bajo los continentes. Esto es convincente debido a la elevada presión de unas 400 atmósferas que prevalece en las profundidades oceánicas y que comprime las rocas. Asimismo la diferencia de temperatura (en razón de unos 0° C en el fondo oceánico frente a una temperatura media de 15° C en la superficie) actuará en la misma dirección. Sin embargo, si se consideran las propiedades físicas de las rocas que podemos medir en el laboratorio, se ve de inmediato que solo un pequeño porcentaje de la observación puede ser explicado de esta manera, dicho de otra forma, estos efectos pueden ser omitidos. Así, pues, estamos obligados a suponer un material más pesado bajo los océanos, y también químicamente diferente, que bajo los continentes. La cuestión es dónde se encuentra el límite entre ellos.

La idea más común actualmente es la que desarrolló Airy^[52] en el año 1855, retomada con posterioridad por Stokes^[53] y otros, y perfeccionada recientemente por J. Loukaschewitsch.⁵⁴ Sobre un magma^[55] pesado flotaría una litosfera^[56] más ligera, que es gruesa bajo los continentes y delgada bajo los océanos. Puesto que esta parte más delgada no penetra tan profundo en el magma, este último está más próximo al observador en el océano que en el continente y compensa así el déficit de carga del océano por su mayor peso. Es más, los resultados de las medidas de la gravedad se pueden explicar de esta forma, pero existen otras posibilidades equivalentes. No nos ocuparemos de la teoría de la litosfera continua,^[57] que cubre toda la Tierra; solo hacemos constar que

[49] Fischer, T. (1878). *Küstenveränderungen im Mittelmeergebiete*. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, *xiii*, 151–162. [Theobald Fischer (1846–1910), geógrafo alemán]. [NT]

[50] Faye, H. (1880). *Sur la réduction des observations du pendule au niveau de la mer*. *Compte Rendus de l'Académie des Sciences*, *90*, 1443–1447. [Hervé Faye (1814–1902), astrónomo francés]. [NT]

[51] Helmert, F.R. (1884). *Die Mathematischen und Physikalischen Theorien der höheren Geodäsie*. B.G. Teubner, Leipzig, vol. II (Physikalischen Theorien), pp. 472 y ss. (reedición en Minerva, Fráncfort del Meno, 1961). Esta obra del geodesta alemán Friedrich Robert Helmert (1843–1917) constituyó un punto de partida en la modernización de la geodesia. [NT]

[52] Se trata del modelo de equilibrio isostático elaborado por el astrónomo británico George Bidell Airy (1801–1892), opuesto al modelo del matemático y geofísico británico Rvdo. John Henry Pratt (1809–1871) (véase nota [58]), ambos desarrollados simultáneamente y de forma independiente; véase: 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; véase además: Oreskes (1999), op. cit. (nota [25]), cap. 2, pp. 23–48; Watts, A.B. (2001). *Isostasy and flexure of the lithosphere*. Cambridge University Press, Cambridge–Nueva York, cap. 1, pp. 1–47. Por otro lado, en los años siguientes, Wegener (1929), op. cit. (nota [6]), p. 47, sugeriría que el modelo de Airy se ajustaba mejor a las cadenas montañosas, mientras que el de Pratt era válido para la transición hacia los fondos oceánicos. [NT]

[53] Wegener hace referencia a los trabajos del matemático y físico británico George Gabriel Stokes (1818–1903) sobre hidrodinámica que se publicaron entre 1880 y 1905 dentro de la recopilación de sus artículos físico-matemáticos; véase: Larmor, J. (ed.) (1880–1905). *Mathematical and Physical Papers*, by G.G. Stokes. Cambridge University Press, Cambridge, 5 vols., 1.857 pp. (reedición en Johnson Repr. Co., Nueva York, 1966). Sin embargo, los estudios de Stokes en este sentido son en realidad anteriores al citado de Airy (1855); véanse, entre ellos: Stokes, G.G. (1845). *On the theories of internal friction of fluids in motion*. *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, *8*, 287–305 [en Larmor (1880), op. cit. (esta nota), vol. I, pp. 75–129]; Stokes, G.G. (1846). *Report on recent researches in hydrodynamics*. Report of the British Association, part I, 1–20 [en Larmor (1880), op. cit. (esta nota), vol. I, pp. 157–187]; Stokes, G.G. (1851). *On the effect of the internal friction of fluids on the motion of pendulums*. *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, *9*(2), 8–106 [en Larmor (1901), vol. III, op. cit. (esta nota), pp. 1–141]. [NT]

54 Loukaschewitsch, J. (1911). *Sur le mécanisme de l'écorce terrestre et l'origine des continents*. Imprimerie Russo-Française, San Petersburgo, 60 pp.

[55] El magma, además del significado habitual de lava subterránea, es decir, el material fundido situado dentro o bajo la corteza, cuya solidificación daba lugar a las rocas ígneas, hacía referencia también a la masa general del substratum (manto) a una temperatura extremadamente alta, y que podía encontrarse bien en estado líquido o sólido; esta segunda acepción es la que maneja Wegener a lo largo del texto. [NT]

[56] Lejos del significado dinámico que se le daría posteriormente, Wegener utiliza el término litosfera como sinónimo de corteza, la acepción más habitual en esa época. De esta forma, la litosfera representaba la parte sólida de la Tierra separada del aire y del agua, tal y como se venía expresando desde finales del siglo XIX; véase, por ejemplo: Dana, J.D. (1896). *Manual of geology*. American Book Co., Cincinnati (OH) (4ª edición, póstuma), p. 61. En esos mismos años y siguiendo fundamentalmente las ideas de J. Lukaszewicz (véase lo indicado como NT en nota 32) y de los norteamericanos John Fillmore Hayford (1868–1925), ingeniero y geodesta, y Joseph Barrell (1869–1919), geofísico, la litosfera se empezó a considerar como la parte superior de la corteza terrestre, situada por encima del nivel de compensación isostática (tal y como comenta el propio Wegener más adelante, pp. [189]–[190]), en la que existían cavidades y estaba sometida a fenómenos de fracturación; bajo ella yacía otra capa, más plástica, que Barrell denominó astenosfera; véase, más adelante, p. [189], nota [77], y Barrell, J. (1914). *The strength of the Earth's crust*. VI. *Relations of isostatic movements to a sphere of weakness—the asthenosphere*. *Journal of Geology*, *22*(7), 655–683; Barrell, J. (1915). *The strength of the Earth's crust*. VIII. *Physical conditions controlling the nature of the lithosphere and asthenosphere*. Section A: *Relations between rigidity, strength and igneous activity*. *Journal of Geology*, *23*(5), 425–443; véase, además: 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. [NT]

[57] Esta idea de la litosfera continua era ampliamente asumida por la comunidad geológica de la época. Era una consecuencia directa de la teoría laplaciana sobre el origen del sistema solar según la cual la condensación y el enfriamiento progresivo y uniforme de los materiales que constituían la primitiva nebulosa dio lugar al Sol y a los distintos planetas; por este motivo, en

preferimos otra suposición que hasta ahora no ha sido considerada, que también satisface las observaciones gravimétricas y que posee la ventaja de una especial simplicidad. Está ilustrada en la Fig. 2. Los continentes constituyen, a partir de aquí, exclusivamente fragmentos de la litosfera, que se insertan en un material más pesado.

3. *Isostasia*. La circunstancia de que la gravedad en el océano no es solo mayor que la que debería esperarse considerando el déficit de masa existente, sino el hecho de que tiene aproximadamente el mismo valor que sobre los témpanos continentales –aunque con alguna variación– solo puede ser explicado por la aceptación de una presión de equilibrio o «isostasia». Los témpanos continentales más ligeros flotan, en cierto sentido, sobre la masa más pesada, y se adaptan de tal forma que predomina el equilibrio de la presión estática, similar a un iceberg que flota en el agua. Si consideramos ahora dos columnas verticales, una perteneciente a un continente y la otra a un océano, y que ambas alcanzan la superficie de la Tierra o del agua a una profundidad que

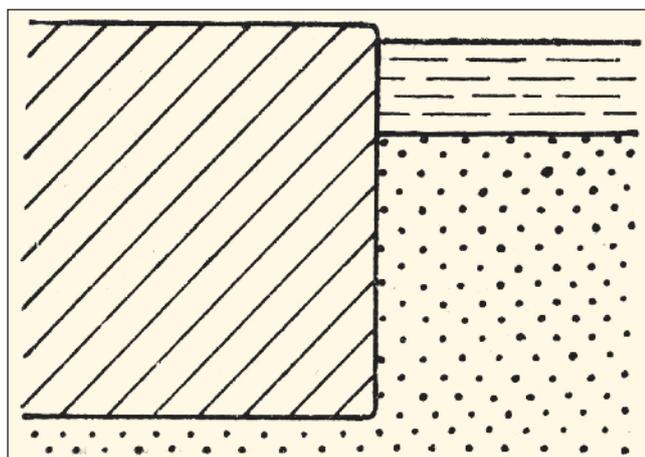


Fig. 2. Esquema de la sección transversal del margen continental.

representa la base del témpano continental, entonces el peso de ambas columnas debe ser el mismo. En algunos niveles la presión es diferente en ellas, pero la diferencia disminuye con la profundidad y desaparece en la base de las columnas. No solo desaparece aquí la diferencia de material, sino también la de la presión. Esta superficie se denomina nivel de compensación.

Desde mediados del siglo pasado se ha escrito mucho sobre la isostasia. Pratt,^[58] a quien hace referencia por lo general la hipótesis (la palabra «isostasia» fue acuñada por Dutton en 1892),^[59] estableció por primera vez en 1855 que el Himalaya no ejerce la atracción sobre la plomada como era de esperar, y a partir de esto, Airy,^[60] Faye,^[61] Helmert^[62] y otros desarrollaron la idea de que las masas montañosas en los continentes están compensadas por una deficiencia de masa en la parte inferior. Tras abandonar la idea de las cavidades subterráneas^[63] por razones geológicas, nos queda-

el caso de la Tierra, la corteza externa tenía que ser, sin lugar a dudas, continua, tanto horizontal como verticalmente, y cubrir consecuentemente todo el planeta; véase: Laplace, P.S. (1796). *Exposición del sistema del mundo*. Ed. Crítica, Barcelona (trad. castellana 2006), pp. 593–603; véase, más adelante –p. [194]–, lo expresado por Wegener sobre la corteza sálica. [NT]

[58] 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. [NT]

[59] En realidad el geólogo norteamericano Clarence Edward Dutton (1841–1912) acuñó el término isostasia (isostacy, en el original inglés; más tarde se adoptaría la ortografía isostasy) en 1882, en un trabajo inédito al que alude en una nota a pie de página en su revisión de Fisher (1881), op. cit. (nota 33), y lo presentó oficialmente en 1889 en una conferencia ante la Philosophical Society de Washington; véanse: 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 (concretamente, p. 289); Dutton, C.E. (1889). *On some of the greater problems of physical geology*. Bulletin of the Washington Philosophical Society, Section B, 11, 51–64 (concretamente, p. 53). [Este último artículo ha sido reimpresso varias veces: Journal of the Washington Academy of Science, 15(15), 359–369 (1925), y Bulletin of the National Research Council, 78, 201–211 (1931); véase, además: Orme, A.R. (2007). Clarence Edward Dutton (1841–1912), soldier, polymath and aesthete. Geological Society, London, Sp. Publ., 287, 271–286]. [NT]

[60] Véase la nota [52]. [NT]

[61] Véase la nota [50]. [NT]

[62] Véase la nota 81. [NT]

[63] La idea de las cavidades subterráneas como una parte esencial no ya de la corteza sino de todo planeta, se remonta más allá de la cultura grecolatina, y puede seguirse en algunos de los Presocráticos, en Platón y en Aristóteles, y en algunos pensadores latinos, como por ejemplo Séneca. Alcanzó su máximo esplendor, quizás como una reinterpretación del Tártaro mitológico, con la obra *Mundus subterraneus* del jesuita alemán Athanasius Kircher (1602–1680); también podemos ver reflejada esta idea en sus aspectos más racionales en Isaac Newton (1642–1727) entre los teóricos de la Tierra, y en los trabajos del polifacético inglés Robert Hooke (1635–1703) así como del filósofo alemán Immanuel Kant (1724–1804), para quienes la causa fundamental de los seísmos estaba relacionada bien con el colapso de estas cavidades, o con el flujo del aire a través de ellas. Prácticamente perduró, con evidentes diferencias y modificaciones sustanciales, en la configuración de la estructura de la corteza terrestre hasta principios del siglo xx; véanse, por ejemplo: Platón. *Fedón*. En: *Diálogos*. Ed. Gredos, Madrid (trad. castellana 1986), vol. III, 108c–113c; Aristóteles. *Los Meteorológicos*. Alianza Ed., Madrid (trad. castellana 1996), I, 351^a, II, 355^b, III, 365^b; Séneca. *Cuestiones Naturales*. CSIC, Madrid (trad. castellana 1979; ed. bilingüe), vol. I, III, 16.4; Kircher, A. (1665). *Mundus subterraneus*. J. Janssonius, Amsterdam (3^a edición 1678), tomo I, libro IV; Hooke, R. (1699). *A discourse of the causes of earthquakes*. N^o 26. En: Drake, E.T. (1996). *Restless genius. Robert Hooke and his earthly thoughts*. Oxford University Press, Nueva York, pp. 358–363; Kant, I. (1756). *Von den Ursachen der Erderschütterungen bei der Gelegenheit des Unglücks, welches die westlichen Länder von Europa gegen das Ende des vorigen Jahres getroffen hat*. En: *Kants Werke. Akademie Textausgabe. W. de Gruyter, Berlín–Nueva York (ed. 1968)*, vol. I, pp. 417–428 (concretamente p. 420) [existe trad. castellana en: Hernández Marcos, M. (2005). *Un texto de Immanuel Kant sobre las causas de los terremotos*. Cuadernos Dieciochescos, 6, 215–224]; Kant, I. (1802). *Physische Geographie*. En: *Kants Werke. Akademie Textausgabe. W. de Gruyter, Berlín–Nueva York (ed. 1968)*, vol. IX, pp. 151–436 (concretamente §49 y §51); García Cruz, C.M. (2005). *La correspondencia entre 1680 y 1681 de Isaac Newton y Thomas Burnet 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. [NT]

mos finalmente con la suposición, expresada por primera vez por Heim,^[64] de que la litosfera más ligera es especialmente pesada bajo las montañas y de esta forma desplaza el magma pesado a mayor profundidad.⁶⁵

Nos llevaría demasiado lejos revisar las controversias sobre la isostasia y su rango de validez.^[66] Basta decir que la compensación isostática de los excesos y deficiencias de masa observadas se encontraron siempre en amplias regiones (continentes, océanos, grandes macizos montañosos, etc.) pero no en montañas sencillas, especialmente en las mesetas, que solo están compensadas por la elasticidad de todo el témpano, de tal forma que en lugar de la columna situada bajo la montaña, toda la balsa –por supuesto en una porción más pequeña– se hunde en el material pesado. También las fosas tectónicas, las profundas fosas oceánicas, y otros fenómenos de naturaleza tectónica aún desconocida, muestran a menudo desviaciones de la isostasia, aunque debe aceptarse para la mayor parte de la corteza terrestre, y hay muy pocos geólogos que todavía ponen objeciones a este descubrimiento.

Para comprender el principio de la isostasia debemos discutir unas cuantas aplicaciones. Si se carga un bloque de hielo y se introduce en el agua a mayor profundidad, un témpano continental también puede hundirse profundamente **[189]** en el pesado magma, y debe elevarse de nuevo si se descarga. El hundimiento lento de los atolones coralinos de los Mares del Sur probablemente puede explicarse de esta forma, como ya reconoció Charles Darwin^[67] y es aceptado por lo general en la actualidad, a pesar de algunas dudas.⁶⁸ Si un continente queda cubierto por una capa de hielo también se hundirá, y al fundirse ésta volverá a ascender, con litorales que marcan la depresión. La parte central, sobre la que la capa de hielo alcanza el espesor máximo,

[64] Heim (1878), op. cit. (nota 19), vol. II, pp. 79–95. Sobre la influencia de estas ideas de Heim en la teoría de Wegener, véase, por ejemplo: Strehlau, J. y Hubmann, B. (2005). *The importance of Albert Heim's pioneering work on rock plasticity for Wegener's theory of continental drift*. En: Kunz–Pirung, M. (ed.). *2nd International Alfred Wegener Symposium, Bremerhaven. Programme and Abstract Volume*. Terra Nostra, 4, 106–107. **[NT]**

[65] No podemos tratar aquí otras explicaciones menos probables como la «expansión» de la masa bajo las montañas, aceptada por Deceke. **[NT: Se refiere a las ideas desarrolladas por el geólogo alemán Wilhelm Deceke (1862–1934) a través de estudios tectónicos y sísmicos en relación con las estructuras montañosas; véanse, por ejemplo: Deceke, W. (1892). Zur Geologie von Unteritalien Betrachtungen über das neapolitanische Erdbeben von 1857. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, 2, 286–330; Deceke, W. (1907). Der geologische Bau der Apenninenhalbinsel und die Schwere-messungen. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, 22, 129–158; Deceke, W. (1908a). Ein Grundgesetz der Gebirgsbildung? Erster Artikel. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, 1, 119–133; Deceke, W. (1908b). Ein Grundgesetz der Gebirgsbildung? Zweiter Artikel. Der Vulkanismus. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, 2(1), 32–48; Deceke, W. (1908c). Ein Grundgesetz der Gebirgsbildung? Dritter Artikel. Der Alpenhogen. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, 2(2), 55–73; Deceke, W. (1911). Zur Morphologie und Tektonik Pommerns. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 63, 157–161.]**

[66] Véanse a este respecto, por ejemplo: Hayford, J.F. (1906). *The geodetic evidence of isostasy, with a consideration of the depth and completeness of the Isostatic compensation and of the bearing of the evidence upon some of the greater problems of geology*. Proceedings of the Washington Academy of Sciences, 8, 25–40; Hayford, J.F. (1911). *The relation of isostasy to Geodesy, Geophysics, and Geology*. Science, N.S., 33, 198–208; véase, además, la nota [79]. **[NT]**

[67] Wegener se refiere a la teoría de la subsidencia del océano Pacífico (y del Índico) como explicación del origen de los arrecifes coralinos, desarrollada por Charles Robert Darwin (1809–1882) fruto de las investigaciones geológicas llevadas a cabo por el naturalista británico durante la expedición del Beagle (1831–1836); véanse: 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*. Proceedings of the Geological Society of London, 2, 552–554; Darwin, C.R. (1842). *The structure and distribution of the coral reefs*. Smith, Elder & Co., Londres, cap. v, pp. 88–118 [de esta obra existe una edición alemana que pudo haber consultado Wegener: Über den Bau und die Verbreitung der Corallen-Riffe. Schweizerbart, Stuttgart (1876, 2ª edición 1899), XIV+231 pp.; también existe edición castellana moderna: La estructura y distribución de los arrecifes de coral. CSIC, Madrid (2006), 270 pp.]; véanse también, además del ya clásico: Geikie, A. (1909). Charles Darwin as geologist. Cambridge University Press, Cambridge, II (concretamente pp. 32–36), otros trabajos más recientes: Herbert, S. (1986). Darwin as a geologist. Scientific American, 241(5), 94–104 [trad. castellana: Darwin geólogo. Investigación y Ciencia, 118, 80–87]; Secord, J.A. (1991). *The discovery of a vocation: Darwin's early geology*. British Journal for the History of Science, 24(2), 133–157; Herbert, S. (2005). Charles Darwin, geologist. Cornell University Press, Ithaca (NY), cap. 7, pp. 232–239; Laporte, L.F. (1996). Darwin the geologist. GSA Today, 6(12), 8–10; Rhodes, F.H.T. (1991). Darwin's search for a theory of the earth: symmetry, simplicity and speculation. British Journal for the History of Science, 24(2), 193–229. **[NT]**

68 Las perforaciones en el atolón de Funafuti encontraron corales incluso hasta una profundidad de 1.114 pies. **[NT: Este valor (340 m) fue obtenido durante la tercera expedición a Funafuti organizada por la Royal Society de Londres en 1898, bajo la dirección del médico y malacólogo australiano Alfred Edmund Finckh (1866–1961); véanse: David, T.W.E. (1904). Narrative of the second and third expedition. En: Bonney, T.G. (ed.). *The atoll of Funafuti, boring into a coral reef and the results*. The Royal Society, Londres, sec. IV, pp. 40–60; David, T.W.E. y Sweet, G. (1904). *The geology of Funafuti*. En: Bonney, T.G. (ed.). *The atoll of Funafuti, boring into a coral reef and the results*. The Royal Society, Londres, sec. V, pp. 61–124; véase, además: MacLeod, R.M. (1988). *Imperial reflections in the Southern Seas: The Funafuti expeditions, 1896–1904*. En: MacLeod, R.M. y Rehbock, P.F. (eds.). *Nature in its greatest extent: Western science in the Pacific*. University of Hawaii Press, Honolulu, pp. 62–82. Estas expediciones también contribuyeron a la confirmación y aceptación de la idea de Darwin sobre la subsidencia de la cuenca pacífica (nota anterior), junto con las investigaciones previas de J.D. Dana durante la Expedición Wilkes a mediados del siglo XIX, aunque inicialmente fue crítico con Darwin; véanse: Dana, J.D. (1853). *On coral reefs and islands*. G.P. Putnam, Nueva York, cap. v; Dana, J.D. (1863). *Methods of study in Natural History*. Ticknor & Fields, Boston (MA), cap. XI [facsimile en Arno Press, Nueva York (1970)].**

experimenta también la mayor depresión; en consecuencia, aquí la mayoría de los litorales se encontrarán más tarde levantados, y no están en horizontal sino inclinados. De esta forma, el «mapa de isobase» de De Geer para la glaciación de la Edad de Hielo^[69] de Escandinavia demuestra la existencia de una depresión de la parte central de al menos 250 m, descendiendo hacia los márgenes.⁷⁰ De Geer encuentra también valores muy similares para el área glacial de Norteamérica.⁷¹ Yo también he podido observar varias veces la inclinación de los litorales en el NE de Groenlandia durante la expedición «Danmark».^[72] Rudzki ha mostrado que a partir de la asunción de la isostasia, estos números conducen a valores muy convincentes para el espesor de los casquetes de hielo, por ejemplo, 933 m para Escandinavia, 1.667 m⁷³ para Norteamérica (asumiendo una depresión de 500 m). Por el contrario, la hipótesis de una deformación meramente elástica (en lugar de la isostasia) proporcionó un valor completamente improbable de 7 km para el espesor del hielo.

