

Epistemología y gnoseología de la deriva continental, sobre su aceptación y de su rechazo

Epistemology and gnoseology of continental drift, on their acceptance and rejection

EVARISTO ÁLVAREZ MUÑOZ

E.T.S.I. de Minas, Universidad de Oviedo, C/Independencia, 13. 33004 Oviedo. E-MAIL: ealvarez@uniovi.es

Resumen Se estudia la aceptación de la teoría de Wegener, y las causas por las que en su momento fue rechazada, a la luz de los conocimientos actuales en ciencias de la Tierra y empleando la teoría gnoseológica materialista del cierre categorial del filósofo Gustavo Bueno. Se repasan las distintas interpretaciones epistemológicas del mencionado rechazo a la deriva continental y se discute la continuidad entre esta teoría y la tectónica de placas. Por último, se aporta una interpretación “gnoseológica” de las razones del “triunfo” de la teoría tectónica de placas sobre la hipótesis de deriva de los continentes.

Palabras clave: Deriva continental, epistemología, gnoseología, teoría del cierre categorial.

Abstract *A study of the acceptance of Wegener's theory is presented with the aim of explaining why at the time it was rejected. The paper is based upon the current state of knowledge in the Earth sciences and uses Gustavo Bueno's philosophical "theory of categorial closure". The different epistemological interpretations of that rejection of continental drift are reviewed and the continuity between this theory and plate tectonics is discussed. Finally, a "gnoseological" interpretation of the reasons for "success" of the theory of plate tectonics over the hypothesis of continental drift is provided.*

Keywords: *continental drift, epistemology, gnoseology, theory of categorial closure.*

FLUJO Y DERIVA EN LA HISTORIA DE LA CIENCIA

La historia de la ciencia podría compararse al curso de algunos ríos en los que existen tramos rápidos por los que el agua se precipita irrefrenable; otros más acompasados y precisos; e, incluso, momentos en los que el agua se remansa y remolonea, olvidando sus prisas, como si hubiera ido demasiado lejos y necesitara replantearse por dónde seguir avanzando. El desnivel y la gravedad imprimen al río un sentido general inexorable; pero el fondo del lecho y las fluctuaciones de su caudal ocasionan desviaciones y retenciones en el curso del mismo. Los tramos más espectaculares y llamativos del río suelen ser los del curso alto donde el agua brota de manantiales, salta en cascadas y discurre entre peñascos. Más tarde, el río maduro fluye, sinuoso pero constante. En ambos casos, el río es bastante previsible y fiel a sí mismo.

La historia científica cuenta también momentos espectaculares en los que en poco tiempo la ciencia profundiza enormemente y situaciones de avance continuado aunque rara vez rectilíneo. Como en el

río, son más inusuales y paradójicos los casos en los que la investigación se estanca, retrocede, o parece no progresar. La historia de la geología y, más concretamente, la historia de la deriva continental, ofrece uno de esos momentos en los que, tras avanzar muy deprisa, el progreso debió esperar hasta que “el nivel de las aguas” ascendiera lo suficiente para superar los impedimentos y proseguir su carrera hacia el mar. Mas como el progreso es un aspecto consustancial a la ciencia, la historia menos comprometida tiende a olvidar esos momentos de impaciente incertidumbre y de crisis que, sin embargo, no son inauditos y, por tanto, deben ser estudiados por la filosofía de la ciencia.

El medio siglo largo que media entre las primeras publicaciones relativas a la deriva continental (1912) y la aceptación de la tectónica de placas (c.a. 1968) es un buen ejemplo de esas situaciones en el curso de la ciencia. Las diversas interpretaciones del protagonismo desempeñado por la teoría de la deriva continental en el desarrollo de las ciencias de la tierra constituyen un interesante capítulo de la filosofía de la ciencia del último siglo sobre el que se

ha reflexionado abundantemente. Por resumir el estado de la cuestión —aunque luego entraremos en el detalle—, las dos tendencias más usuales consisten o bien en minusvalorar y soslayar el papel de la deriva continental aludiendo a su precaria condición de hipótesis cuyos mecanismos estaban insuficientemente justificados o bien, desde una perspectiva descaradamente pragmática, en aludir a su escaso éxito social y exaltar a la tectónica de placas a la categoría de revolución científica. No obstante, la cuestión dista de estar satisfactoriamente resuelta. En este trabajo se pretenden discutir, desde una perspectiva filosófica, algunas ideas clásicas del debate epistemológico para presentar a continuación un análisis gnoseológico de la deriva, confiando en poder aportar así algún planteamiento novedoso.