Los depósitos sedimentarios deben tener también el mismo efecto que el hielo continental. Veamos un ejemplo: mediante perforaciones, se ha encontrado que el espesor máximo de una morrena de fondo en los glaciares cerca de Hamburgo es superior a 190 m, 160 cerca de Utrecht, 125 en Berlín, 175 en un punto próximo a Rüdersdorf (frente a solo 16 m cerca de Leipzig; como promedio puede aceptarse 100 m). Las morrenas más bajas se encuentran actualmente muy por debajo del nivel del mar. Sin embargo, no hay que aceptar que esto fuese necesariamente así durante su depósito. Osmond Fisher^[74] fue probablemente el primero en reconocer esta consecuencia de la isostasia. Cada depósito conduce a una depresión del bloque de tal forma que la nueva superficie empieza a situarse casi al mismo nivel que el antiguo. No es difícil determinar bajo qué condiciones estará exactamente al mismo nivel, y en qué condiciones a un nivel superior o inferior. Esto depende del peso específico^[75] de los depósitos. Si coincide con el del material situado bajo los océanos, el nivel de superficie permanece constante; si es mayor, la superficie se hunde incluso durante la sedimentación, si es inferior, la superficie asciende. Los sedimentos tienden a ser algo más ligeros que el material continental del que proceden.⁷⁶ Por esta razón, es posible rellenar completamente una depresión sin perturbar la isostasia. Pero puesto que solo es efectiva la diferencia entre la sedimentación y el hundimiento, el espesor de los sedimentos que se requieren a menudo será múltiplo de la profundidad inicial de la depresión. Volveremos sobre esto más adelante.

4. *Espesor de los témpanos continentales.* Continuaremos con una breve discusión sobre lo que conocemos del espesor de los bloques continentales. Hayford intentó calcular este espesor a partir de la desviación de la plomada en Norteamérica; su razonamiento fue el siguiente: determinó por triangulación y

[69] Con este término de Edad de Hielo, tal y como lo utiliza Wegener aquí (Eiszeit, en el original), cuando no se especificaba el período geológico correspondiente, se hacía referencia en realidad al Pleistoceno. [NT]

70 Geer, G.J. de (1896). Om Skandinaviens geografiska utveckling efter istiden. Norstedt, Estocolmo, p. 95; la cifra anterior se refiere a la última edad de hielo; durante la gran era glacial la depresión debió ser incluso mayor. [NT: Gerard Jacob de Geer (1858–1943), geomorfólogo y geocronólogo sueco].

71 Kayser, E. (1909). Lehrbuch der allgemeinen Geologie. F. Enke, Stuttgart (3ª edición), p. 768. [NT: Friedrich Emanuel Kayser (1845–1927), geólogo y paleontólogo alemán].

[72] Esta expedición danesa a Groenlandia entre 1906–1908 fue dirigida por el explorador danés Ludvig Mylius-Erichsen (1872–1907) que pereció durante el desarrollo de la misma en una situación trágica; Wegener formó parte de ella para realizar estudios físicos y meteorológicos; véanse: Wegener, A.L. (1914). Drachen- und Fesselballonaufstiege. Ausgeführt auf der Danmark Expedition 1906–08. Kommissionen for Ledelsen ad de Geologiske och Geografiske Undersøgelser i Grønland, København. Meddelelser om Grønland, 42(1), 1–75; Wegener, A.L. (1914). 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; véanse, además: Ampdrup, G.C. (1913). Report on the Danmark Expedition to the north-east coast of Greenland 1906–1908. Kommissionen for Ledelsen ad de Geologiske och Geografiske Undersøgelser i Grønland, København. Meddelelser om Grønland, 41(1), 1–270; Günzel, H. (1991). Alfred Wegener und sein meteorologisches Tagebuch der Grønland-Expedition 1906–1908. Schriften der Universitätsbibliothek 59, Marburgo. [NT]

73 Los valores numéricos de los que parte Rudzki [NT: Rudzki (1911), op. cit. (nota 14), p. 229] son ligeramente distintos de los que se dan más abajo. A partir de estos (espesor de los bloques continentales 100 km, diferencia de nivel entre los continentes y el fondo oceánico 5 km, profundidad de los océanos 4,3 km, peso específico del agua del mar 1,03), se encuentra fácilmente la siguiente relación: $m/E = 2,9$, o si para E se toma el valor promedio de 0,6: $m/s = 4,8$, donde m es el espesor del hielo, s la depresión determinada a partir de los litorales (ambos en metros), y E el peso específico del hielo. De acuerdo con esto, correspondería un espesor de hielo de 1.200 m para una depresión como la especificada anteriormente de unos 250 m. Deben considerarse también como valores probables de este orden de magnitud los cantos erráticos escandinavos que, por ejemplo, se encuentran en el Harz por encima incluso de los 400 m (es decir, supera en más de 130 m el nivel del antepaís), o en las Riesengebirge unos 550 m sobre el nivel del mar.

[74] Fisher (1881), op. cit. (nota 33), pp. 275 y 278. [NT]

[75] Conservamos la expresión peso específico (spezifische Gewicht, en el original) que utiliza Wegener, aunque es más habitual para los materiales geológicos el término “equivalente” de densidad (Dichte, en alemán) que, por otro lado, no aparece nunca en el texto; recuérdese lo dicho en la nota [41]. [NT]

76 Para el último se supone 2,8 a diferencia de 2,9 para el material oceánico; Rudzki da valores entre 2,1 y 2,8 para calizas, areniscas, pizarras y otros sedimentos, y E. Kayser entre 2,5 y 2,8.

mediante observaciones geodésicas la desviación de la plomada de la verdadera vertical para varios cientos de estaciones en los Estados Unidos.^[77] Luego calculó las desviaciones que se habrían debido a las desigualdades topográficas en la vecindad de las estaciones, a una distancia de unas 2.564 millas, como si no existiera compensación para el exceso o deficiencia de masa observada, y encontró así que la desviación observada no alcanzaba ni por asomo la esperada. Ante todo, se confirmó el principio de la isostasia, puesto que obviamente el relieve superficial está compensado por la distribución subterránea de la masa, bien en su conjunto o solo parcialmente. Hayford aceptó a continuación una compensación completa y mostró que la profundidad de la «superficie de equilibrio», es decir, el límite inferior de la litosfera, se encontraba probablemente a 114 km,^[78] puesto que este valor se correspondía con el mínimo de la media cuadrática. Hayford no consideró la posibilidad más probable de que la compensación de los detalles superficiales individuales no fuese completa, y por ésta y por otras razones, la relevancia de las conclusiones ha sido cuestionada recientemente por Lewis.^[79] No obstante, el resultado pudo dar una idea válida del orden de magnitud. Helmert obtuvo también casi el mismo valor con un método bastante diferente, basándose en las observaciones del péndulo que, como reconoció por primera vez Schiötz,^[80] proporcionan una anomalía característica en los márgenes continentales.⁸¹ La Fig. 3 muestra el curso de esta anomalía según Helmert. Si nos aproximamos a la zona costera continental, **[190]** se encuentra por primera vez que la perturbación positiva alcanza su máximo en la costa, luego decae rápidamente, cambia de signo, alcanza un mínimo donde comienza la llanura del fondo oceánico, y se desvanece de nuevo a mayor distancia de la tierra. Helmert mostró que esta alteración es una consecuencia de los límites bruscos entre el material suboceánico pesado y el bloque continental ligero insertado en él, y que las anomalías observadas en el conjunto de las 51 estaciones costeras se explican mejor para un espesor del témpano de unos 120 km,⁸² cuyo resultado se muestra en la Fig. 3. Este cálculo ha estado también aquí condicionado supuestamente por la isostasia, a pesar de que apenas hay motivos para dudar de la causa.

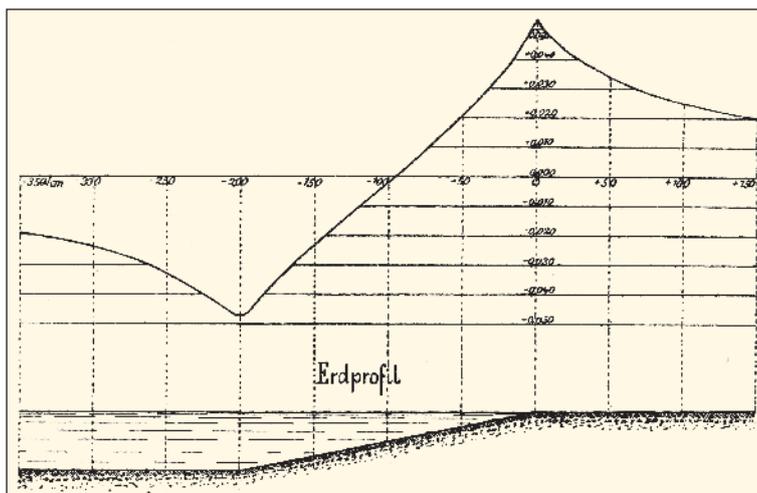


Fig. 3. Anomalía gravimétrica del margen continental (según Helmert).

La concordancia casi completa de los resultados de Hayford y Helmert, que ha sido apoyada por ahora por el reciente trabajo de Kohlschütter^[83] en el Rift del África Oriental, no debe hacernos creer que el resultado es de una gran exactitud. Incluso si pudiéramos considerar las cifras indicadas como promedios exactos, habría que esperar indudablemente valores de hasta 50 km para algunas regiones, y sin embargo de 200 km o más para otros lugares de la Tierra. Por estas mismas razones isostáticas, las variaciones superficiales del nivel del mar se corresponderán con los cambios en el espesor del témpano más ligero.

También la Sismología nos proporciona criterios sobre el grosor de la litosfera. Por supuesto, quizás no hemos aprendido aún lo suficiente para distinguir entre océanos y continentes, y no están claras algunas discrepancias que se encuentran frecuentemente en las capas superficiales. De esta forma, solo es posible determinar el espesor de la corteza terrestre sólida a partir de sus propias vibraciones. Estas oscilaciones de un cierto período solo pueden darse en una parte elástica relativamente delgada de la corteza terrestre

[77] Hayford, J.F. (1909). Geodesy. The figure of the earth and isostasy from measurements in the United States. U.S. Coast and Geodetic Survey, Washington, Special Publ. N^o 8, 178 pp. Este trabajo de Hayford constituyó la investigación más completa hasta la fecha en relación con la isostasia, y contribuyó a la generalización de este término. [NT]

[78] Hayford (1909), op. cit. (nota [77]), pp. 67–73. [NT]

[79] Lewis, H. (1911). The theory of isostasy. Journal of Geology, 19, 603–626; véase, además: Hayford, J.F. (1912). Isostasy, a rejoinder to the article by Harmon Lewis. Journal of Geology, 20, 562–278. [Harmon Lewis (1854–1912), geofísico norteamericano]. [NT]

[80] Schiötz, O.E. (1901). Results of the pendulum observations. En: Nansen, F. (ed.) (1900–1906). The Norwegian North polar expedition, 1893–1896; scientific results. Longmans, Green & Co., Londres–Nueva York; J. Dybwad, Christiania [Oslo], vol. II, parte VIII. [Oskar Emil Schiötz (1846–1925), geofísico y geodesta noruego]. [NT]

[81] Helmert, F.R. (1909). Die Tiefe der Ausgleichsfläche bei der Prattischen Hypothese für das Gleichgewicht der Erdkruste und der Verlauf der Schwerestörung vom Innern der Kontinente und Ozeane nach dem Küsten. Sitzungsberichten der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften, Physikalische–mathematische Klasse, XVIII, 1192–1198.

82 Sin embargo, los valores numéricos de la figura son válidos para un valor redondo de $T = 100$ km, además para una profundidad oceánica de $t = 4$ km, una inclinación de 1:50 y un peso específico de 2,83 de la plataforma continental.

[83] Véase la nota 140. [NT]

aislada del núcleo sólido^[84] por el magma. Wiechert^[85] ha intentado calcular el grosor de la corteza a partir de los períodos más frecuentes observados de las propias vibraciones, y encontró valores por debajo de los 100 km. Benndorf,⁸⁶ sin embargo, considera estos valores demasiado pequeños. También se han usado las reflexiones sísmicas bien conocidas en los límites de las capas, tal como se evidencian en los «tiempos de propagación», aplicadas de una forma muy satisfactoria a mayor profundidad, para inferir el límite inferior de la capa sólida; de esta forma, Mohorovičić ha propuesto la existencia de un límite probable a unos 50 km de profundidad.⁸⁷ Sin embargo, diversas investigaciones posteriores con este método han dado resultados distintos e inciertos, por lo que probablemente se debe esperar para averiguar si dicho método proporciona resultados totalmente fiables.

Finalmente, puede obtenerse un criterio a partir de la profundidad de los focos sísmicos, puesto que de acuerdo con la opinión más común, la mayoría de los terremotos, si no todos, están asociados con fracturas y dislocaciones dentro de la corteza sólida. Desde luego, las determinaciones de la profundidad son en general poco precisas, pero pueden usarse probablemente para evaluar el orden de magnitud. El breve resumen que sigue (según Kayser)^[88] muestra en efecto que todas las profundidades llegan hasta la que debe ser considerada como el límite inferior de los témpanos continentales.

Terremoto	Profundidad del hipocentro en km
Herzogenrath, 22/octubre/1873	1,5
Eger, 26/julio/1903	5
Delmagyar, 2/abril/1907	7-13
Japón, 28/octubre/1891.	7-15,6
Suiza, 7/enero/1889	10-17
Sinjer, 2/julio/1898	51
Alemania Central, 6/marzo/1872	37-75
Laibach, 14/abril/1895	60 (mínimo)
Bengala, 1880	72
Charlston, 31/agosto/1886.	102
India, 12/Junio/1897.	170

Nótese que todos estos datos se refieren a los terremotos continentales; por razones obvias, faltan las observaciones de los terremotos oceánicos que pueden obtenerse a esas profundidades.

Considerando todos los criterios mencionados con anterioridad, podremos usar el valor redondo de 100 km como espesor de los témpanos continentales.

Para ilustrar aún más la importancia relativa, en la Lámina I.2 se da una sección transversal a escala (a lo largo de un círculo máximo) de la Tierra entre Sudamérica y África. Las irregularidades de la superficie terrestre, incluso la gran depresión del Atlántico, son demasiado pequeñas para ser mostradas por la línea gruesa que representa la superficie. Por el contrario, las balsas continentales se observan claramente. Como comparación, la figura también muestra el núcleo de hierro de Wiechert y las principales capas de la atmósfera: es-

[84] A pesar de algunos estudios sismológicos que inducían a pensar en la existencia de un núcleo líquido, al menos externamente, a principios del siglo xx muchos científicos seguían aceptando su estado sólido. Solo en los años siguientes a estos artículos de Wegener se llegaría a confirmar su naturaleza, a lo que contribuyeron los trabajos de diversos sismólogos, entre los que destacaron el irlandés Richard Dixon Oldham (1858-1936), el suizo Ludwig Carl Geiger (1882-1966), y los alemanes Beno Gutenberg (1889-1960) y Emil Wiechert (1861-1928); véanse, por ejemplo: Wiechert, E. (1896). *Über die Beschaffenheit des Erdinnern*. Sitzungsberichte der Physikalisch-ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg in Preussen, 37, 4-5; Wiechert, E. (1897a). *Über die Massenverteilung im Innern der Erde*. Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte, 68, 42-43; Wiechert, E. (1897b). *Über die Massenverteilung im Innern der Erde*. Königliche Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen Nachrichten, Mathematisch-physikalische Klasse, 3, 221-243; Oldham, R.D. (1906). *The constitution of the interior of the Earth, as revealed by earthquakes*. Quarterly Journal of Geological Society of London, 62, 456-475; Geiger, L. y Gutenberg, B. (1911). *Konstitution des Erdinnern, erschlossen aus dem Bodenverrückungsverhältnis der einmal reflektierten zu den direkten Longitudinalwellen*. Physikalische Zeitschrift, 12, 814-818; véanse, además: Brush, S.G. (1979). *Nineteenth-century debates about the inside of the Earth: Solid, liquid or gas?* Annals of science, 36, 225-254; Brush, S.G. (1980). *Discovery of the Earth's core*. American Journal of Physics, 48, 705-724; Brush, S.G. (1982). *Chemical history of the Earth's core*. EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 63, 1185-1186 y 1189. [NT]

[85] Véase la nota anterior. [NT]

86 Benndorf, H. (1908). *Über die physikalische Beschaffenheit des Erdinnern*. Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft, Wien, III, 323-342.

87 Mohorovičić, A. (1910). *Das Beben vom 8. X. 1909*. Jahrbuch des Meteorologischen Observatoriums in Zagreb (Agram) für das Jahr 1909, 9(4), 1-63. [NT: Andrija Mohorovičić (1857-1936), meteorólogo y sismólogo croata].

[88] Kayser (1909), op. cit. (nota 71), p. 136. [NT]

fera de nitrógeno, esfera de hidrógeno, y la hipotética esfera de geocoronio;^[89] la zona de nubes (troposfera) es demasiado delgada para poder ser representada.

5. *Material*. Es necesario considerar en primer lugar qué porción de los sedimentos intervienen en la estructura de los continentes. Según Haug,⁹⁰ los geólogos americanos estiman **[191]** el espesor de los sedimentos paleozoicos de los Apalaches en 40.000 pies. Suess expresa la duda «de que debe sospecharse una sobreestimación para algunas de las cifras que se repiten con mayor frecuencia en los espesores medidos de los sedimentos clásticos, en especial los de edad carbonífera»,⁹¹ puesto que se depositaron parcialmente no encima, sino uno al lado del otro. Diener^[92] ha estimado los depósitos en el centro del Himalaya en casi solo 900–1.400 pies. No obstante, los espesores son a menudo importantes, y pueden comprobarse cifras entre 5 y 10 km,⁹³ al menos como valores máximos, que están desde luego contrastados para vastas regiones donde la roca primordial está expuesta totalmente sin sedimentos que la cubran. Sin embargo, en algún caso esto último se analizará como un componente esencial de las elevaciones tabulares de los continentes, en especial si consideramos que una parte importante de la elevación diferencial entre el fondo oceánico y la superficie continental está causada por el peso del océano y debería desaparecer isostáticamente si se retirase el agua. Es fácil calcular que la extracción del agua del mar causaría el hundimiento de los bloques continentales en el pesado magma unos 1.500 m, con lo que la diferencia de la actual elevación de 5 km descendería entonces hasta 3,5 km. Pero incluso si la cobertura de sedimentos es del mismo orden de magnitud que la diferencia de elevación, ésta desaparece completamente si lo comparamos con el espesor total de los témpanos continentales de 100 km; esto solo queda claro si también se tiene en cuenta aquí la isostasia. Si la capa de sedimentos fuera removida de toda la Tierra, los bloques se elevarían en todas partes hasta casi el nivel original y el relieve de la superficie terrestre cambiaría muy poco. De esto resulta evidente que las planicies continentales son formas de un orden superior, opuestas a la erosión y a la sedimentación que solo representan el papel de caracteres superficiales secundarios. Su material es la roca primordial cuya «ubicuidad» no se puede negar a pesar de algunas dudas. Si para fijar ideas tenemos en cuenta el componente general, podemos decir que los continentes están constituidos por gneis.^[94]

En el tercer volumen de su obra magna *Das Antlitz der Erde* (p. 626),^[95] Suess observa que las rocas no sedimentarias se dividen en dos grandes grupos por sus propiedades características, el primero, las rocas primordiales, gnéissicas, forman siempre el basamento de los continentes, mientras que en el segundo se encuentran solo las rocas volcánicas eruptivas. Denomina al primero «Sal»,^[96] según las iniciales de los principales

[89] En su condición de meteorólogo, y en su descripción de las diferentes capas de la atmósfera terrestre, Wegener había introducido en 1911 la idea de la existencia de una «esfera de geocoronio» (Geokoroniumsphäre) para intentar explicar ciertas emisiones atmosféricas terrestres de un nuevo elemento químico, el geocoronio, aún no identificado y que eran semejantes a otras que procedían de la corona solar. Años más tarde se descubriría que las líneas espectrales del supuesto nuevo elemento coincidían con las del nitrógeno atómico situado en la atmósfera superior; véase Wegener, A.L. (1911). *Untersuchungen über die Natur der obersten Atmosphärenschichten*. *Physikalische Zeitschrift*, 12, 170–178; véase, además, Schröder, W. (2000). *Alfred Wegener and the physics of geophysical phenomena in the upper atmosphere*. *Acta Geodetica et Geophysica Hungarica*, 35 (1), 87–93. [NT]

90 Haug, E. (1907). *Traité de Géologie. Vol. I: Les Phénomènes géologiques*. A. Collin, París, p. 160. [NT: Esta obra del geólogo francés Émile Haug (1861–1927) contiene las ideas fundamentales de la época sobre los fenómenos geológicos, entre ellos la teoría del geosinclinal].

91 Suess, E. (1888). *Das Antlitz der Erde*. F. Tempski, Praga, vol. II, p. 280. [NT: La Faz de la Tierra. R. Velasco, Madrid, vol. II (trad. castellana 1925), p. 224].

[92] Diener, K. (1895). *Ergebnisse einer geologischen Expedition in den Central-Himalaya von Johar, Hundes, und Painkhandu*. *Denkschriften der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Klasse*, 62, 533–608. [Karl Diener (1862–1928), geógrafo, geólogo y paleontólogo austriaco]. [NT]

93 Por un método indiscutible, en concreto mediante la perforación, solo se han comprobado hasta ahora los primeros 2.240 m.

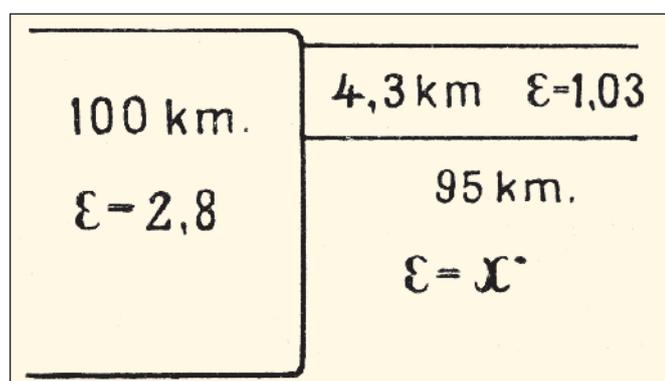
[94] Gneis era el término técnico que se aplicaba a las rocas graníticas (consideradas de origen magmático) que habían alcanzado un cierto nivel de alteración mediante procesos metamórficos, y que era un material muy abundante en las masas continentales. Este es el motivo por el que Wegener señala aquí al gneis, en lugar de al granito, como principal componente de los continentes, idea que forma parte de la llamada controversia del granito; por otro lado, conllevaba en ocasiones la confusión entre ambas rocas, especialmente entre el granito y el gneis granítico, en tanto que además de los mismos constituyentes minerales, poseen una estructura muy semejante; véase, por ejemplo: Sederholm, J.J. (1907). *Om granite och gneis*. *Bulletin de la Commission Géologique de Finlande (Suomen Geologinen Komissioni)*, 23, 1–110; véanse, además: Daly, R.A. (1926). *Our mobile earth*. C. Scribner, Nueva York–Londres, pp. 96–97; Read, H.H. (1957). *The granite controversy; geological addresses illustrating the evolution of a disputant*. *Intersciences Publ.—Thomas Murby & Co., Nueva York–Londres*, p. 115. [NT]

[95] Suess, E. (1901). *Das Antlitz der Erde*. F. Tempski, Praga, vol. III, p. 626. [La Faz de la Tierra. R. Velasco, Madrid, vol. IV (trad. castellana 1928), p. 312]. [NT]

[96] En años posteriores, y siguiendo una sugerencia epistolar del zoólogo alemán Georg Johann Pfeffer (1854–1931), Wegener propuso el término sal en sustitución de sal para evitar la confusión que podría derivarse del vocablo latino que designa a las «sales»; véanse: Wegener (1922), op. cit. (nota [6]), p. 38; Wegener (1929), op. cit. (nota [6]), p. 55. Por razones historiográficas y para no caer en un anacronismo, se mantiene el término original sal. [NT]

componentes, el silicio y el aluminio, y al segundo «Sima», de silicio y magnesio. Wiechert^[97] intentó calcular esto por primera vez, y la sismología comprobó independientemente más tarde que con toda probabilidad el núcleo metálico de la Tierra consta principalmente de níquel y hierro, al que Suess denomina «Nife». Puesto que los témpanos continentales están constituidos por rocas sálicas,^[98] se cree que el pesado magma en el que están incrustados y que, en nuestra opinión, forma el fondo oceánico, se identificará como sima. Esto está confirmado por el peso específico; mientras que para el sal ácido se acepta un peso específico entre 2,5 y 2,7 (Whitman Cross y Gilbert encontraron un promedio de 2,615 en doce muestras de gneis de Pikes Peak)^[99] tiene que aceptarse que para el sima (basalto, diabasa, entre otras rocas) puede tomarse aproximadamente 3,0 (hasta 3,3 como máximo). Si tenemos en cuenta que también dentro de los 1.500 km del manto silicatado que rodea al núcleo de hierro, el peso específico presenta probablemente una débil gradación y que, de acuerdo con la sismología es de 3,4, tendremos que aceptar valores entre 3,5 y 4 para las capas más profundas del sima y aproximadamente 3 para la parte superior.

Fig. 4. Sección esquemática a través del margen continental.



Por otro lado, ahora tenemos la posibilidad de calcular el peso específico del magma a partir de la profundidad de los bloques continentales que se hunden en él, si se admite el de estos bloques. Quisiéramos aceptar 2,8 para estos últimos, puesto que las muestras examinadas proceden de la superficie, y es probable que el peso específico aumente con la profundidad también en el caso de los continentes. Así, pues, de la Fig. 4 se deduce directamente el peso específico del material suboceánico: $100 \times 2,8 = 4,3 \times 1,03 + 95 \times x$, de donde $x = 2,90$, que concuerda satisfactoriamente con la suposición de que el material es esencialmente idéntico al sima.¹⁰⁰ Basándonos en la temperatura de fusión discutiremos en la sección siguiente una nueva confirmación.

6. *Plasticidad.* Según nuestra opinión, los bloques sálicos deberían ser capaces de desplazarse horizontalmente dentro del sima. Por eso es importante que el punto de fusión del sal sea aproximadamente 200–300° más alto que el del sima, de tal forma que a esa temperatura este último esté aún fluido y el primero ya solidificado.¹⁰¹ Tiene que aceptarse esta diferencia para suponer que los bloques sálicos sólidos flotan en el sima líquido, porque el fuerte aumento de la temperatura en el interior de la Tierra no podría ser así solo en una capa de 6 km aproximadamente de espesor, si lo comparamos con los 100 km para los bloques continentales. Como se mostrará de inmediato, deberíamos imaginar ambas partes más en estado viscoso o plástico. Sin embargo, el sima tendría que alcanzar bajo estas circunstancias –*ceteris paribus*–^[102] un mayor grado de plasticidad, puesto que se mantiene así mucho más que el sal a una temperatura moderada siempre en relación con el punto de fusión de 200°–300°.

También es importante comparar los puntos de fusión con lo que sabemos sobre la temperatura interna de la Tierra. A presión atmosférica, la diabasa se funde a unos 1.100°, y las lavas del Vesubio a 1.400–1.500°. Sin embargo, [192] los experimentos de Day,¹⁰³ entre otros, muestran que no existe un punto de fusión repentino, sino un intervalo de fusión, algunas veces muy amplio, e incluso el barro de silicatos en estado líquido posee un grado de viscosidad desconocido en otros fluidos. Puesto que el punto de fusión aumenta ligeramente con la presión para casi todos los materiales (para la diabasa en 0,025°/atmósfera según Barus,^[104] que sin em-

[97] Wiechert (1897a), op. cit. (nota [84]). [NT]

[98] Mantenemos el adjetivo sálico (*salische*, en el original) que utiliza Wegener en alusión al sal (*sial*). [NT]

[99] Esta información la toma Wegener del volumen IV de *Das Antlitz der Erde* de Suess, que tampoco aporta referencia alguna; véase: Suess, E. (1909). *La Faz de la Tierra*. R. Velasco, Madrid, vol. IV (trad. castellana 1930), p. 386. Se trata de sendos trabajos cartográficos de los geólogos norteamericanos Charles Whitman Cross (1854–1949) y Grove Karl Gilbert (1843–1918) sobre Colorado; véanse: Cross, W. (1894). *Pikes Peak folio, Colorado*. En: *Geologic Atlas of the United States*. U.S. Geological Survey, Washington, n.º 7, 7 pp.; Gilbert, G.K. (1897). *Pueblo folio, Colorado*. En: *Geologic Atlas of the United States*. U.S. Geological Survey, Washington, n.º 36, 9 pp. [NT]

100 Debido a la gran diferencia entre las rocas eruptivas, la determinación de los pesos específicos medios es difícil. Baur, E. (1903). *Chemische Kosmographie*. R. Oldenbourg, Múnich–Berlín, p. 54, solo da 2,9 para el basalto, la principal roca volcánica. [NT: Emil Baur (1873–1944), físico-químico suizo].

101 Doelter, C.A. (1906). *Petrogenesis (Die Wissenschaft, N.º 13)*. F. Vieweg, Brunswick, p. 18. [NT: Cornelio August Doelter y Cisterich (1850–1930), geólogo y mineralogista puertorriqueño-austriaco].

102 *Ceteris paribus*, expresión latina que indica que en un proceso, modificando algunas variables, el resto permanece constante. [NT]

103 Compárese, por ejemplo, Day, A.L. (1910). *Some mineral relations from the laboratory viewpoint*. *Bulletin of the Geological Society of America*, 21, 141–178. [NT: Arthur Louis Day (1869–1960), geólogo norteamericano].

[104] Barus, C. (1893). *High temperature work in igneous fusion and ebullition, chiefly in relation to pressure*. *Bulletin of the United States Geological Survey*, 103, 1–57. [Carl Barus (1856–1935), físico norteamericano]. [NT]

bargo Vogt^[105] lo redujo a 0,005°), los números indicados probablemente deben incrementarse en unos cuantos cientos de grados para profundidades mayores que, sin embargo, sería poco para las condiciones impetantes.¹⁰⁶ A 100 km de profundidad podremos aceptar que la temperatura de fusión es de unos 1.500–2.000° para las rocas básicas del sima, que se corresponden en más de 200–300° para las rocas sálicas ácidas. Si deseamos tener en cuenta el desplazamiento horizontal de los bloques, debemos aceptar una temperatura en su base no lejos del punto de fusión. Si extrapoláramos linealmente el gradiente geotérmico de 31,8 m/°C, de acuerdo con los resultados de las últimas prospecciones Czuchow II y Parnschowitz V,¹⁰⁷ deberíamos esperar que la temperatura de fusión estuviese situada entre los 48 km (1.500°) y los 64 km (2.000°). Sin embargo, según la ley de la conductividad térmica, el gradiente de temperatura no puede permanecer constante, y ocasionalmente parece haberse reconocido un aumento del mismo con la profundidad, así como un lento descenso del gradiente térmico en unas cuantas prospecciones sencillas. Mientras que en el pasado se tendía a atribuir temperaturas extraordinariamente altas para el interior de la Tierra, en la actualidad se admite generalmente que el aumento de temperatura desaparece completamente a mayores profundidades, y que la parte principal de la Tierra posee una temperatura casi homogénea de unos 3.000°, muchos investigadores consideran una temperatura probable incluso más baja. También estas consideraciones conducirían así a valores térmicos para 100 km de profundidad no demasiado alejados del punto de fusión de las rocas.

Además, se deduce de esto que probablemente la temperatura de fusión de los silicatos no se supere excesivamente incluso a mayor profundidad, así que en particular sobre la fluidez de la roca fundida, hemos de considerar viscosa toda la capa de 1.500 km de sima mencionada anteriormente. Por otro lado, teniendo en cuenta que los sólidos se vuelven generalmente más o menos plásticos (pseudoplásticos) a mayor presión, a lo largo de este razonamiento llegamos a la conclusión de que el sal y el sima deben ser considerados plásticos, este último en mayor medida que el primero.

Las propiedades de estos fluidos viscosos son por tanto paradójicas debido a que la duración de las fuerzas que actúan juega un papel importante. La brea negra ofrece un ejemplo extremo: si se extiende un trozo durante largo tiempo, empieza a fluir bajo su propio peso, y pequeñas bolas de plomo se hunden en él con el tiempo; sin embargo si lo golpeamos con un martillo, se rompe como si fuese vidrio.

El retraso de los movimientos isostáticos obviamente también está relacionado. En regiones que anteriormente estuvieron cubiertas de hielo, el levantamiento continúa durante mucho tiempo después de que el hielo se haya fundido. Escandinavia aún se eleva aproximadamente 1 m cada 100 años. Los acantilados solo pueden haberse formado después de retirarse el hielo, durante el levantamiento. Así, el ajuste isostático se retrasa.¹⁰⁸ Se ha introducido el término «rigidez» en relación con la noción de viscosidad, es decir, la resistencia de un cuerpo frente a las deformaciones (opuesta a las variaciones de volumen), y se intentó calcular la rigidez de la Tierra a partir de muchos fenómenos diferentes. Debemos discutir estas investigaciones brevemente puesto que aportan alguna luz sobre la posibilidad de los cambios horizontales de los continentes.

Lord Kelvin^[109] señaló por primera vez la circunstancia de que la Tierra está perfectamente adaptada a ese cambio extremadamente lento en la rotación considerando de alguna forma el achatamiento, como si fuera un líquido, mientras que para la fuerza mareal de la Luna, que cambia con mayor rapidez, reacciona casi rígidamente, y concluyó que su rigidez debería ser aproximadamente la del acero,^[110] Hecker,^[111] usando un péndulo horizontal sensible a la atracción del Sol y de la Luna, demostró que la amplitud es solo unos

[105] Vogt, J.H.L. (1904). *Die Silikatschmelzlösungen, mit besonderer Berücksichtigung auf die Mineralbildung und die Schmelzpunkt-Erniedrigung. II. Über die Schmelzpunkterniedrigung der Silikatschmelzlösungen*. Norsk Videnskaps-Akademi Matematisk-Naturvidenskapelig Klasse, No. 1, sec. 13 (diabas), pp. 42–96. [Johan Herman Lie Vogt (1858–1932), geólogo y petrólogo noruego]. [NT]

106 Tammann ha sugerido la hipótesis de que existe un punto de fusión máximo. Sin embargo, solo se ha comprobado el hecho de que el aumento del punto de fusión disminuye conforme aumenta la presión. El cambio de signo se basa en amplias extrapolaciones a partir de observaciones y está relacionado con las ideas de Tammann del «cuerpo sólido», que se han puesto en duda por el descubrimiento de Lehmann de los cristales fluidos. Pero incluso si el hipotético punto de fusión máximo existiese, no debería ser tan importante como creen algunos geólogos. [NT: Tammann, G. (1903). *Kristallisieren und Schmelzen*. Ein Beitrag zur Lehre der Aenderungen des Aggregatzustandes. J.A. Barth, Leipzig, pp. 31–32; Lehmann, O. (1889). *Über fließende Krystalle*. Zeitschrift für Physikalische Chemie, 4, 462–472; Gustav Tammann (1861–1938), químico y físico ruso-germano; Otto Lehmann (1855–1922), físico alemán].

107 Michael, R. y Quitzow, W. (1910). *Die Temperaturmessungen im Tiefbohrloch Czuchow in Oberschlesien*. Jahrbuch der Königlich Preussischen Akademie der Geologie, 31(2), 1–22. [NT: Richard Michael (1869–1928), y Wilhelm Quitzow (1881–1914), geólogos alemanes].

108 Compárese el capítulo «Plastizität. Elastische Nachwirkung» en Rudzki (1911), op. cit. [nota 14], p. 231.

[109] Thomson, W. [Lord Kelvin] (1863). *On the rigidity of the earth; shiftings of the earth's instantaneous axis of rotation; and irregularities of the earth as a timekeeper*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 153, 573–582. [NT]

[110] Thomson, W. [Lord Kelvin] (1890). *On the rigidity of the earth*. En: Mathematics and Physics Papers. Cambridge University Press, Cambridge, vol. III, pp. 384–386. [NT]

[111] Véase la nota 48. [NT]

dos tercios de lo que sería si actuara sobre una Tierra completamente rígida, de lo que se deduce una vez más una rigidez media igual a la del acero. Otro criterio lo proporciona el período del movimiento de fluctuación del polo, que es 430 días en lugar de 305, deducido teóricamente por Von Euler^[112] para una Tierra perfectamente rígida. Newcomb^[113] supuso que la desviación se debía regularmente a una cierta elasticidad de la Tierra, y Hough^[114] calculó una vez más que la rigidez media era aproximadamente la del acero, $7,6 \times 10^{11}$ dinas/cm². Schweydar^[115] tuvo en cuenta la estratificación del interior de la Tierra. Para el núcleo férrico de Wiechert la rigidez resultaba tres veces mayor ($20,2 \times 10^{11}$ dinas/cm²), que probablemente se explica perfectamente por la enorme compresión; sin embargo, para el manto, es decir, para los 1.500 km de sima, resultó ser un octavo de la rigidez del acero ($0,9 \times 10^{11}$ dinas/cm²). Esto concuerda perfectamente con las ideas anteriores sobre la plasticidad del sima.

El mismo resultado se obtiene también de las observaciones sísmicas. Por un lado, el hecho de que las ondas transversales de cualquier terremoto penetren en el interior muestra que no se puede hablar de una capa totalmente fluida, [193] ya que un fluido no puede transmitir ondas transversales. Sin embargo, Wiechert^[116] indicó, por otro lado, dos aspectos que sugieren una baja rigidez para el sima. Entre las ondas sísmicas se encuentra un tipo peculiar de ondas transversales llamadas ondas Rayleigh, que se expanden sobre la superficie sólida de la corteza terrestre, pero que se transmiten en la capa que flota sobre el magma. El segundo aspecto son las oscilaciones mencionadas antes que requieren una base magmática de la corteza terrestre sólida, y a partir de éstas, como se ha dicho, Wiechert intentó calcular el espesor de la corteza. Todas estas observaciones sugieren que el sima no es plástico, pero representa un material que fluye completamente con facilidad en cualquier medio, y que la corteza sálica posee una solidez sustancialmente mayor, pero sin carecer por tanto de plasticidad completamente. A partir de esto no tenemos razones para objetar la posibilidad de un desplazamiento horizontal de los continentes extraordinariamente lento, pero grande a pesar de todo, si existen fuerzas que actúen invariablemente en la misma dirección durante los períodos geológicos.

7. *El origen de las montañas y la evolución de los continentes.* Cuando se aplican las ideas anteriores al origen de las montañas, se debe considerar que los sedimentos serán probablemente mucho menos plásticos que las rocas primitivas sálicas. Si dejamos al margen el hecho de que la cobertera sedimentaria posee temperaturas por lo general más bajas cerca de la corteza superficial que las de las rocas primigenias subyacentes, es probable que deba aceptarse incluso otra diferencia estructural justificada entre ambas teniendo en cuenta en principio la plasticidad. Generalmente solo encontramos amplios pliegues en los sedimentos con dimensiones a menudo similares a los de las montañas mismas; por el contrario, las rocas primordiales muestran en su mayoría complicadas arrugas incluso del tamaño de un palmo. Esta diferencia también se manifiesta en la estructura peculiar de manto plegado de las montañas, como se ha llegado

[112] A mediados del siglo XVIII, el matemático suizo Leonhard von Euler (1707–1783) había sugerido durante sus estudios sobre la dinámica de rotación de los cuerpos fluidos que el eje de la Tierra podría moverse ligeramente, ocasionado así un cambio en la latitud de cualquier punto sobre el planeta. Los cálculos teóricos fueron efectuados en 1844 por el astrónomo alemán Christian Peters (1806–1880) a partir de las ecuaciones desarrolladas por Euler, y obtuvo un resultado del orden de unos 10 meses (305 días). Tras varios intentos infructuosos, el primero en verificar el fenómeno fue el astrónomo alemán Karl Friedrich Küstner (1856–1936) en el observatorio de Berlín en 1888, y poco después, en 1891, también el astrónomo norteamericano Seth Carlo Chandler, Jr. (1846–1913), quienes obtuvieron un resultado muy diferente, en torno a los 430 días; véanse Euler, L. von (1758). *Du mouvement de rotation des corps solides autour d'un axe variable*. Histoire [Mémoires] de l'Académie Royale des Sciences et Belles Lettres de Berlin 14, 154–193 [reimpreso en: Blanc, C. (ed.) (1948–1950). Leonhardi Euleri Opera Omnia. Series Secunda. Orell Fuesli, Berna, vol. VIII, pp. 200–235]; Peters, C. (1845). *Resultate aus Beobachtungen des Polarsterns am Ertelschen Verticalkreise der Pulkowaer Sternwarte*. Astronomische Nachrichten, 22(5), 71–80; Küstner, C.F. (1888). *Neue method zur bestimmung der aberrations–constante nebst untersuchungen uber die veranderlichkeit der polhohe*. Koniglichen Sternwarte, 3, 1 y 46–47; Küstner, C.F. (1890). *Ueber polhohen–aenderungen beobachtet 1884 bis 1885 zu Berlin und Pulkova*. Astronomische Nachrichten, 2993, 273–278; Chandler, S.C., Jr. (1891a). *On the variation of latitude, I*. Astronomical Journal, 248, 59–61; Chandler, S.C., Jr. (1891b). *On the variation of latitude, II*. Astronomical Journal, 249, 65–70; véase, además, la nota siguiente. [NT]

[113] Estos datos sobre la variación de la latitud los relacionó el astrónomo canadiense Simon Newcomb (1835–1909) no solo con la plasticidad de la Tierra, sino también con la fluidez de los océanos; véanse: Newcomb, S. (1891). *On the periodic variation of latitude, and the observations with the Washington prime–vertical transit*. Astronomical Journal, 251, 81–83; Newcomb, S. (1892a). *Remarks on Mr. Chandler's law of variation of terrestrial latitudes*. Astronomical Journal, 271, 49–50; Newcomb, S. (1892b). *On the dynamics of the earth's rotation, with respect to the periodic variations of latitude*. Monthly Notes of the Royal Astronomical Society, 52, 336–341. [NT]

[114] Hough, S.S. (1895). *On the oscillations of a rotating ellipsoidal shell containing fluid*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 186, 469–506; Hough, S.S. (1896). *On the rotation of an elastic spheroid*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 187, 319–344. [Sydney Samuel Hough (1870–1923), matemático y astrónomo británico]. [NT]

[115] Schweydar, W. (1909). *Ein Beitrag zur Bestimmung der Starrheitskoeffizienten der Erde*. Gerlands Beiträge zur Geophysik, 9, 41–77. [Wilhelm Schweydar (1877–1959), geofísico alemán]. [NT]

[116] Véanse las notas [85] y [97]. [NT]

a admitir especialmente por las investigaciones de Marcel Bertrand,^[117] Schardt,^[118] y Lugeon.^[119] El conjunto de sedimentos está comprimido en forma de numerosas escamas unas encima de otras. El basamento primordial parece comportarse de una forma muy diferente: es bastante fluido. Es relativamente raro que participe en los cabalgamientos; el resultado es un espesamiento substancial de todo el bloque, en especial también hacia abajo, y en lugar de grandes pliegues uniformes constituye una maraña de pliegues angostos, tan característica de las rocas primordiales.

Estos estudios también han corregido la subestimación anterior de la compresión regional en las montañas. Mientras Heim,^[120] por ejemplo, calculó de todos modos un acortamiento de hasta cuatro quintos para el Jura suizo y un medio para los Alpes basándose en el antiguo concepto, considerando la estructura de manto plegado llegó a aceptar que la masa continental comprimida había tenido una anchura de cuatro a ocho veces la de las montañas actuales; los 150 km de ahora corresponderían entre 600 y 1.200 km comprimidos. En mi opinión, las consecuencias aún no han sido apreciadas completamente, en concreto los continentes habrían cambiado profundamente sus contornos. Si, por ejemplo, la cadena del Himalaya está constituida por masas continentales comprimidas de una anchura adecuada, ¿dónde se habría situado el extremo meridional de la India antes del acortamiento? ¿Queda allí algún espacio para un «Lemuria»^[121] hundido?

Volveremos sobre estas cuestiones en la segunda parte. Reflexionaremos aquí solo sobre una regla peculiar, a la que se ha referido en particular James Hall.^[122] Precisamente en las montañas plegadas los sedimentos muestran un espesor que excede substancialmente de los estratos correspondientes en las áreas no plegadas. Puesto que el mayor espesor de los depósitos indica una cuenca anterior, un «geosinclinal»,^[123]

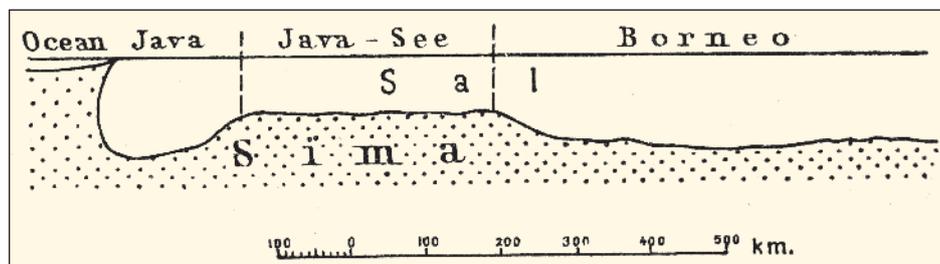


Fig. 5. Sección de la plataforma del mar de Java real a gran escala.

[117] 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. (1897). *Structures des Alpes françaises et récurrence de certain faciès sédimentaires*. Comptes Rendus du VI^{ème} Congrès Géologique International (Zürich/1894), pp. 163–177. [Marcel Alexandre Bertrand (1847–1907), geólogo francés]. [NT]

[118] Schardt, H. (1893a). *Coup d'oeil sur la structure géologique des environs de Montreux*. Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles, 29, 241–255; Schardt, H. (1893b). *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 Helveticae, 10, 484–487. [NT]

[119] Lugeon, M. (1901). *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. (1902). *Les grandes dislocations et la naissance des Alpes suisses*. Acta de la Société Helvétique des Sciences Naturelles, pp. 141–153; Lugeon, M. (1903). *Les grandes nappes de recouvrement des Alpes suisses*. Comptes Rendus du VII^{ème} Congrès Géologique International (Viena/1901), pp. 477–492. [NT]

[120] Heim (1878), op. cit. (nota 19), pp. 194–226; Heim, A. (1891). *Geologie der Hochalpen zwischen Reuss und Rhein*. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, 2 vols, 503+76 pp.; Heim, A. (1895). *A. Rothpletz in den Glarneralpen*. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 40, 33–70. [NT]

[121] El término Lemuria fue acuñado por el zoólogo británico Phillip Lutley Sclater (1829–1913) en 1864 en alusión a un hipotético antiguo continente hundido que habría permitido la migración de ciertos mamíferos entre Madagascar y la India, y que habría sido el foco original de la estirpe Lemurum; véase: Sclater, P. (1864). *The Mammals of Madagascar*. Quarterly Journal of Science, London, 1, 213–219. [NT]

[122] Se trata de las ideas del geólogo y paleontólogo norteamericano James Hall (1811–1898) de la teoría del geosinclinal, mediante la cual se intentaba explicar los fenómenos tectónicos y orogénicos en relación con la evolución de las cuencas sedimentarias: los geosinclinales constituían, así, importantes unidades estructurales y sedimentarias de la corteza terrestre, situadas generalmente de forma paralela a los márgenes continentales, y en los que se acumulaban los depósitos sedimentarios que posteriormente eran deformados durante las orogénesis; véanse: Hall, J. (1859). *Natural History of New York*. C. van Benthuysen, Albany (NY). Vol. III (Palaeontology), parte 1, p. 68 [reproducido en: Mather, K.F. y Mason, S.L. (1939). *A source book in Geology, 1400–1900*. Hafner, Nueva York-Londres, (facsimile 1964), p. 408]; Hall, J. (1883). *Contributions to the geological history of the North American continent*. Proceedings of the American Association for the Advancement of Science, 31, 29–71 («Conferencia Persidencial», 1857); véanse también: Dott, R.H., Jr. (2005). *James Hall Jr. 1811–1898*. National Academy of Science, Washington, Biographical Memoir 87, pp. 180–197; Greene (1982), op. cit. (nota 25), cap. 5; 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, Boulder (CO), Memoir 196, 347 pp. (concretamente pp. 123–133)*; Lemoine, M. (2006). *Une science en crise au milieu du XXe siècle, la géodynamique: des géosynclinaux aux océans disparus*. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, 3e série, XX(7), 129–165; véase, además, la nota siguiente. [NT]

[123] El término geosinclinal fue acuñado por James D. Dana en 1875, y contribuiría además al desarrollo de esta teoría (nota anterior); véanse, por ejemplo: 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*

Haug¹²⁴ expresa esta ley con las palabras: «Les chaînes de montagnes se forment sur l'emplacement des géosynclinaux».^[125] En consecuencia, los depósitos sedimentarios gruesos son antiguas plataformas, es decir, plataformas internas y externas que no necesitan haber tenido una gran profundidad, pero que de acuerdo con el principio de la isostasia se hundieron casi tan rápido como tenía lugar la sedimentación. La respuesta a la cuestión de por qué las plataformas están más afectadas por el plegamiento que el resto de las llanuras continentales es obvia una vez que se considera el espesor de los bloques. Actualmente, las plataformas más profundas están a 500 m bajo el nivel del mar, es decir, 1.200 m por debajo de la superficie media de la tierra firme; con las cifras anteriores se calcula fácilmente que el espesor de un bloque en una plataforma, aproximadamente 1 km por debajo del nivel continental general, no puede ser más de 70 km en lugar de 100 km. En la Fig. 6 se muestra un ejemplo, y ante una compresión tendrá que ceder indudablemente la región de plataforma, como la parte más débil. También se ajusta el hecho de que las plataformas deben estar predeterminadas por el plegamiento, con una capa de sedimentos de gran espesor, aunque poco resistentes, en una región a baja temperatura, mientras las rocas primordiales son deprimidas a profundidades de temperatura elevada y se hacen más plásticas como ha señalado especialmente Mellard Reade.^[126] Podría verse una dificultad en el hecho de que no solo las plataformas interiores están limitadas por tierra firme a ambos lados, sino que también las exteriores en la periferia de los bloques continentales constituyen una plataforma externa que parece estar preferentemente plegada. Sin embargo, no se debería olvidar que el sima de los fondos oceánicos es solo ligeramente más plástico que el sal, de tal forma que el fondo marino también puede oponer una resistencia substancial al movimiento de los témpanos continentales, y puede así inducir el plegamiento de la plataforma [194] marginal. No es preciso aceptar que en estos casos el material sálico de la plataforma sea más plástico que el sima resistente. Así, pues, el empuje total que este último experimenta se deduce por sí mismo de nuestra observación.

Si se tiene en cuenta todo lo expuesto, se deduce el hecho de que, desde el principio, la construcción de las montañas ha modificado las regiones, provocando un engrosamiento progresivo de los bloques continentales a expensas de su extensión horizontal. Se trata de un proceso unidireccional, irreversible: cada compresión causa un aumento en el espesor y una reducción de la superficie, sin embargo la tensión no puede provocar sino el proceso opuesto, desgarrando el bloque.

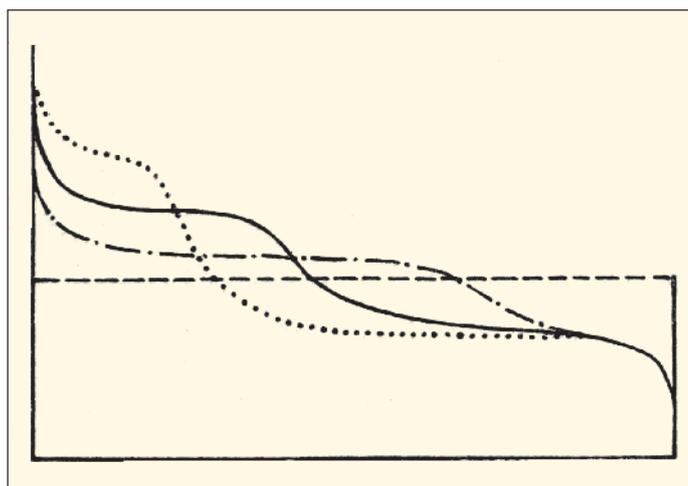


Fig. 6. Curvas hipsométricas de la superficie terrestre, ···· para el futuro, — para el presente, — · — · el pasado, — — — el estado inicial (a un nivel cortical promedio).

Hemos llegado de esta forma a un gran esquema evolutivo para los continentes. En ningún lugar las rocas sálicas primordiales se disponen horizontalmente en grandes distancias, más bien en la mayoría de las regiones se presentan inclinadas, plegadas, comprimidas, fracturadas, y falladas. Por tanto puede justificarse el aceptar que en otra época la corteza sálica cubrió probablemente toda la Tierra con un espesor de unos 30 km, y que gradualmente esta corteza perdió en superficie y ganó en grosor por reiterados procesos de desgarre y compresión, que observamos como simples fases de construcción de montañas. La Fig. 6 muestra las curvas hipsométricas de la superficie terrestre que deberían aceptarse para el pasado y para el futuro. Mientras que inicialmente un «Panthalassa»^[127] de 3 km de profundidad habría cubierto toda la superficie terrestre, el mar empezó a separarse en aguas superficiales y profundas conforme crecían los bloques continentales, hasta que los continentes emergieron, un proceso

of geology, treating the principles of the science with special reference to American geological history. Ivison, Blakeman, Taylor & Co., Nueva York (2ª ed.), pp. 735–756. [NT]

124 Haug, E. (1907). *Traité de Géologie. Vol. I: Les phénomènes géologiques*. A. Collin, París, p. 160.

[125] *Las cadenas montañosas se forman sobre el emplazamiento de los geosinclinales (en francés en el original)*. [NT]

[126] Reade (1903), op. cit. (nota [43]), p. 20. [NT]

[127] *Esta es la primera vez que Wegener alude a Panthalassa como un océano global (literalmente, todo el mar; del griego, pan, todo, thalassa, mar). Este término había sido utilizado previamente por Suess a finales del siglo XIX en sus trabajos críticos sobre la teoría de la permanencia de los océanos –nota [45]– bajo la idea de una hidrosfera universal que habría existido en tiempos anteriores al Paleozoico; véase: Suess (1893), op. cit. (nota [45]), p. 186. Hasta 1920 Wegener no utilizaría el término complementario y más conocido de Pangea (Pangäa, en el original alemán, literalmente, toda la tierra; del griego, pan, todo, ge, tierra), en referencia al hipotético continente único cuya fragmentación habría dado lugar a los continentes actuales; véase: Wegener, A.L. (1920). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Vieweg, Brunswick (2ª edición), p. 120. No está claro, sin embargo, que dicho término fuera acuñado por Wegener, y 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, J.W. (1924). *Introduction*. En: Wegener, A.L. (1922). *The origin of continents and oceans*. Methuen, Londres (trad. inglesa 1924 de la 3ª ed. alemana), pp. VII–XII (concretamente p. X). [NT]*

que aún hoy no ha terminado completamente. Las costas coincidirán con los márgenes continentales solo después de otro levantamiento de medio km. Esto puede explicar también que las transgresiones del pasado, especialmente antes de la gran compresión del Terciario, tuvieran una extensión mucho mayor que la actual.

8. *Volcanismo*. Hasta ahora hemos ignorado una objeción totalmente obvia. El sima subyacente a alta temperatura bajo el mar quedará al descubierto con cada cambio de los témpanos continentales. ¿No tiene esto que ver con acontecimientos catastróficos? En esta consideración hay que recordar en primer lugar el hecho de que las erupciones submarinas no tienden a estar relacionadas en forma alguna con grandes desastres. De acuerdo con Bergeat,^[128] las erupciones submarinas ocurridas cerca de Vulcano en 1888, 1889, y 1892, a profundidades entre 700 y 1.000 m, trajeron como consecuencia la rotura del cable entre Lípari y Milazzo; solo así se descubrieron dichas erupciones. Kayser¹²⁹ añade: «Porque las erupciones submarinas tienen la peculiaridad de transcurrir de forma silenciosa». Nótese además que el sima solo ascenderá por sí mismo en una fisura de acuerdo con la ley de los vasos comunicantes hasta donde se lo permita la isostasia. Es necesario un exceso de presión local para trasladar esto a la superficie continental (a menos que el magma sea especialmente ligero). Los empujes locales serán posibles en la mayoría de las regiones para producir el ascenso, porque el sima no es un fluido perfectamente uniforme, sin embargo, es verosímil que las regiones en las que predomina la tensión como el Atlántico, según nuestra opinión, deben ser relativamente pobres en volcanes en comparación con áreas de compresión predominante como el Pacífico. Quizás esto esté relacionado también con el hecho de que los volcanes aparecen independientes de las fisuras, como han recalcado Geikie^[130] y Branca.^[131] Generalmente podemos decir que el borde frontal de los bloques en movimiento ofrece condiciones más adecuadas para el volcanismo que el borde que es arrastrado.

Me parece también convincente que el enorme cinturón residual del Mediterráneo tenga especialmente una gran riqueza volcánica, donde obviamente no solo tiene lugar la separación de los témpanos, sino que también «se retuercen» y se trituran hacia atrás y hacia adelante.

Aunque hemos llegado a considerar que las fisuras abiertas son relativamente pobres en volcanismo, es plausible por otro lado que durante los momentos de cambios muy activos, se debería esperar un aumento del volcanismo total de la Tierra. Es interesante en esta relación poder probar que algunos períodos de la historia de la Tierra poseen un marcado volcanismo. Una fase eruptiva importante parece situarse en primer lugar en el Silúrico Inferior, una segunda posterior en el Devónico medio, otra mucho más intensa en el Carbonífero Inferior y en el Pérmico, «mientras que, finalmente, la última gran fase eruptiva comenzó en el período Terciario y perdura hasta hoy con pequeñas interrupciones. Entre estas fases de actividad volcánica existen períodos relativamente tranquilos, como representan especialmente el Jurásico y el Cretácico en la mayoría de las regiones» (Kayser).^[132] Se verá más adelante que, en efecto, los mayores desplazamientos de los que se puede hablar tuvieron lugar durante el período Terciario, mientras que el Jurásico y el Cretácico fueron períodos de reposo también en este aspecto.

9. *Comentarios sobre las causas de los desplazamientos*. La cuestión sobre cuáles son las fuerzas propuestas por nosotros como causas de los desplazamientos horizontales de los continentes es tan manifiesta que no puedo evitarla completamente, aunque considero que es prematura. Desde luego, solo es preciso determinar con exactitud la realidad y la naturaleza de los desplazamientos antes de que se pueda esperar comprender sus causas. Solo se puede principalmente intentar evitar ideas equivocadas, más que sugerir algo que se pueda dar ya como correcto.

Parece obvio pensar en las fluctuaciones del polo como causa; porque dichas fluctuaciones provocan nuevas fuerzas centrífugas que tienen como resultado desplazamientos de la masa. Sin embargo, se mostrará en la última parte que, por el contrario, el movimiento del polo es probablemente la consecuencia de los ajustes de la masa.

Considero más probable que las mareas lunares de la masa terrestre sean consideradas una causa esencial. [195] Esto parece estar apoyado preferentemente por una fracturación meridional. También puede ser la

[128] Bergeat A. (1899). *Die Aolischen Inseln (Stromboli, Panarea, Saline, Lipari, Vulcano, Filicudi und Alicudi)*. Abhandlungen der Bayerischen Akademie der Wissenschaften Mathematisch-Physikalische Klasse, 20(1), 1–274. [Alfred Bergeat (1866–1924), geólogo alemán]. [NT]

129 Kayser, E. (1909). *Lehrbuch der allgemeinen Geologie*. F. Enke, Stuttgart (3ª edición), p. 640.

[130] Geikie, A. (1897). *The ancient volcanoes of Great Britain*. Macmillan, Londres–Nueva York, vol. 1, p. 69. [Archibald Geikie (1835–1924), geólogo británico]. [NT]

[131] Se refiere al geólogo y paleontólogo alemán Wilhelm Branco (1844–1928), que a partir de 1907 pasó a llamarse Wilhelm von Branca, y como tal lo cita Wegener; véanse, por ejemplo: Branco, W. (1898). *Vulkane und Spalten*. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie (Memorial), 1, 175–186; Branco, W. (1903). *Zur Spaltenfrage der Vulkane*. Sitzungsberichten der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften, Physikalische–mathematischen Klasse, Berlin, XXXVI, 748–756; Branca, W. von (1907). *Vulkane und Spalten*. Comptes Rendus du X^{ème} Congrès Géologique International (México/1906), 2, 985–1028. [separata en: Imprenta y Fototipia de la Secretaría de Fomento, México (1907), 46 pp.]. [NT]

[132] Kayser (1909), op. cit. (nota 71), p. 107. [NT]

causa para una peculiaridad resaltada a menudo de las formas continentales, es decir, para su agudo estrechamiento hacia los polos. Esto se reconoce actualmente con mayor claridad en las áreas del antiguo polo sur, donde los contornos no se han modificado por compresión tras la fractura; como se mostrará más adelante, los bloques continentales se estrechan con mayor nitidez también donde tiene que suponerse el antiguo polo norte, es decir, en el estrecho de Bering, sin embargo aquí los contornos no parecen haber cambiado como consecuencia de la compresión. Probablemente será sensato considerar por ahora los desplazamientos continentales como una consecuencia de corrientes ocasionales en el interior de la Tierra.^[133] En el futuro quizás será posible separar en esto los aspectos realmente fortuitos, por ejemplo, los que tienen causas externas, de la tendencia hacia una posición de equilibrio con la rotación. La vieja idea de una «fuga polar»^[134] de la tierra firme, que ha sido utilizada recientemente por Taylor en su trabajo mencionado antes,^[135] podría pertenecer a esta última clase. Sin embargo, como se suele decir, el tiempo aún no está maduro para estas cuestiones.

[253]

El origen de los continentes (cont.)^[136]

II. Argumentos geológicos

Antes de continuar con el mencionado proceso de fracturación y compresión de los continentes a través de la historia de la Tierra, discutido en la primera parte de este trabajo, insistiremos en el hecho de que se trata de un ensayo cauteloso y preliminar que quizás sea ineludiblemente incorrecto en muchos aspectos e incompleto en otros. No obstante, debemos arriesgarnos. Porque solo una vez que se hayan establecido los criterios principales, no será difícil eliminar los errores mediante una investigación minuciosa. Comenzaremos con las formaciones más recientes de las fracturas.

1. *Fosas tectónicas*. La perspectiva que se considera actualmente sobre la tectónica de la fracturación no tiene muy en cuenta las medidas de la gravedad. En general, se plantea simplemente que las capas más superficiales de la Tierra se han «hundido» a lo largo de una línea, como ha sugerido la perforación en la fosa tectónica del Rin donde se encuentran los mismos sedimentos que yacen ocultos en la parte alta que bordea la fosa, de acuerdo con Lepsius^[137] y otros autores. Sin embargo, las medidas de la gravedad muestran que debe existir un material de mayor peso específico bajo la fosa que en los márgenes. Y la única forma de poder interpretar esto es que tenemos ante nosotros la fisura de un bloque continental donde el pesado sima se ha elevado tanto como permite la isostasia. Éste será el caso de acuerdo con lo dicho anteriormente, si el sima se sitúa a unos 3,5 km bajo la superficie continental, y naturalmente una fisura tan profunda estará rellena por el desplome lateral de las paredes (por fallas escalonadas, etc.), de tal forma que no es sorprendente la aparición de las capas superficiales en el fondo de la fosa. A mi juicio, todas las fracturas deberían interpretarse de esta forma o de otra similar, es decir, como fisuras en los bloques continentales y de incipiente separación; pueden ser tentativas de fisuras recientes o antiguas que han fallado porque las fuerzas impulsoras desaparecieron. La fosa del Alto Rin es probablemente del primer tipo ya que esta fisura se originó allá por el Oligoceno, al mismo tiempo que la separación de Norteamérica y Europa (véase más abajo).

El ejemplo más interesante es la fosa del África Oriental y su prolongación a través del mar Rojo hasta el

[133] *Wegener parece sugerir la teoría tectónica de Otto Ampferer de las corrientes subcorticales como causa de los desplazamientos continentales; véase: Ampferer (1906). op. cit. (nota 33); esta idea sería retomada en las décadas siguientes por diversos autores, principalmente por el geólogo británico Arthur Holmes (1890–1965); véase: Holmes, A. (1928). Continental drift. Nature, 122, 431–433; Holmes, A. (1944). The machinery of continental drift: the search for a mechanism. En: Principles of Physical Geology. T. Nelson & Sons, Nueva York, pp. 505–509 [ed. castellana: Holmes, A. (1965). Geología física. Ed. Omega, Barcelona (trad. castellana 1971, 6ª ed.), pp. 490–494; original inglés reproducido en: Cox, A. (ed.) (1973). Plate tectonics and geomagnetic reversals. W.H. Freeman & Co., San Francisco (CA), pp. 17–22; véase, además: Frankel, H. (1978). Arthur Holmes and continental drift. British Journal for the History of Science, 11(2), 130–150; Lewis (2002), op. cit. (nota 29), pp. 173–177; véase, más adelante, nota [192]. [NT]*

[134] *La idea de la fuga del polo (Pohlflucht, en el original) estaba basada en una fuerza debida al achatamiento del planeta como consecuencia de la rotación. Localizada inicialmente entre la corteza y el manto, fue establecida por primera vez en 1913 por el matemático y geofísico húngaro Lóránd Eötvös (1848–1919); véase: Eötvös, L. (1913). Bericht über Arbeiten mit der Drehwaage ausgeführt im Auftrage der königlich Ungarischen Regierung in den Jahren 1908–1911. Verhandlungen der XVII Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung in Hamburg, 1912, 1, 427–438. [NT]*

[135] *Véase la nota 17. [NT]*

[136] *Referencia original: Wegener, A.L. (1912b). Die Entstehung der Kontinente. Petermanns Geographische Mitteilungen, 58(6), 253–256. [NT]*

[137] *Lepsius, R. (1885). Die oberrheinische Tiefebene und ihre Randgebirge. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. Engelhorn, Stuttgart, vol. 1, cuaderno 2, pp. 52–70. [Richard Lepsius (1851–1915), geólogo alemán]. [NT]*

valle del Jordán. E. Suess¹³⁸ las ha considerado grandes fracturas sobre bases meramente geológicas: «En términos generales, esta región se asemeja más en todos sus aspectos a una larga zona continua de fracturas en bloques alargados y fragmentos, como si una fisura existente a gran profundidad se escindiera hacia la superficie en numerosas grietas, intersectando unas con otras en una malla, cuyos fragmentos se habrían hundido en su totalidad, pero a diferentes profundidades». El mar Rojo parece ser una separación reciente del bloque continental, a pesar de que según la tradición somalí, naturalmente sin valor concluyente alguno, no existía antes del diluvio de Noé.^[139] Las medidas de la gravedad que utilizó E. Kohlschütter¹⁴⁰ en la región son de gran importancia. Para la mayoría de las fosas la deficiencia de masa observada no está compensada por un mayor peso específico del material situado debajo, sino que por el contrario el efecto observado está acompañado de todos modos por una expansión subyacente. Así, pues, tenemos la impresión de que las fisuras penetran en el bloque continental desde arriba, pero no lo cortan completamente, de tal forma que el sima pesado no aparece en ellas. El relleno de las fisuras con escombros de los bordes parece estar muy disgregado, lo que quizás esté apoyado también por los desagües de los lagos situados en las fosas. Los frecuentes terremotos, que nunca se sienten a grandes distancias, posiblemente puedan explicarse por la caída del relleno disgregado. Sin embargo, las medidas de la gravedad no dan este mismo resultado aproximadamente para todas las fosas. Las más próximas al margen continental (la fosa superior de Pangani y la fosa de Mkomassi) están compensadas isostáticamente, es decir, aquí obviamente el sima pesado ha aparecido ya en la fisura. Triulzi^[141] y Hecker^[142] también encontraron una compensación isostática para el mar Rojo, que de acuerdo con Suess^[143] se interpreta como la continuación de las fosas anteriores, lo que es verosímil en vista de la gran amplitud de esta fisura.

[254]

2. *El Atlántico y los Andes*. El enorme paralelismo de las costas atlánticas^[144] no es un argumento que pueda ser subestimado para aceptar que representan los márgenes de una gigantesca fisura. Basta una mirada al mapa para establecer que existen montañas en el este donde también hay montañas al oeste, y que donde faltan en un lado también están ausentes en el otro. En el extremo norte, el macizo de Groenlandia se corresponde con el de Escandinavia, la región de Norteamérica menos montañosa se corresponde también con la de

138 Suess, E. (1891). *Beiträge zur geologischen Kenntnis des östlichen Afrika. 4 Teil: Die Brüche des östlichen Afrika*. Denkschriften der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, 63, 555–584.

[139] Con esta referencia a la tradición somalí en relación con el diluvio de Noé, Wegener rechaza en esta discusión geológica las tradiciones culturales como evidencias científicas. Diversos autores habían tratado el diluvio desde un punto de vista científico, entre ellos Suess: en *Das Antlitz der Erde*, Suess dedica todo un capítulo (más de medio centenar de páginas) a analizar las grandes inundaciones según diversas civilizaciones, entre ellas la judeo-cristiana, y su relación con determinados procesos geológicos conocidos; véase: Suess (1885/1923), op. cit. (nota 27), cap. 1, pp. 21–76; este capítulo había aparecido como publicación independiente unos años antes: Suess, E. (1883). *Die Sintfluth. Eine geologische Studie*. F. Tempsky–G. Freytag, Praga–Leipzig, 74 pp. [NT]

140 Kohlschütter, E. (1911). *Über den Bau der Erdkruste in Deutsch-Ostafrika*. Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaft zu Göttingen, Mathematisch-physikalische Klasse, 1, 1–40. [NT: Ernst Kohlschütter (1870–1942), astrónomo y geodesta alemán].

[141] Triulzi, A.E. von (1895/96–1897/98). *Relative Schwerebestimmungen*. En: Ozeanographische Forschungen. II. Berichte der Kommission für ozeanographische Forschungen. Forschungen S.M. Schiffes “Pola” in das Rote Meer. *Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Viena, Parte 6 (nördliche Hälfte), cap. II/Parte 7 (südliche Hälfte), cap. XII*. [Anton Edler von Triulzi (1863–1926), geofísico austriaco]. [NT]

[142] Véase Hecker (1908), op. cit. (nota 48). [NT]

[143] Véase la nota 138; sobre las fisuras del África Oriental, véase, además: Suess (1909/1930), op. cit. (nota [99]), pp. 25–33 [NT]

[144] Las ideas de Wegener sobre el paralelismo de las costas atlánticas de Sudamérica y África, especialmente de sus plataformas submarinas, como origen de la hipótesis de los desplazamientos continentales, surgieron al contemplar el *Allgemeine Handatlas* [Velhagen & Klasing, Leipzig, 1881 (1ª ed.)] del geógrafo alemán Richard Andree (1835–1912). La alusión a dicho paralelismo aparece por primera vez en una carta dirigida a su futuro suegro, el climatólogo germano Wladimir Köppen (1846–1940) y a su hija Else, fechada en enero de 1911, aunque no consideraba los actuales litorales como la auténtica zona de fractura sino los taludes continentales a una cierta profundidad; véase: Wegener, E. (ed.) (1960). Alfred Wegener. *Tagebücher, Briefe, Erinnerungen*. F.A. Brockhaus, Wiesbaden, p. 75; véase, además: Drake, E.T. (1976). *Alfred Wegener's reconstruction of Pangea*. *Geology*, 4(1), 41–44. En los años siguientes, Wegener también aludiría como origen de su hipótesis a una síntesis publicada en 1911 en la que se comparaban los resultados paleontológicos entre Brasil y África; véanse: Wegener (1922), op. cit. (nota [6]), p. 16, Wegener (1929), op. cit. (nota [6]), p. 13. Aunque Wegener nunca aclararía la referencia, al parecer se trata, según sostiene Brouwer (1983), del estudio realizado por el geólogo y paleontólogo alemán Erich Krenkel (1880–1964) sobre el Cretácico de África; véanse: Krenkel, E. (1911). *Die Entwicklung der Kreideformation auf dem afrikanischen Kontinente*. *Geologische Rundschau*, 2(5/6), 330–366 [este trabajo fue reproducido en *Berichte über die Fortschritte der Geologie*, 2, 117–153 (1911)]; Brouwer, A. (1983). *Was veranlasste Alfred Wegener zum Studium der Kontinentverschiebung?* *Geologische Rundschau*, 72(2), 739–741. Está o no en lo cierto Brouwer, resulta paradójico que ese trabajo de Krenkel no aparezca citado en estos primeros artículos de Wegener, ni en sus publicaciones posteriores. [NT]

Europa que posee menos montañas, la zona disruptiva de América Central con el Mediterráneo europeo, y la plataforma de Sudamérica con la gran plataforma africana. Allí donde las costas aparecen desgarradas en el lado occidental (Groenlandia–Norteamérica) también lo están en la parte oriental (Europa). Donde prevalece un simple trazado recto (Sudamérica), se encuentra también el mismo perfil en el otro lado (África), con los contornos casi congruentes puesto que se trata del mismo proceso.

Y aún hay más. En las zonas que conocemos mejor, concretamente en Europa y Norteamérica, prevalece una concordancia casi completa en los detalles. Suess¹⁴⁵ ha discutido estas relaciones en diferentes partes de su obra magna. La zona más septentrional está formada por gneis a ambos lados; en Europa se trata de la región gnéisica de Lofoten y las Hébridas, en el oeste se encuentra el macizo de Groenlandia constituido casi exclusivamente de gneis, incluso la costa oeste del estrecho de Davies y la bahía de Baffin están formadas por montañas de gneis, que se extienden a través de Cumberland y El Labrador hasta el estrecho de Belle Isle al sur.

Las relaciones más destacadas fueron descubiertas por primera vez en 1887 por Marcel Bertrand^[146] entre las cadenas plegadas meridionales de una cordillera carbonífera, la Armoricana^[147] de Suess, y su homóloga norteamericana, que parece la continuación directa de la europea. Esta cadena montañosa que en la actualidad es parcialmente una penillanura se desgarran en Europa, pasa desde el interior del continente en un arco primero hacia el oeste–noroeste, luego hacia el oeste, para finalizar repentinamente en el litoral suroeste de Irlanda y Bretaña formando una costa desgarrada y singular (la llamada costa de rías). «La suposición de que la costa de rías entre la bahía de Dingle y La Rochelle era el extremo natural de esta gran estructura podría contradecir toda experiencia. Su continuación hay que buscarla bajo el océano Atlántico o más allá» (Suess).^[148]

La continuación en el lado americano se encuentra en los Apalaches, en Nueva Escocia y Terranova. También aquí una cadena montañosa carbonífera plegada con una vergencia hacia el norte como en Europa, finaliza bruscamente en el mar con la forma típica de una costa de rías, en la que se reconoce una dirección noreste, y luego este. La fauna y la flora a ambos lados se muestran idénticas, no solo en el período Carbonífero, sino que la identidad también se reconoce cada vez más en los estratos más antiguos, conforme se incrementa el material de observación. Debemos pasar por alto numerosos estudios sobre este tema como los de Dawson, Bertrand, Walcott, Ami, Salter, etc.^[149]

La fragmentación de los «Altaiés transatlánticos», como los denomina Suess,^[150] en posiciones realmente opuestas, constituye la prueba más convincente de que las costas se corresponden unas con otras. La vieja opinión de que la conexión de la cadena montañosa se ha hundido en el Atlántico constituye una dificultad porque, como ha señalado Penck,^[151] la relación supuestamente perdida sería más larga que la cadena conocida.

Las regiones más meridionales están aún muy poco investigadas desde el punto de vista geológico para permitir una comparación exacta. Por ejemplo, L. Gentil^[152] creyó haber reconocido la prolongación del Alto

145 Suess (1888), op. cit. [nota 91], p. 164; Suess (1901), op. cit. [nota 95], p. 60 y 77. [NT: Suess (1888/1925), op. cit. (nota 91), pp. 129–131, 205; Suess (1901/1928), op. cit. (nota 95), p. 9].

[146] Véase la nota 117. [NT]

[147] Suess llamó cordillera armoricana a la cadena montañosa que se originó antes del Pérmico en Europa occidental, una gran cadena de pliegues que desde el sur de Irlanda se dirige primero hacia el este, pasando por Gales e Inglaterra hasta Bélgica, y luego gira hacia el oeste, y que contrasta con el plegamiento caledoniano en dirección y antigüedad; sus rasgos interiores más sobresalientes se observan en la Bretaña francesa, de ahí su nombre (del celta are mori, que significa tierra frente al mar); véase: Suess (1888/1925), op. cit. (nota 91), pp. 81–92. [NT]

[148] Suess (1901/1928), op. cit. (nota 95), p. 457. [NT]

[149] La relación de los trabajos de los autores a los que se hace referencia es muy exhaustiva; se citan solo algunos representativos que pudo haber consultado Wegener; véanse, por ejemplo: Ami, H.M. (1900). Notes bearing on the Devonian–Carboniferous problems in Nova Scotia and New Brunswick. Ottawa Naturalist, 14(7), 121–127; Ami, H.M. (1900). Notes on some of the formations belonging to the Carboniferous system in eastern Canada. The Canadian Record of Science, 8, 149–163; Bertrand, M. (1887), op. cit. (nota [117]), p. 442; Dawson, J.W. (1868). Acadian geology. The geological structure, organic remains, and mineral resources of Nova Scotia, New Brunswick, and Prince Edward Island. Macmillan, Londres, xxvi+694 pp. (2ª ed) (sobre el Carbonífero, en concreto, véanse caps. x–xx, pp. 128–496); Salter, J.W. (1863). On some fossil Crustacea from the Coal-Measures and Devonian rocks of British North America. Quarterly Journal of the Geological Society, 19, 75–80; Walcott, C.D. (1899). Precambrian fossiliferous formation. Bulletin of the Geological Society of America, 10, 199–224. [Henri–Marc Ami (1858–1931), paleontólogo y geocronólogo canadiense; John William Dawson (1820–1899), geólogo canadiense; John William Salter (1820–1869), geólogo y paleontólogo británico; Charles Doolittle Walcott (1850–1927), paleontólogo norteamericano]. [NT]

[150] Aunque el nombre se debe a Suess, la relación entre estas costas opuestas del Atlántico ya había sido señalada en 1887 por M. Bertrand, uno de los padres de la tectónica; véanse: Bertrand (1887), op. cit. (nota [117]); Suess (1901/1928), op. cit. (nota 95), pp. 455–458. [NT]

[151] Penck, A. (1909). North America and Europe: a geographical comparison. Science, 29(739), 321–329. [Albrecht Penck (1858–1945), geógrafo alemán]. [NT]

[152] Gentil, L. (1910). Contribution à l'étude tectonique du Haut-Atlas marocain. Bulletin de la Société géologique de France, 10, 162–163, y 486–488. [Louis Gentil (1868–1925), geólogo francés]. [NT]

Atlas en las Islas Canarias y en Cabo Verde así como en las Antillas. Comparando las floras, Engler^[153] llegó a la conclusión de que la conexión continental debe haber existido exactamente entre los puntos correspondientes, es decir, al norte de Brasil, sudeste de la desembocadura del Amazonas y la bahía de Biafra (Camerún), y Suess,^[154] comparando los sedimentos (hasta donde se sabe), encontró una « semejanza llamativa » con los resultados de Engler. Sin embargo, estos datos son por supuesto muy poco claros, y en el futuro tendrá que realizarse una comparación minuciosa.

Además de estos hallazgos estructurales estamos interesados en dos cuestiones más que nos parecen de especial importancia e incentivo, pero que solo trataremos brevemente como un supuesto. Por un lado, y en primer lugar debido a los hallazgos paleontológicos, si hemos de aceptar una conexión directa entre América y Europa-África hasta una cierta época, y por otro lado, si ese fuera el caso, cuándo tuvo lugar la separación. Ambas cuestiones han sido consideradas durante mucho tiempo, y se debe usar cualquier información nueva en cuanto a corregir las suposiciones. Puede verse con facilidad que estos puntos son totalmente independientes de si se aceptan los desplazamientos horizontales de los bloques continentales o los puentes terrestres hundidos. Por esta razón bastará aquí esquematizar brevemente los resultados a los que se ha llegado hasta ahora. En primer lugar, debe hacerse hincapié en un aspecto que interpretan los resultados paleontológicos y que dificultan nuestros propósitos: las transgresiones. Incluso una transgresión somera puede separar algunas partes de un mismo bloque continental en cuanto a la flora y la fauna, por lo que resulta difícil en muchos casos distinguir si una fractura o separación se ha debido a una transgresión marina.

En lo que respecta, en primer lugar, a Sudamérica y África, los geólogos y los biogeógrafos coinciden más que nunca en el hecho de que existió una conexión terrestre amplia durante el Mesozoico,¹⁵⁵ un continente brasileño-africano. Von Ihering lo denominó « Archhelenis ».^[156] Sus investigaciones recientes^[157] y también las de Ortmann,^[158] Stromer,^[159] Keilhack^[160] y Eigenmann,^[161] han situado el momento en el que se rompió la conexión en el período Terciario, más concretamente a finales del Eoceno o principios del Oligoceno, con mayor seguridad.¹⁶² La determinación exacta del momento **[255]** será, desde luego, el tema de posteriores investigaciones paleontológicas. La gran fractura casi meridional se habría formado durante esa época y en ese momento habría comenzado la apertura del Atlántico.

[153] Engler, A. (1905). *Über Floristische Verwandtschaften zwischen dem tropischen Afrika und Amerika sowie über die Annahme eines versunkenen brasilianisch-aethiopischen Kontinentes*. Sitzungsberichten der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisches-mathematisches Klasse, I, 180-231. [Adolf Engler (1844-1930), botánico alemán]. [NT]

[154] Suess (1909/1930), op. cit. (nota [99]), pp. 431-433. [NT]

155 Compárese, entre otros, Arldt, T. (1907). *Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt. Ein Beitrag zur vergleichenden Erdgeschichte*. Engelmann, Leipzig, pp. 444-451. [NT: Esta obra del naturalista alemán Theodor Arldt (1878-1960) es una de las más importantes contribuciones científicas de la época a la paleogeografía y la distribución de los seres vivos, y en la que encontró Wegener abundantes datos a favor de sus ideas].

[156] El zoólogo y paleontólogo germano-brasileño Hermann von Ihering (1850-1930), tras estudiar la fauna fósil de las regiones tropicales, consideró en 1907 la existencia de una antigua conexión terrestre entre Sudamérica, África y la Antártida que se habría hundido después del Plioceno; el puente que unía Sudamérica con África lo denominó Archhelenis, y la conexión entre la parte más meridional de Sudamérica con la Antártida, Archinotis; véase: Ihering, H. von (1907). Archhelenis und Archinotis: gesammelte Beiträge zur Geschichte der neotropischen Region. W. Engelmann, Leipzig, 350 pp. [NT]

[157] Ihering, H. von (1907). *Les mollusques fossiles du Tertiaire et Crétacé supérieur de l'Argentine*. Anales del Museo Nacional de Historia Natural, Buenos Aires, 7 (serie 3), 1-611; Ihering, H. von (1908). *Die entstehungsgeschichte der fauna der neotropischen region*. Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft, Wien, 58, 282-302; Ihering, H. von (1911). *Die Umwandlungen des amerikanischen Kontinentes während der Tertiärzeit*. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaontologie, 32, 134-176. [NT]

[158] Ortmann, A.E. (1902). *The geographical distribution of freshwater decapods and its bearing upon ancient geography*. Proceedings of the American Philosophical Society, 41(171), 267-400; Ortmann, A.E. (1910). Tertiary Archhelenis. American Naturalist, 44(520), 237-242. A partir de las ideas expresadas por el zoólogo germano-norteamericano Arnold Edward Ortmann (1863-1927) en el primer trabajo, el también norteamericano y geólogo aficionado Howard B. Baker (1872-?) trazó unos esquemas que representaban acoples entre el continente americano, tanto del norte como del sur, con África muy semejantes a los que propondría Wegener en los años siguientes; véase, por ejemplo: Baker, H.B. (1913). *The origin of continental forms*. III. 15th Report of the Michigan Academy of Science, pp. 107-113. [NT]

[159] Stromer, E. (1909). *Über Alttertiär in Westafrika und die Südatlantis*. Jahrbuch der Königlich Preussischen Akademie der Geologie, 30(1/3), 511-515. [Ernst Stromer von Reichenbach (1871-1952), paleontólogo alemán]. [NT]

[160] Keilhack, K. (1895). *Alte Eiszeiten der Erde*. Himmel und Erde, 7, 249-261. [Friedrich Ludwig Heinrich Konrad Keilhack (1858-1944), geólogo alemán]. [NT]

[161] Eigenmann, C.H. (1909). *The fresh-water fishes of Patagonia and an examination of the Archiplata-Archhelenis theory*. En: Reports of the Princeton University expeditions to Patagonia 1896-1899. Zoology. Fishes Patagonia, 3(3), 225-374. [Carl H. Eigenmann (1863-1927), ictiólogo alemán]. [NT]

162 Dentro de las cinco divisiones del período Terciario, Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno, Haug y Kayser sitúan la separación antes del Mioceno, von Ihering, Ortmann y Stromer en el Eoceno; este último y Eigenmann asumen una conexión aún para el Eoceno inferior.

También se acepta otra amplia conexión terrestre entre Europa y Norteamérica para los primeros tiempos del Terciario, que facilitó el intercambio de formas, que fue interrumpida en el Oligoceno y finalizó totalmente durante el Mioceno. Podemos suponer así que probablemente la fisura progresó lentamente de sur a norte. Por ahora, algunas formas más antiguas muestran que al menos en el extremo norte de Europa y Norteamérica, en Escandinavia y Groenlandia, es muy probable que existiera hasta la Edad de Hielo una conexión terrestre entre estos continentes.¹⁶³ Solo se mencionan aquí unos cuantos argumentos de interés más general: el brezo común (*Calluna vulgaris*) solo se encuentra fuera de Europa en Terranova y en las regiones que la bordean hacia el sur; especialmente la gran mayoría de las especies norteamericanas que se encuentran en Europa están restringidas al extremo occidental de Irlanda. La familia de las percas está generalmente ausente al oeste de Norteamérica así como en Asia oriental, por consiguiente no pudo haber emigrado hasta América a través del estrecho de Bering. El caracol de jardín (*Helix hortensis*) vive no solo en la Europa continental, sino también en Irlanda, Groenlandia, El Labrador, Terranova hasta alcanzar el noreste de los Estados Unidos, entre otros ejemplos. En nuestra opinión, Norteamérica, Groenlandia, y Europa habrían constituido un bloque continuo hasta la Edad de Hielo y el casquete glaciario habría sido mucho más pequeño de lo que se pensaba hasta ahora. De este modo es mucho más fácil entender obviamente todos los fenómenos de este período glacial.

La existencia de un clima estepario durante los períodos interglaciales en Europa central también está de acuerdo con estas concepciones, como se deduce de los numerosos relictos^[164] de animales de la estepa. Alemania debe haber tenido obviamente un clima como el actual del sur de Rusia o de Siberia occidental. Esto no sería explicable con el profundo océano de hoy día tan próximo al oeste. A pesar de esto, se ha señalado que el casquete glaciario tiene que haber estado recubierto por las altas presiones, produciendo vientos del este en su margen meridional y por ende trayendo un clima continental hasta Europa central; no obstante, se olvida que este viento del este solo puede extenderse más allá del casquete glaciario (compárese con la Antártida y Groenlandia), y no existe en la actualidad un clima estepario análogo que borde un casquete glaciario. No obstante, todo esto tiene que ver directamente con los períodos interglaciales, en los que tanto el casquete glaciario como los vientos del este en las regiones de altas presiones deben haber desaparecido. Nuestra hipótesis resuelve esta situación embarazosa; puesto que si en aquellos tiempos, Groenlandia estaba aún unida a Europa y a América, entonces el Atlántico Norte formaba solo un estrecho brazo de mar que no podría afectar substancialmente todavía al clima continental de Europa.

Existe asimismo una interesante relación entre Norteamérica y Sudamérica. Tal y como supuso por primera vez Osborn^[165] y más tarde explicó Scharff,^[166] también hubo una conexión terrestre accesible entre estos dos bloques hasta principios del Terciario, posteriormente se rompió, y solo a finales de este período (de acuerdo con Kayser durante el Plioceno) quedó una extensión restringida a la actual América Central. Hasta ahora se ha buscado un puente terrestre anterior al Terciario generalmente por el oeste, en la región de las Galápagos. En nuestra suposición es probable que se hubiera formado simplemente en el África noroccidental, la conexión finalizó primero tras la fractura, pero más tarde, a una escala limitada, se reestableció de nuevo durante la apertura del Atlántico y al mismo tiempo que el plegamiento de los Andes.

Puesto que los Andes se plegaron simultáneamente con la apertura del océano Atlántico, la idea de una relación causal se dio desde el principio. La separación hacia el oeste de los bloques americanos se encontró probablemente con la resistencia del fondo del Pacífico, muy antiguo y solo un poco plástico, por lo que la extensa plataforma del margen occidental del bloque continental con abundantes sedimentos habría sido empujada hacia los pliegues montañosos. Tenemos aquí, pues, un ejemplo de cómo los bloques sálicos se comportan de una forma más plástica en contraste con el sima relativamente rígido. Sin embargo, es posible

163 Scharff, R.F. (1909): *Über die Beweisgründe für eine frühere Landbrücke zwischen Nordeuropa und Nordamerika*. Proceedings of the Royal Irish Academy, 28(1), 1–28; según el trabajo de Arldt, T. (1910). *Referat Scharff: Über die Beweisgründe für eine frühere Landbrücke zwischen Nordeuropa und Nordamerika*. Naturwissenschaftlichen Rundschau, 25, 86–87. [NT: Tal y como aclara Wegener, en realidad no había leído los argumentos del zoogeógrafo británico Robert Francis Scharff (1858–1934) en favor de una antigua conexión terrestre entre Norteamérica y Europa septentrional; su cita es sobre el comentario hecho al respecto por Arldt].

[164] Wegener se refiere aquí, y también más adelante (p. [256]), al interesante problema biogeográfico de los relictos, es decir, a aquellas especies animales o vegetales que actualmente viven relegadas en zonas muy restringidas, pero que en el pasado tuvieron un área de distribución o dispersión mucho más amplia. Mientras que la teoría de los puentes terrestres consideraba estos organismos casi con exclusividad el testimonio de un cambio climático, el movi­lismo continental añadiría otra posible explicación más coherente, y en este caso además doble, es decir, tanto para las variaciones del clima como para la distribución de los relictos, a lo que el científico alemán dedicaría sendos capítulos en su obra posterior; véanse, por ejemplo: Wegener (1922), op. cit. (nota [6]), caps. 5 y 6; Wegener (1929), op. cit. (nota [6]), caps. 6 y 7. [NT]

[165] Osborn, H.F. (1900). *Correlation between Tertiary mammal horizons of Europe and America. An introduction to the more exact investigation of Tertiary Zoogeography. Preliminary study*. Annals of the New York Academy of Science, 13, 1–72. [Henry Fairfield Osborn (1857–1935), geólogo y paleontólogo norteamericano]. [NT]

[166] Scharff, R.F. (1909). *On an early Tertiary land-connection between North and South America*. American Naturalist, 43(513), 513–531. [NT]

suponer que con toda probabilidad también el sima cediera, de tal forma que el plegamiento de los Andes no necesita corresponderse con la anchura total del Atlántico (unos 4.000 km). Si tenemos en cuenta incluso la estructura de manto plegado discutida con anterioridad, según la cual la región no plegada, como en los Alpes, puede haber sido de cuatro a ocho veces tan ancha como el cinturón montañoso, no veo problema alguno en suponer una relación causal entre el plegamiento andino y el origen del Atlántico.¹⁶⁷

3. *Continente de Gondwana*. Aplicando las ideas anteriores sobre la conexión entre el plegamiento y los desplazamientos horizontales con el plegamiento terciario del Himalaya, llegamos a numerosas relaciones sorprendentes. Si cada bloque, cuya compresión condujo a la cordillera montañosa más alta de la Tierra, era de una dimensión parecida de acuerdo con la teoría del sobreempuje como en el caso de los Alpes y como aceptamos actualmente para los Andes, la India debe haber sido una extensa península antes del plegamiento, cuyo extremo meridional debe haberse situado junto a Sudáfrica. Esta compresión de una larga península explica por sí misma la posición peculiar privilegiada de la India como un «fragmento de un todo» (Suess)^[168] en su actual emplazamiento.

De hecho, durante mucho tiempo se ha aceptado esta larga y antigua península indo-malgache de «Lemuria» por razones paleontológicas, mucho antes de su supuesto hundimiento que la separó del bloque africano por el amplio canal de Mozambique y su prolongación septentrional, [256] separada así por una fractura meridional ancha según nuestra opinión. De acuerdo con Dacqué^[169] y otros autores, esta fractura se habría producido en la primera de las tres divisiones del Mesozoico (Triásico, Jurásico, Cretácico) y estaba completa allá por el Jurásico inferior (Liásico). Douvillé^[170] también llega a la conclusión de que Madagascar no tenía una conexión directa con África ya en el Triásico. Si esto pudiera confirmarse, se habría producido ya esta escisión entre la gran península índica oriental y África mucho antes de que se abriera el océano Atlántico Sur. Sin embargo, la compresión de la península es probable que tuviese lugar principalmente durante el Terciario, y aún continúa.¹⁷¹

Los resultados paleontológicos no dejan lugar a dudas de que Australia tuvo una conexión terrestre directa con la India y con Sudáfrica y Sudamérica. Esta tierra firme ha sido denominada «Continente de Gondwana»,^[172]

167 Se advierte expresamente que la presentación es necesariamente algo esquemática en muchos puntos. Especialmente en Norteamérica solo las cadenas más occidentales de la Cordillera son de origen terciario, mientras que las orientales son más antiguas, aumentando esta antigüedad hacia el este. Por supuesto, solo los pliegues terciarios pueden relacionarse con la separación de Europa.

[168] Suess consideraba la península índica como un fragmento del continente de Gondwana; véase: Suess (1909/1930), op. cit. (nota [99]), p. 265; véase, además, la nota [172]. [NT]

[169] Dacqué, E. (1910). *Der Jura im Umkreis des lemurischen Kontinentes*. Geologische Rundschau, 1(3), 148-168. [Edgar Dacqué (1878-1945), paleontólogo alemán]. [NT]

[170] Douvillé, H. (1901). *Sur le terrain jurassique de Madagascar*. Compte Rendus du VIII^e Congrès Géologique International (Paris/1900), pp. 429-438. [Henri Douvillé (1846-1937), paleontólogo francés]. [NT]

171 En ocasiones se habla en geología de «presión unilateral» durante la formación de las montañas, y en especial para el Himalaya se supone que la presión provino del N, no del S. Por el contrario, se debe hacer hincapié en que, de acuerdo con el principio físico bien conocido de acción-reacción, también la presión debe ser igual a la presión contraria. A ambos lados de la cadena montañosa actúa la misma presión, y si no obstante se observa una estructura asimétrica de la misma, la causa solo puede recaer en otros factores, como una diferencia en tamaño o espesor de ambos bloques, diferente rigidez (de tal forma que solo se pliega uno) y otras cosas parecidas, de lo que no se puede derivar argumento alguno en contra del modelo anterior.

[172] 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; véase: Suess (1885), op. cit. (nota 27), pp. 767-768 [Suess (1885/1923), op. cit. (nota 27), p. 604]. Sin embargo, el término Gondwana había sido acuñado algunos años antes, en 1872, por el geólogo británico Henry Bénédict 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; véase: Medlicott, H.B. (1872). *Note on the exploration for coal in the northern region of the Satpura basin*. Records of the Geological Survey of India, 5(4), 109-128. Este término de Gondwana apareció publicado por primera vez en 1876 en un estudio del geólogo y paleontólogo checo (que trabajaba para el Geological Survey británico en la India) Ottokar Feistmantel (1848-1891) sobre la flora del Jurásico de la India; véase: 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; como sistema aparece descrito por primera vez en: Medlicott, H.B. y Blanford, W.T. (1879). *A Manual of the Geology of India and Burma*. Geological Survey of India, Calcuta, vol. 1, p. 44. El nombre procede del sánscrito Gondawana, 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 (2^a edición 2004), u hombres de testículos de toro, según Carey, S.W. (1988). *Theories of the earth and universe. A history of dogma in the earth sciences*. Stanford University Press, Stanford (CA), p. 98; para una interesante discusión sobre la utilización de ambos términos, véanse: Schwarzbach, M. (1981). *Gondwana and "Gondwanaland" discussion*. Geologische Rundschau, 70(2), 497-498; Şengör, A.M.C. (1983). *Gondwana and "Gondwanaland": A discussion*. Geologische Rundschau, 72(1), 397-400; 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; Sorkhabi, R.B. (1996). *What's in a name - 'Gondwana' or 'Gondwanaland'?* Episodes, 19(3), 82-84. [NT]

a la que se tiene que atribuir una extensión muy amplia a partir de la situación actual de los relictos. De esta forma debemos asumir también que el bloque australiano estuvo directamente unido al continente primitivo en épocas anteriores. Su separación de África y de la India parece coincidir con la misma época de su separación mutua; porque durante el Pérmico (inmediatamente anterior al Triásico), la conexión aún permanecía, mientras que durante el período Jurásico, que sigue al Triásico, ya no existía la unión. Por otro lado, como han resaltado Hedley^[173] y Osborn^[174] entre otros autores, parece haber existido un vínculo con Sudamérica que se rompió a principios del Cuaternario. Es probable que este enlace fuese a través del polo sur continental, aún casi desconocido desafortunadamente. Debido a nuestro conocimiento insuficiente de estas regiones, la afiliación del bloque australiano en particular continúa siendo totalmente insegura. Por ahora, parece que la costa occidental de Australia estuvo directamente unida a la costa oriental de la India, como se ha dicho, pero que se escindió durante el Triásico, mientras que toda la costa meridional se mantenía firmemente unida a la Antártida. Parece que más tarde el bloque antártico, de una forma parecida a Sudamérica respecto de África, se separó hacia el Pacífico, durante el Terciario; muchos autores consideran una continuación directa de los Andes sudamericanos la gran cadena montañosa de la que solo conocemos los extremos en la Tierra de Graham y la Tierra de Victoria. El bloque australiano se separó antes del Cuaternario, transportando en su borde oriental la prolongación de los Andes antárticos, de los que Nueva Zelanda puede representar un fragmento desgajado. Sin embargo, puede decirse que estas ideas deben ser consideradas solo como un primer intento orientativo.

Es importante la cartografía de la región australiana, que apoya totalmente la idea, y me sugiere que este continente, con su promontorio septentrional de Nueva Guinea, empuja hacia el norte y colisionó con la prolongación meridional de Indochina. Wallace^[175] fue el primero en prestar atención a la gran diferencia de las faunas de Nueva Guinea, que están relacionadas con Australia, y el archipiélago de Sonda, perteneciente a Indochina, lo que hace que el actual contacto cercano parezca una coincidencia.¹⁷⁶ Es probable que las grandes montañas de Nueva Guinea estén relacionadas con este movimiento hacia el norte.

4. *La glaciación Pérmica.* Una ratificación sorprendente para estas ideas parece provenir de la glaciación Pérmica (o Carbonífera, de acuerdo con algunos investigadores), cuyas huellas se han encontrado en lugares muy diversos del hemisferio sur, mientras que faltan en el hemisferio norte. Esta edad de hielo Pérmica ha constituido hasta ahora un misterio irresoluble para la paleogeografía. Porque se han encontrado morrenas de fondo incuestionables de un extenso casquete glaciar sobre un basamento típicamente estriado en Australia,¹⁷⁷ Sudáfrica,¹⁷⁸ Sudamérica,¹⁷⁹ y especialmente en la India oriental. Koken¹⁸⁰ ha mostrado en un trabajo especial y mediante mapas que con la actual configuración de las masas terrestres es totalmente imposible un casquete glaciar de semejante extensión.

Porque incluso si se omiten las observaciones sobre Sudamérica como inciertas, lo que es difícil de aceptar hoy día, y el polo se sitúa en la posición más favorable que se pueda concebir, es decir, en el centro del océano Índico, entonces las regiones heladas más lejanas tendrían incluso una latitud geo-

[173] Hedley, C. (1911). *Palaeogeographic relations of Antarctica*. Proceedings of the Linnean Society of London, 124, 80-90. [Charles Hedley (1862-1926), malacólogo anglo-australiano]. [NT]

[174] Osborn, H.F. (1910). The age of mammals in Europe, Asia and North America. Macmillan, Nueva York, p. 64. [NT]

[175] Wallace, A.R. (1860). *On the zoological geography of the Malay Archipelago*. Journal of the Linnean Society of London (Zoology), 4, 172-184; aunque no lo especifica, es muy probable que Wegener consultase la obra Wallace, A.R. (1869). *Der Malayische Archipel*. Westermann, Brunswick (trad. alemana 1869), vol. I, cap. I (edición original: The Malay Archipelago. Harper & Bro., Nueva York/1869). [NT]

176 La «línea Wallace», válida principalmente para los mamíferos, no coincide completamente con el límite tectónico de los bloques continentales. [NT: La Línea Wallace es una línea hipotética que pasa entre Borneo y las Islas Célebes, y que sirve de divisoria biogeográfica entre Asia y Australia; el término fue acuñado en 1868 por el naturalista británico Thomas Henry Huxley (1825-1895) en honor a A.R. Wallace que desarrolló sus estudios principalmente en esta zona del sudeste asiático (nota anterior); véase: Huxley, T. (1868). *On the classification and distribution of the Alectoromorphae and Heteromorphae*. Proceedings of the Zoological Society of London, Scientific Memoirs 3, 297-319; véase, además: George, W. (1981). *Wallace and his line*. En: Whitmore, T.C. (ed.). *Wallace's Line and Plate Tectonics*. Oxford University Press, Oxford, pp. 3-8].

177 Victoria, Nueva Gales del Sur, Queensland, Tasmania, y Nueva Zelanda.

178 Últimamente se han encontrado bloques similares de margas también en el Congo y en Togo.

179 En Brasil (Río Grande del Sur) y en el noroeste de Argentina; los estratos han sido aún poco estudiados. De acuerdo con la expedición sueca al polo sur, las islas Malvinas parecen aportar también la misma evidencia. Véase: Kayser, E. (1911). *Lehrbuch der geologischen Formationslehre*. F. Enke, Stuttgart (4ª edición), p. 266. [NT: La expedición sueca al polo sur (1901-1903) fue dirigida por el geólogo y explorador sueco Otto Nordenskjöld (1869-1928) a bordo del «Antarctic»; véase: Nordenskjöld, O., Andersson, J., Larsen, C. y Skottsberg, C. (1904). *Dos años en los hielos del polo*. Zagjer y Urruty, Ushuaia (trad. castellana 2004), 2 vols., 352+432 pp.; los resultados científicos se encuentran en: Nordenskjöld, O. (ed.) (1908). *Wissenschaftliche ergebnisse der Schwedischen südpolar-expedition 1901-1903*. Lithographisches Institut des Generalstabs, Estocolmo].

180 Koken, E. (1907). *Indisches Perm und die permische Eiszeit*. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie Festband, pp. 446-546. [NT: Ernst Koken (1860-1912), paleontólogo alemán].

gráfica de unos 30–35°. En una glaciación como ésta es difícil que algún punto de la superficie terrestre hubiera permanecido libre de los fenómenos glaciales. Y además el polo norte caería en México, donde no se encuentran huellas de una glaciación en el Pérmico. Los ejemplos sudamericanos caerían incluso sobre el ecuador.

Así, pues, la edad de hielo pérmica posee un problema irresoluble para todos los modelos que no se atrevan a aceptar los desplazamientos horizontales de los continentes. Sin el resto de los argumentos que sugerirían estas condiciones, esto refleja, como ya ha recalado Penck,¹⁸¹ «que el movimiento horizontal de la corteza terrestre constituye seriamente una hipótesis de trabajo que debería tomarse en consideración».

Si reconstruimos la configuración durante el Pérmico de acuerdo con estas ideas, todas las regiones afectadas por la glaciación se desplazaron juntas concéntricamente hacia el extremo sur de África, y solo es posible situar el polo sur en una región muy restringida a los hielos para poder explicar todas estas características. Así, pues, el polo norte caería probablemente en el Pacífico, más allá de un estrecho de Bering amplio en esa época.

[305]

El origen de los continentes (cont.)^[182]

5. *Las regiones atlántica y pacífica.* Durante mucho tiempo se han señalado las grandes diferencias morfológicas entre las regiones atlántica y pacífica. Suess¹⁸³ describe esto de la siguiente forma: «Los rasgos internos de los plegamientos, la irregular costa de rías, que indica el hundimiento de las cadenas, el borde fracturado de los horsts y la rotura de las plataformas continentales, dieron forma a los diversos márgenes del océano Atlántico. La misma estructura costera también domina el océano Índico hasta la desembocadura del Ganges, donde el margen exterior de las cadenas euroasiáticas alcanza el mar. La costa oeste de Australia muestra también la estructura atlántica... Con la excepción de parte de la costa centroamericana en Guatemala, donde se ha hundido la flexionada cordillera de las Antillas, la totalidad de los márgenes mejor conocidos del Pacífico están formados por cadenas de plegamiento, los pliegues tienen su vergencia hacia el océano de tal forma que las cadenas de plegamiento exteriores forman la costa o penínsulas y grupos de islas. Ninguna cadena de plegamiento se enfrenta al Pacífico desde sus bordes internos; ninguna plataforma se extiende dentro del océano».

Junto a las diferencias morfológicas existen varias otras. Becke^[184] notó en 1903 que las lavas volcánicas de la zona atlántica difieren fundamentalmente de las del Pacífico; las lavas atlánticas contienen más álcalis, especialmente Na, mientras que en las pacíficas hay menos materiales alcalinos, y predominan el Ca y el Mg. Suess^[185] se pregunta por tanto «si el descenso de Ca y Mg en la región atlántica no podría estar relacionado con una progresión en la rigidez».

Existe una diferencia sistemática entre las profundidades oceánicas. De acuerdo con Krümmel,¹⁸⁶ la profundidad media del Pacífico es de 4.097 m, la del Atlántico 3.858 m, mientras que la del océano Índico, con una mitad de carácter pacífico y la otra de carácter atlántico, es 3.929 m, lo que sugiere una vez más que el lado occidental atlántico es más somero que la zona oriental pacífica. El mismo esquema se mantiene para los sedimentos marinos. Como se muestra en la Lámina I.3, los lodos rojos abisales y los lodos de radiolarios,

181 Penck, A. (1906). *Südafrika und Sambesifälle*. Geographische Zeitschrift, 12(11), 601–611.

[182] Referencia original: Wegener, A.L. (1912c). *Die Entstehung der Kontinente*. Petermanns Geographische Mitteilungen, 58(6), 305–309. [NT]

183 Suess (1888), op. cit. [nota 91], p. 256. [NT: Suess (1888/1925), op. cit. (nota 91), p. 207].

[184] Becke, F. (1903). *Die Eruptivgebiete des böhmischen Mittelgebirges und der amerikanischen Anden. Atlantische und pazifische Sippe der Eruptive-Gesteine*. Tschemm's Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 22, 209–265. Existe además otra referencia anterior sobre este tema del mismo autor: Becke, F. (1902). *Das böhmische und des amerikanische Eruptivgebiet, ein chemisch-petrographischer Vergleich*. Verhandlungen Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, Versammlung zu Karlsbad, 2 Theil, Sitzungen der Naturwissenschaften-Abtheilung, pp. 125–126. Esta distinción entre los materiales ígneos había sido adelantada en 1896 por el petrólogo británico Alfred Harker (1859–1939) a partir de sus estudios sobre la colección de rocas de la expedición del Beagle (1831–36); véanse: Harker, A. (1896). *Natural history of igneous rocks. I. Their geographical and chronological distribution*. Science Progress, 6, 12–23; Harker, A. (1907). *Notes on the rocks of the "Beagle" Collection*. Geological Magazine, 5th series, 4, 100–106; véase, además: Harker, A. (1909). *The natural history of igneous rocks*. Hafner, Nueva York (edición 1965), preferentemente caps. v–vii, pp. 110–189. [Friedrich Becke (1855–1931), petrólogo checo-austriaco]. [NT]

[185] Suess (1909/1930), op. cit. (nota [99]), p. 358. [NT]

186 Krümmel, O. (1907). *Handbuch der Ozeanographie*. J. Engelhorn, Stuttgart, vol. I, p. 144.

ambos sedimentos abisales característicos, están restringidos principalmente al océano Pacífico y a la zona oriental del océano Índico, mientras que el Atlántico y el Índico occidental están cubiertos por sedimentos «epilóficos», cuyo mayor contenido en calcita está causado por una profundidad más somera.

No podría explicarse la obviedad de estas diferencias. «Se desconocen las razones más profundas de la diferencia entre las regiones pacífica y atlántica» (Suess).^[187] Nuestra hipótesis nos conduce automáticamente a una diferencia fundamental. Mientras se abre el Atlántico, casi todos los bordes del Pacífico se acercan a su centro, a lo largo de sus costas tiene lugar una compresión amplia y una convergencia, mientras que en el Atlántico se produce tensión y fractura. De acuerdo con la discusión anterior, las primeras separaciones en torno a Sudáfrica ocurrieron durante el Triásico. Pero no se produjo el correspondiente plegamiento en las montañas de El Cabo, es decir, una compresión horizontal, desde el Pérmico. En el África sahariano no ha habido plegamiento desde el Silúrico superior, y a lo largo de la «Línea Armórica» desde el Carbonífero medio. Se puede aceptar que la fractura que se abrió en algún momento para formar el Pacífico y comprimió el continente primitivo desde ambos bordes, se originó en épocas geológicas más antiguas, y que el movimiento resultante no se extinguió mucho tiempo después de que comenzaran las fuerzas que formaron el Atlántico. No carece de importancia que la gran edad correspondiente del Pacífico coincida con nuestro conocimiento adicional de esta cuestión. Por supuesto, no tenemos posibilidad real alguna para determinar perfectamente la edad de este océano. Los dientes de tiburón probablemente de edad terciaria que se han encontrado en arcillas rojas abisales, incrustadas a menudo en nódulos de manganeso, y las esférulas frecuentes de meteoritos, nos dicen solo que la arcilla se originó de una forma extremadamente lenta. Puesto que se encontraron también en las partes más profundas del Atlántico por debajo de los 4.000 m, su formación está aparentemente en función de la profundidad más que del tiempo. No obstante, la opinión expresada por Koken,^[188] Frech^[189] (*Lethaea palaeozoica*) y otros autores, de que el Pacífico ha existido desde épocas geológicas muy antiguas,¹⁹⁰ podría ser aceptada en general por geólogos y oceanógrafos hoy en día.

Además, actualmente parece que podemos explicar las diferentes profundidades oceánicas. Puesto que para las grandes áreas tendremos que aceptar una compensación isostática del fondo oceánico, la diferencia significa que el fondo marino que creíamos antiguo es también más pesado que el que pensábamos que era reciente. Más aún, parece innegable que el sima expuesto recientemente en el Atlántico y en el Índico occidental no solo conservará durante mucho tiempo su pequeña rigidez sino también su mayor temperatura (quizás 100° en la gran mayoría de los 100 km de promedio) que los antiguos fondos oceánicos totalmente enfriados en su mayor parte. Esta diferencia de temperatura bastaría probablemente para explicar las diferencias relativamente menores de nivel en las grandes cuencas oceánicas, aunque no es suficiente para explicar las diferencias de peso entre el material continental y el oceánico.¹⁹¹ La variación en la profundidad parece sugerir también que la dorsal [306] mesoatlántica debería ser considerada como la zona en la que el fondo del Atlántico, conforme se va expandiendo, mantiene continuamente la fractura abierta y crea espacio para el sima reciente,^[192] relativamente fluido y caliente, que proviene de las profundidades.

6. *Movimiento del polo.* A pesar de la enorme prudencia bien fundamentada con que se acepta en geología todo lo que tiene que ver con los cambios del polo, recientemente se ha acumulado tanta documentación que

[187] Suess (1909/1930), op. cit. (nota [99]), p. 394. [NT]

[188] Véase la nota 180. [NT]

[189] Frech, F. (1897). *Lethaea Geognostica*. Theil 1. *Lethaea Paleozoica*. E. Schweizerbart, Stuttgart, tomo 1, 788 pp. [Fritz Daniel Frech (1861–1917), geólogo alemán]. [NT]

190 Compárese Haug op. cit. [nota 90], p. 170. De acuerdo con Frech, el Pacífico debería haber existido casi seguro en el Jurásico.

191 El coeficiente de expansión cúbica del granito es 0,000269. Para un aumento de temperatura de 100° la expansión del volumen es 0,00269. Esto también afectaría al descenso del peso específico, si hubiera sido inicialmente 1. Para 2,9 del sima a 0°, se obtendría un valor de 2,892 a 100°. En el caso de la isostasia, para esta diferencia en el peso habría correspondido una diferencia apreciable de nivel.

[192] Wegener intuye aquí el significado real de la dorsal mesoatlántica, aunque no lo llega a asociar con los desplazamientos continentales. Esta idea sería retomada en las décadas siguientes por diversos autores, y constituye una de las ideas-clave de la convección térmica en relación con la hipótesis de la expansión de los fondos oceánicos; véanse, por ejemplo: Molengraaff, G.A.F. (1916). *The coral reef problem and isostasy*. Verhandelingen der Koninklijke Nederlandsche Akademie van Wetenschappen te Amsterdam, 19(1), 610–627; Ampferer, O. (1925). *Über Kontinentalverschiebungen*. Die Naturwissenschaften, 13, 669–675; Gracht, W.A.J.M. v. W. van der (1928). *Introduction: The problem of continental drift*. En: Gracht, W.A.J.M. v. W. van der (ed.). *The theory of continental drift. A symposium* (New York/1926). *American Association of Petroleum Geologists, Tulsa (OK)*, p. 20 (trad. castellana: La teoría de la deriva continental. *Consejería de Educación, Gobierno de Canarias, S/C de Tenerife/1998*, p. 40); Holmes, A. (1931). *Radioactivity and earth movements*. Transactions of the Geological Society of Glasgow, 18(part 2), 559–606; 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 to Honor A.F. Buddington*. *Geological Society of America*, pp. 599–620 [reproducido en: Cox (1973), op. cit. (nota [133]), pp. 23–38]. [NT]

de alguna manera puede considerarse como probada la existencia de un gran cambio. Durante el Terciario el polo norte se desplazó desde el estrecho de Bering hasta Groenlandia, y el polo sur desde Sudáfrica hacia la región del Pacífico.

Durante los primeros tiempos del Terciario, especialmente durante el Paleoceno y a continuación en el Eoceno, el clima de Europa occidental era manifestamente tropical,¹⁹³ y durante el Oligoceno, las palmeras eran comunes en la costa actual del Báltico; en el Oligoceno superior del Wetterau se encuentran por ejemplo grandes cantidades de troncos y hojas de palmeras. Incluso a principios del período siguiente, en el Mioceno, muchas formas tropicales llegaron hasta Alemania, en particular, palmeras, magnolias, laureles, mirtos, etc.; sin embargo, desaparecieron más tarde, los climas se volvieron cada vez más fríos, así que durante la última parte del Terciario, en el Plioceno, las temperaturas en Europa central no fueron muy diferentes de las actuales, y luego siguió la Era Glacial. En este cambio se ve claramente una mayor aproximación al polo. Las observaciones fuera de Europa muestran el mismo escenario de desplazamiento de los polos. A comienzos del Terciario, cuando el polo tenía aún su posición original, como se indica especialmente en el trabajo clásico de Heer,^[194] en Groenlandia, Tierra de Grinnell, Islandia, Isla del Oso, y Spitsbergen –lugares que actualmente están entre 10° y 22° al norte del límite de las zonas arbóreas– crecían hayas, álamos, olmos, robles, incluso taxodios, plataneras, y magnolias.

Esto realmente fue una modificación en la posición del polo, no solo un cambio global del clima, como prueban especialmente las investigaciones de Nathorst^[195] de la primitiva flora del Terciario del Asia Oriental, a partir de las cuales se acepta que el polo norte de la época se situaba a 70° N, 120° E (cerca del delta del Lena). La flora típicamente polar de las islas de Nueva Siberia habrían estado entonces aproximadamente a 80° N, la flora de Kamtschatka, la región de Amur, y Sajalin tuvieron un carácter ligeramente más cálido entre 68° y 67° N, mientras que las floras de Spitsbergen, Tierra de Grinnell, Groenlandia, etc., considerablemente más cálidas, con árboles de hoja perenne, habrían estado a 64°, 62°, y 53°–51° N, fuera del círculo polar. La suposición de que el polo se desplazó hacia el estrecho de Bering en lugar de a la desembocadura del Lena también coincide con las observaciones. Encajaría mejor con los resultados de Semper^[196] que durante el Eoceno Medio, es decir, poco antes de la apertura del Atlántico, el polo norte se desplazara 30° hacia Alaska y lentamente migrara hacia el lado del Atlántico después del comienzo del Oligoceno. Sin embargo, la realidad de este gran cambio del polo norte desde aquí hasta el estrecho de Bering en cualquier caso no puede seguir poniéndose en duda seriamente.

Parece más improbable que el polo norte durante su desplazamiento en el Terciario se hubiera ido directamente a su posición actual y hubiera permanecido allí durante la Edad de Hielo. En ese caso se habría situado a unos 10° del borde del gran casquete glacial que cubrió Norteamérica y Europa, cuyo tamaño era similar al actual casquete glacial de la Antártida. Es más verosímil que el polo migrara 10° más hacia el interior de Groenlandia y retornara a su posición actual a partir de entonces (Fig. 7).

Es de gran interés reconstruir la localización correspondiente del polo sur. Si el polo norte cae cerca del estrecho de Bering a unos 30° de su actual localización, el polo sur debe haber estado unos 25° al sur del Cabo de Buena Esperanza, sobre ese continente meridional polar que parece haberse extendido en esa época. En las regiones del hemisferio sur conocidas para nosotros no es de esperar muchas huellas de una glaciación de esa época. Por otro lado, la edad de hielo del Pérmico que ya se ha discutido prueba que en épocas anteriores el cambio ocasionalmente fue incluso mayor (quizás 50°). Entonces el polo norte se habría localizado mucho más allá del estrecho de Bering en el Pacífico, pero aquí estamos obligados a ser mucho más precavidos al considerar las conclusiones, ya que nuestro esquema del tamaño y perfil de los continentes de esa

193 Según Semper, el Eoceno de Bélgica consta de un tercio de formas tropicales, y el de París aproximadamente de un medio. La flora del Eoceno Medio de la desembocadura del Támesis también tiene un carácter tropical según A. Schenck (Zittel, K.A. (1860). Handbuch der Paläontologie: Paläophytologie. Druck & R. Oldenbourg, Munich, p. 807). [NT: véase nota [196]].

[194] El geólogo y naturalista suizo Oswald Heer (1809–1883) realizó numerosos trabajos sobre la paleovegetación de las tierras árticas; en relación con las áreas citadas, Wegener se refiere concretamente a su magna obra: Heer, O. (1868). Flora fossilis arctica. Die fossile Flora der Polarländer. Friedrich Schulthess, Zurich, vol. I, vii+242 pp. [NT]

[195] El naturalista sueco Alfred Gabriel Nathorst (1850–1921) realizó importantes contribuciones a la flora fósil del hemisferio norte, y como explorador polar participó en algunas de las expediciones de principios del siglo xx al Ártico, entre ellas la ya citada del «Fram» –nota [46]–, cuyos datos paleobotánicos pudo haber consultado Wegener; véanse también: Nathorst, A.G. (1892). Kritische Bemerkungen über die Geschichte der Vegetation Grönlands. Englers Botanische Jahrbücher, 14, 183–221; Nathorst, A.G. (1894). Die Entdeckung einer fossilen Glacialflora in Sachsen. Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, 51, 519–543; Nathorst, A.G. (1902). Zur Fossil-Flora der Polarländer. I(3): Zur Ober-Devon Flora der Baren-Insel. Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, 36(3), 1–60. [NT]

[196] Semper, M. (1896). Das paläothermale Problem, speziell die klimatischen Verhältnisse des Eozäns in Europa und den Polargebieten. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 48, 261–349; Semper, M. (1899). Das paläothermale Problem: Berichtigungen und Zusätze über die klimatischen Verhältnisse des Eocän. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 51, 185–206. [Max Semper (1870–1952), geólogo alemán]. [NT]

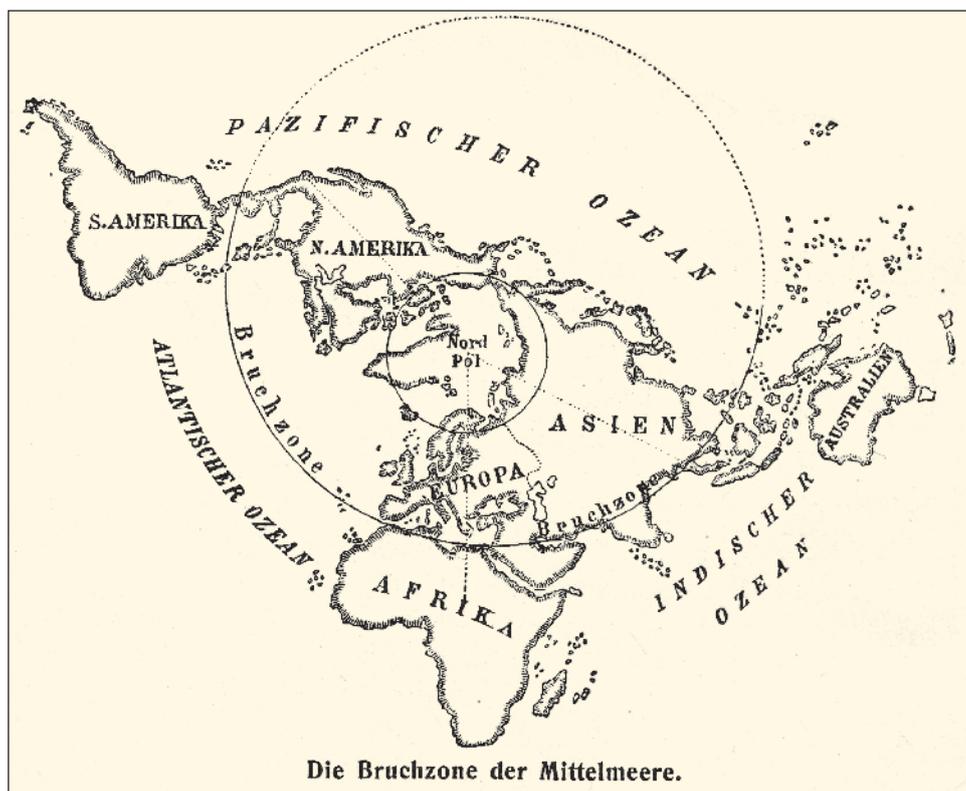


Fig. 7. Zonas de fractura de los mares mediterráneos.

época se hace cada vez menos claro. Siguiendo estas relaciones hasta épocas geológicas más antiguas, esto parece aún prematuro, tal como sugieren por ejemplo las huellas de una glaciación del Cámbrico Inferior [307] en China (región del río Yangtse), en el sur de Australia cerca de Adelaide (según Willis),^[197] y aparentemente también en Noruega (según Hans Reusch).^[198]

Se indicará solo una relación particular. Green^[199] y Emerson^[200] especialmente han analizado la gran zona de fracturas del Mediterráneo^[201] que abarcan el globo en un círculo máximo (Fig. 7) como si fuera un antiguo ecuador terrestre. De hecho, forma el ecuador para las antiguas posiciones del polo que deben haber permanecido durante todo el Mesozoico con el polo norte cerca del estrecho de Bering y el polo sur en el África meridional. El fenómeno como tal debe ser tenido en cuenta, aun-

que parece discutible la idea de estos autores de que la zona de fractura resultó de los efectos devastadores de las mareas sólidas lunares, que tienen su máximo en el ecuador terrestre.

Para comprender todas estas características es de la mayor importancia notar que los grandes cambios del polo obviamente parecen tener lugar simultáneamente con las grandes modificaciones de los témpanos continentales. En particular, el cambio polar más fidedigno durante el Terciario coincidió evidentemente con la apertura del océano Atlántico. La retirada (relativamente menor) de los polos desde la Edad de Hielo puede haber estado relacionada con la separación de Groenlandia y la de Australia. En consecuencia, parece que los grandes desplazamientos continentales fueron la causa de los cambios polares.^[202] El polo de rotación tendrá que seguir al polo de inercia.^[203] Si este último cambia por el desplazamiento continental, el polo de rotación debe moverse con él.

[197] Willis, B. (1907). Systematic Geology. En: Research in China. Carnegie Institution of Washington, Vol. 2, cap. III, p. 47; a estas investigaciones, especialmente en Australia, también contribuyó en esos mismos años el geólogo galés-australiano Tannatt William Edgeworth David (1858-1934); véase, por ejemplo: David, T.W.E. (1907). Conditions of climate at different geological epochs, with special reference to glacial epochs. Comptes Rendus du X^{ème} Congrès Géologique International (México/1906), 1, 437-482 (separata en: Imprenta y Fototipia de la Secretaría de Fomento, México/1907, 48 pp.). [NT]

[198] Reusch, H. (1911). A note on the last stage of the ice in Central Scandinavia. Journal of Geology, 8, 326-332. [Hans Henrik Reusch (1852-1922), geólogo noruego]. [NT]

[199] Green, W.L. (1857). The cause of the pyramidal form of the outline of the southern extremities of the great continents. Edinburgh New Philosophical Journal, 6, 61-78; Green, W.L. (1875). Vestiges of the molten globe. E. Stanford, Londres, vol. I; véase, además, García Cruz (2003a), op. cit. (nota [11]). [William Lowthian Green (1819-1890), comerciante y diplomático británico]. [NT]

[200] Emerson, B.K. (1900). The tetrahedral earth and zone of the intercontinental seas. Bulletin of the Geological Society of America, 11, 61-106. [Benjamin Kendall Emerson (1843-1932), geólogo norteamericano]. [NT]

[201] Como se muestra en la Fig. 7, Wegener se refiere aquí a la Región Mediterránea que, en términos geológicos y siguiendo a Suess, la conformaba no solo las partes propiamente euroasiáticas (mares Mediterráneo Occidental, Adriático, Egeo, Negro, Caspio, Tirreno), sino que también incluía una parte indo-africana (costa de Siria y la Pequeña Syrte, el actual Golfo de Gabes en Tunicia) y otra americana (Antillas, Caribe); véase: Suess (1885/1923), op. cit. (nota 27), pp. 606-607. [NT]

[202] Aunque no lo indique expresamente, Wegener está sugiriendo aquí una explicación alternativa a la llamada teoría de la pendulación según la cual el eje de la Tierra sufría oscilaciones o cambios periódicos que repercutían en el movimiento errante del polo, y a su vez en el clima terrestre, en la distribución de tierras y mares, y en la evolución de los seres vivos, incluyendo los procesos de supervivencia y extinción; véanse: Reibisch, P. (1901). Ein Gestaltungsprinzip der Erde. 27. Jahresbericht des Vereins für Erdkunde zu Dresden, pp. 105-124; Simroth, H. (1907). Die Pendulationstheorie. Leipzig, K. Grethlein, 564 pp. En los años siguientes, Wegener rechazaría explícitamente dicha teoría; véanse: Wegener (1922), op. cit. (nota [6]), p. 83-84; Wegener (1929), op. cit. (nota [6]), p. 119-120. [NT]

[203] Polo de inercia (Trägheitspol, en el original) es sinónimo de centro de masa, aunque hemos preferido mantener el término tal y como lo usa Wegener. [NT]

Schiaparelli²⁰⁴ realizó investigaciones muy interesantes sobre este tipo de relaciones. Encontró que –si la Tierra es completamente rígida–, los polos del eje de inercia y el polo de rotación que los acompaña podrían ser modificados solo en cantidades muy pequeñas incluso para los mayores cambios geológicos (aceptados); si se considera una cierta plasticidad para la Tierra, que permita una adaptación aunque demorada de su forma ante la nueva rotación, tendría como resultado unos cambios relativamente grandes de los polos, y este sería el caso de una masa incluso mayor, si la Tierra fuese lo suficientemente plástica, para no rezagarse substancialmente. De acuerdo con la discusión efectuada en la primera parte debemos adoptar aparentemente la última suposición para los períodos de tiempo geológico que estamos considerando. Ha habido ya varios intentos de determinar la migración polar a partir de los desplazamientos de masa observados. Sin embargo, puesto que siempre se consideraron desplazamientos muy pequeños, por ejemplo, los que tienen que ver con terremotos, siempre se llegó a la conclusión de que la migración polar resultante era insignificante. Por ejemplo, Hayford y Baldwin²⁰⁵ encontraron que los polos del eje de inercia habían cambiado solamente 0,0007” o 2 mm desde el terremoto de San Francisco de 1906, cuando se desplazó 3 m hacia el norte un bloque de 40.000 km² de superficie, 118 km de espesor y un peso específico medio de 4. En el presente modelo, no obstante, los desplazamientos son en ocasiones 100 veces más largos, alcanzando el valor anterior en un año.²⁰⁶ Obviamente, de esta manera tiene lugar un cambio continuo del polo de inercia alcanzando una centésima de segundo por año (o 1° en 360.000 años), y se obtiene así un orden de magnitud suficiente para explicar la migración geológica de los polos.²⁰⁷ La conexión entre ésta y los desplazamientos horizontales de los continentes que aceptamos nosotros parece estar por lo tanto bastante justificada también teóricamente, aunque la seguridad en la investigación queda reservada para un futuro estudio cuantitativo.

III. Desplazamientos actuales y fluctuaciones del polo

1. *Groenlandia*. Es de suma importancia determinar si es posible medir directamente los supuestos desplazamientos continentales por su continuidad hasta el presente. Supongamos que la separación de Escandinavia a partir de Groenlandia hubiera ocurrido hace entre 50.000 y 100.000 años (después de la gran edad de hielo, pero antes de la última),²⁰⁸ y que el desplazamiento tuviese siempre una velocidad uniforme hasta la actualidad. Puesto que la actual separación es aproximadamente de 1.400 km, la velocidad sería entre 14 y 28 m/año, un valor que no habría dificultad de determinar mediante posicionamiento astronómico a lo largo de varias décadas.

204 Schiaparelli, G.V. (1889). *De la rotation de la terre, sous l'influence des actions géologiques. Mémoire présenté à l'Observatoire de Poulkova, à l'occasion de sa fête semi-séculaire*. Académie Impériale des Sciences, San Petersburgo, 32 pp. [NT: Giovanni Virginio Schiaparelli (1835–1910), astrónomo italiano]. Los primeros intentos de este tipo de cálculos fueron efectuados inicialmente por Darwin. [NT: Se trata de los trabajos realizados sobre este tema por G.H. Darwin; véase, por ejemplo: Darwin, G.H. (1877). On the influence of geological changes on the Earth's axis of rotation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 167, 271–312].

205 Hayford, J.F. y Baldwin, A.L. (1908). The earth movements in the California Earthquake of 1906. *Coast and Geodetic Survey, Washington D.C., Geodesy, Appendix No. 3 (Report for 1906/1907)*, p. 97 (citado por Rudzki). [NT: Albert Le Seur Baldwin (1870–1940), geodesta norteamericano].

206 Sobre esto véase la nota siguiente.

207 La migración polar del Terciario de 30° requeriría unos 10 millones de años. Königsberger, J. (1910). *Berechnungen des Erdalters auf physikalischer Grundlage*. *Geologische Rundschau*, 1(6), 241–249, basándose en el contenido en He de las rocas, da para el Plioceno una edad de 2 millones de años, para el Mioceno 6 millones de años, de tal forma que tendería que aceptarse una edad de 10 millones de años para la época de la separación de América. [NT: Johann Königsberger (1874–1946), físico alemán].

208 De acuerdo con estudios recientes de geólogos americanos en los Estados Unidos y también con los cálculos de Heim en Suiza, generalmente se acepta que solo han pasado unos 10.000 años desde la última era glacial. Puesto que por entonces se había producido probablemente la separación, la suposición anterior debería ser bastante buena como estimación aproximada. Königsberger (op. cit. [nota 207]) da para el «Post-Terciario» 1 millón de años, otras veces menos de 100.000 años (incierto). [NT: Wegener alude, por un lado, a los trabajos desarrollados sobre el glaciario durante la segunda mitad de siglo XIX por numerosos investigadores en Norteamérica como George F. Becker (1847–1919), George M. Dawson (1849–1901), Grove K. Gilbert (1843–1918), Charles H. Hitchcock (1836–1919), James E. Todd (1846–1922), o Warren Upham (1850–1934), entre otros, y también a la discusión crítica que realizó J.D. Dana de la teoría astronómica del británico James Croll (1821–1890) sobre las causas de la era glacial; véase: Dana (1896), op. cit. (nota [56]), pp. 978–979; por otro lado, también se refiere a los cálculos efectuados a finales de ese mismo siglo por A. Heim sobre la datación absoluta de la era glacial; véase: Heim, A. (1894). *Über das absolute Alter der Eiszeit*. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden-Gesellschaft in Zürich*, 34, 180–186].

Solo en la costa este de Groenlandia²⁰⁹ se ha determinado la longitud en el mismo punto en diferentes épocas. Desafortunadamente solo fueron observaciones lunares, de escasa precisión.

En 1823 Edward Sabine²¹⁰ realizó observaciones en la isla que lleva su nombre y encontró los siguientes valores:

media de 12 lunas llenas	1 ^h 15 ^{min} 18,8 ^s
media de 110 diámetros lunares	1 ^h 15 20,8
media	1 ^h 15 ^{min} 19,8 ^s

[308]

Börger y Copeland²¹¹ realizaron sobre la misma Isla de Sabine otra determinación de la longitud en el invierno de 1869/70 durante la expedición alemana dirigida por Koldewey, que dio como resultado:

media de lunas llenas	1 ^h 15 ^{min} 16,9 ^s	(error probable ± 1,1 ^s)
media de ocultaciones estelares	1 15 18,2	(error probable ± 1,1 ^s)
media	1 ^h 15 ^{min} 17,7 ^s	

(A pesar del mismo error probable, a las dos series de observaciones le dieron diferente importancia). La observación durante la expedición alemana no fue hecha en el mismo sitio que la de Sabine. No se pudo determinar el centro de control de Sabine en esta isla, puesto que no estaba marcado, pero se localizó al regreso debido a la descripción dada por Sabine con la ayuda de las ruinas de un refugio invernal esquimal.²¹² Sobre el mapa, dibujado por Payer,^[213] una cruz marca la localización donde debió haber estado el observatorio de Sabine de acuerdo con la descripción topográfica. En este mapa de Payer, la cruz es considerada la nueva localización del observatorio de Sabine tal y como se determinó durante la expedición germana. En el mapa, este punto está 520 m al oeste del observatorio alemán. La diferencia de las longitudes citadas es de 2,1^s o unos 260 m. Así, según estas determinaciones de la longitud, la diferencia en la distancia Groenlandia–Europa debería haberse incrementado hasta en 260 m durante un tiempo medio de 27 años.

Afortunadamente, también la expedición «Danmark» de 1906–1908 realizó una conexión con la determinación de la longitud de la expedición alemana. La longitud del lugar de hibernación cerca del Cabo Bismarck (Danmarkshavn) fue determinada por Koch en el invierno de 1907/08 mediante una serie de acimutes lunares.²¹⁴ La conexión cerca de Haystack en el centro entre los lugares de hibernación de las dos expediciones fue hecha por dos triangulaciones que coincidían allí. De acuerdo con la expedición alemana, Haystack tiene una longitud de 19° 24,0', y según la expedición «Danmark», 19° 25,4'; de esta forma, en 37 años la distancia Groenlandia–Europa se habría incrementado en 1,4', es decir, unos 690 m. *En conjunto obtenemos en 84 años un aumento en la distancia de aproximadamente 950 m o unos 11 m por año.*^[215]

209 De acuerdo con una amable comunicación de Hjort, existen tres posiciones más en la costa este de Godthaab en los años 1863 y 1882/83, pero son bastante inseguras; véase: Paulsen, A. (ed.) (1883). *Exploration Internationale des Régions Arctiques, 1882–1883. Expédition danoise. Observations faits à Godthaab. G.E.C. Gad, Copenhague, 2 vols. Aportan los datos siguientes: 1863, 3^h 26^{min} 56^s; 1863, 3^h 26^{min} 53^s; 1882/83, 3^h 26^{min} 53^s. Las dos posiciones tenían una diferencia de longitud insignificante de 0,1^s. La precisión obviamente no es suficiente para nuestro propósito. [NT: Johan Hjort (1869–1948), biólogo marino y oceanógrafo noruego; Adam Paulsen (1833–1907), meteorólogo danés].*

210 Sabine, E. (1825). *An account of experiments to determine the figure of the earth by means of the pendulum vibrating seconds in different latitudes. J. Murray, Londres, xv+509 pp.* [NT: Edward Sabine (1788–1883), astrónomo, naturalista y explorador irlandés].

211 Koldewey, K. (1873–74). *Die zweite Deutsche Nordpolfahrt in den Jahren 1869 und 1870, unter Führung des Kapitän Karl Koldewey. F.A. Brockhaus, Leipzig, 2 vols., LXIV+288+699 pp.* [NT: Esta segunda expedición alemana al Ártico estuvo dirigida por el explorador alemán Karl Koldewey (1837–1908) y recorrieron la costa oriental de Groenlandia a bordo del «Germania» (tras el naufragio del «Hansa»); de la obra que cita Wegener existe edición inglesa (resumida): Bates, H.W. (ed.) (1874). *The German Arctic expedition of 1869–70, and narrative of the wreck of the “Hansa” in the ice. S. Low, Marston, Low & Searle, Londres, VIII+590 pp. (trad. inglesa 1874); véase, también: Koldewey, K. (1871). Die Zweite deutsche Nordpolarfahrt 1869–1870: Vorträge und Mittheilungen. D. Reimer, Berlín, 64 pp.*]

212 *Ibidem* I, 2, (Leipzig, 1874), p. 597. Por esto, una comparación completa llega a ser incierta, pero es que Payer [NT: véase la nota siguiente], en el diseño de los mapas, evitó las desviaciones innecesarias de las medidas de Sabine, por lo que la diferencia señalada que puede discutirse representa de cualquier manera el mínimo.

[213] Se refiere al trabajo cartográfico realizado por el oficial y explorador austriaco Julius von Payer (1841–1915), y además excelente dibujante, durante la expedición alemana de Koldewey (nota 211). [NT]

214 Todavía inédito. [NT: Estos datos aparecieron posteriormente en: Koch, J.P. (1916). *Survey of Northeast Greenland. Meddelelser om Grønland, 46(2), 79–486 (concretamente, p. 240); véase, además: Wegener, A.L. (1919). Referat über J.P. Koch, Nordgrønlands Trift nach Westen. Astronomische Nachrichten, 208, 271–276.*]

[215] Énfasis en el original. [NT]

Es bien conocido que las determinaciones de la longitud con la ayuda de la Luna son inseguras. El probable error de cada serie simple de observaciones puede estimarse en varios, quizás muchos, cientos de metros. No obstante, la diferencia de 950 m que se ha acumulado con el tiempo me parece un poco grande para ser simplemente un error, causado por la adición sistemática en una dirección. Parece mucho más probable que esto sea debido al desplazamiento real de los continentes del orden indicado.

2. *Norteamérica.* Para Norteamérica no podemos plantear suposición alguna sobre la velocidad actual de separación de Europa en relación con nuestra hipótesis, tan solo establecer que como mucho será de cualquier manera menor que la de Groenlandia, desde que tuvo lugar su separación de América en el Terciario. En este caso, la telegrafía a través del Atlántico ha hecho posible una determinación más segura de la longitud, y en una revisión de la red geodésica de los Estados Unidos, Schott ha resumido las tres grandes determinaciones con ayuda de la telegrafía, de 1866, 1870, y 1892.²¹⁶ Se dan las siguientes diferencias en la longitud transatlántica:

1866 Hearts Content–Foilhommerum	2 ^h	51 ^{min}	56,364 ^s	± 0,029 ^s
1870 Duxbury–Brest (Tower of St. Louis)	4	24	43,276	± 0,047
1892 Montreal–Greenwich	4	54	18,67	± 0,015

Estas cifras deben disminuirse para Cambridge por un lado, y para Greenwich por otro. Tenemos así:

Foilhommerum–Greenwich	0 ^h	41 ^{min}	33,345	± 0,065
Brest (T. of St. Louis)-Greenwich	0	17	57,598	± 0,022

y por otro lado:

Calais–Hearts Content	0	55	38,00	± 0,06
Cambridge-Calais	0	15	23,187	± 0,007
de donde: Cambridge–Hearts Content	1 ^h	11 ^{min}	1,1875	
Cambridge-Duxbury	0	1	50,191	± 0,022
Montreal-Cambridge	0	9	47,549	± 0,015

De aquí obtenemos la diferencia de longitud Cambridge–Greenwich:

1866	4 ^h	44 ^{min}	30,89 ^s
1870	4	44	31,065
1892	4	44	31,12

Variación en 26 años: 0,23^s

Estas observaciones parecen indicar un incremento en la distancia de aproximadamente 1/100 segundos de tiempo o unos 4 m/año como resultado.^[217]

Puesto que la distancia actual es de unos 3.500 km, el período de tiempo desde la separación debería ser del orden de 1 millón de años si se supone una velocidad uniforme.²¹⁸

No es necesario recalcar que las cifras anteriores no son solo muy inciertas debido al tiempo implicado, sino que difícilmente pueden probar la realidad de los desplazamientos. La diferencia observada es de solo 0,23^s, y es incluso demasiado pequeña para que pueda ser explicada por la incertidumbre de observaciones más antiguas. Sin embargo, si una nueva determinación de la longitud –20 años después de la última– pudiese mostrar una vez más una variación en el mismo sentido, entonces no podría dudarse por más tiempo de la realidad de los desplazamientos.

Esto no cierra la posibilidad de que existan todavía diferentes lugares de la superficie terrestre donde se pueda esperar una determinación del desplazamiento horizontal en un tiempo relativamente breve. Debería considerarse principalmente aquí la India y en particular Australia, lugares que se podrían usar para esta comprobación de una forma mucho más fácil y con mayor exactitud. Lamentablemente no me es posible extender por ahora esta investigación a la documentación existente.

²¹⁶ Schott, C.A. (1898). *The telegraphic longitude net of the United States and its connection with that of Europe, 1866–1896*. U.S. Coast and Geodetic Survey (rep. durante el año fiscal que finaliza en junio de 1897), Apéndice N^o 2. [NT: Charles Anthony (Karl Anton) Schott (1826–1901), geodesta germano-norteamericano].

[217] Énfasis en el original. [NT]

²¹⁸ Antes encontramos 10 millones de años para el inicio de la migración polar, es decir, para la separación de Sudamérica de África.

[309]

3. *Fluctuación del polo*. El movimiento del polo norte monitorizado por un amplio servicio internacional de la latitud^[219] muestra esencialmente que la perturbación de Euler para una Tierra rígida debería ser de 305 días, pero que se amplía a unos 430 días^[220] debido a que la Tierra cede. El polo de rotación describe una trayectoria circular sobre el polo de inercia de la Tierra. Eventualmente, la ruta se contrae en una espiral y luego vuelve a ampliarse de nuevo. Observando cuidadosamente las curvas de la fluctuación polar publicadas por Albrecht²²¹ tengo la impresión de que existe un cambio muy pequeño del centro de la perturbación, es decir, parece que el polo de inercia se mueve hacia el Atlántico. Las curvas cambian cada vez más hacia ese lado. Sin embargo, el valor es considerablemente pequeño (entre una y dos centésimas de segundo de arco, hasta la fecha) de tal forma que no es sorprendente que por ahora sea imposible determinar cuantitativamente un cambio secular perceptible. El ojo es extremadamente sensible a las formas simétricas, y quizás sea posible notar un cambio en la curva sin que se encuentre expresado numéricamente con claridad.²²²

Si se pudiera confirmar esta suposición, sería obvio considerar el cambio muy lento del polo de inercia como una consecuencia de los movimientos horizontales y, al mismo tiempo, como la causa de la alteración de las oscilaciones del polo de rotación. Esto se debe a que una vez que está presente la modificación puede llegar a transformarse en espirales de tal forma que el polo de rotación y el de inercia coincidirán como consecuencia del efecto que produce en la masa de una Tierra viscosa. Si el polo de inercia se mueve, el polo de rotación se modifica conforme al nuevo ángulo y describe otra vez la curva de la perturbación, al principio con una gran radio, y a continuación con otro cada vez más pequeño, hasta que se ajusta la nueva espiral sobre el nuevo polo de inercia. Si este último continúa moviéndose, pero de forma vacilante o entrecortada, debemos obtener exactamente el esquema que suministran las mediciones del polo.

Desde luego, esta idea solo podría considerarse correcta si puede apoyarse en un tratamiento matemático preciso. Por el momento, no hemos encontrado tiempo para tal cometido. Sin embargo, es probable que esta breve observación llame la atención hacia este problema, que por su relación con la hipótesis del desplazamiento horizontal de los continentes me parece que se sitúa desde el principio de forma sorprendente en un primer plano por su interés.

NOTA DEL EDITOR:

Las 7 figuras y la lámina I incluidas en la traducción corresponden a las ilustraciones del trabajo original de “El origen de los continentes”.

[219] *La existencia de una red mundial fija de estaciones geofísicas –una de las grandes deudas que la ciencia tiene con el naturalista alemán Alexander von Humboldt– ha sido de gran importancia para la verificación de la teoría de los desplazamientos continentales; véanse, por ejemplo: Höpfner, J. (1999). On the contribution of the Geodetic Institute Potsdam to the International Latitude Service. GeoForschungsZentrum Potsdam, STR99/08, 30 pp.; 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; Irving, E. (2005). The role of latitude in mobilism debates. Proceedings of the National Academy of Sciences, 102(6), 1821–1828; véase, además: Dick, S. McCarthy, D. y Luzum, B. (2000) (eds.). Polar Motion: Historical and scientific problems. IAU Colloquium 178, ASP Conference Series, San Francisco (CA), vol. 208, 631 pp.]. [NT]*

[220] *Recuérdese lo indicado en la nota [112]. [NT]*

221 *Véase Petermanns Geographische Mitteilungen, p. 17 (julio 1910). [NT: No hemos podido confirmar esta referencia que da Wegener de los estudios sobre la variación de la latitud del astrónomo y geodesta alemán Carl Theodor Albrecht (1843–1915); en la documentación bibliográfica consultada, no hemos encontrado ninguno de sus trabajos en la publicación mencionada. En 1910 se celebró en Berlín la 16 Allgemeinen Konferenzen der Internationalen Erdmessung, en la que participó Albrecht (Actas, p. 90). Para ese mismo año, se pueden encontrar datos más completos a este respecto en: Albrecht, T. (1910). Provisorische Resultate des Internationalen Breitendienstes auf dem Nordparallel in der Zeit von 1908,0 bis 1910,0. Astronomische Nachrichten, 184, 353–358; en esta revista es donde habitualmente Albrecht publicaba sus cálculos sobre la latitud].*

222 *Según esto, Europa y Norteamérica se aproximan actualmente y una vez más a una nueva era glacial.*