Como es sabido, la hipótesis de la deriva continental fue expuesta por Alfred Wegener (1880-1930) en *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (Berlín, 1915), obra que conoció en vida de su autor cuatro ediciones alemanas y otras dos tras su fallecimiento¹. El propio Wegener había adelantado la idea de la deriva en una conferencia de 1912 en Frankfurt y Marburgo y en dos artículos publicados ese mismo año².

Sin embargo, la especulación de que los continentes hubieran sufrido algún tipo de desplazamiento no era novedosa cuando la obra de Wegener vio la luz. La apertura del océano Atlántico —sugerida por la similitud y el encaje aparente de las costas sudamericanas en las africanas— había sido propuesta en fecha tan lejana como 1596 por Abraham Ortelius en *Thesaurus Geographicus*. Desde planteamientos ya científicos, algunos geólogos alpinos, como Jules Marcou en *Lettres sur les roches du Jura* (1860) y paleontólogos, como Melchior Neimayr en *Erdeschichte* (1887) y otros, ya habían observado que las distribuciones paleogeográficas no se correspondían con los continentes actuales y habían propuesto la existencia de antiguos macrocontinentes supuestamente desaparecidos a comienzos del Terciario.

Más recientemente, F.B. Taylor (1910) había manifestado su opinión de que los cinturones montañosos terciarios plegados de Europa y de Asia habían cabalgado bajo el efecto de una compresión tangencial no atribuible a la simple contracción

terrestre y había propuesto un deslizamiento de la corteza desde el norte. Tampoco fue Taylor el único científico que orientó sus investigaciones en esa dirección antes que Wegener. En *El origen de los continentes y océanos* Wegener (2009: 853) alude a “un trabajo de síntesis” —presumiblemente debido a E. Krenkel— en el que, a partir de datos paleontológicos, se postulaban primitivas conexiones terrestres entre Brasil y África.

A pesar de los precedentes mencionados y de algunos otros más, la teoría de la deriva continental se asocia indefectiblemente a la obra de Wegener por haber sido la suya la primera síntesis en la que se razonan y se exponen sistemáticamente argumentos muy variados que apoyan la hipótesis. Wegener criticó la idea —a la sazón dominante en los círculos geológicos— que explicaba las similitudes faunísticas merced a antiguos continentes intermedios, presuntamente hundidos hoy en día. La hipótesis de los continentes hundidos —mito platónico aparte— se basaba en la teoría de la contracción de la Tierra por enfriamiento, esbozada en su día por R. Descartes (1644) y desarrollada por Élie de Beaumont (1852). Dicha idea había sido asumida y afinada por prestigiosos geólogos como J.D. Dana (1862), A. Heim (1878), E. Haug (1900) o E. Suess (1885-1901), que había ilustrado la contracción terrestre mediante la imagen de una manzana secándose, y reconocido cuatro zonas deprimidas o paleocontinentes: Laurencia, Angara, Gondwana y Antártida.

En virtud del principio de la isostasia, Wegener se vio impelido a rechazar formalmente el supuesto hundimiento de grandes masas continentales en un substrato más denso que los propios continentes. De hecho, la idea estaba ya tan madura que el consenso de los paleontólogos en torno a una antigua expansión de fauna y flora, había comenzado a reconducir sus pretensiones desde los enormes macrocontinentes intermedios hundidos hacia unos estrechos corredores o puentes que, atravesando, los océanos hubieran permitido la distribución geográfica de los organismos. La existencia de aquellos puentes intercontinentales había sido defendida por el zoólogo H. von Ihering (1850-1930), por el paleontólogo Charles Schuchert (1858-1942) o por el geólogo Bailey Willis (1857-1949). Este último creía reconocer la pasada existencia de “istmos” que conectarían entre sí islas volcánicas. Aún en el siglo XX seguían defendiendo la existencia de antiguos puentes continentales los paleontólogos Léonce Joleaud (1880-1938) en *Atlas de Paléobiogéographie* (1939) o Georges Gaylord Simpson (1902-1984).

La propuesta de continentes hundidos consiguiente a la hipótesis del enfriamiento y de la contracción no convenía a Wegener, pues era incompatible con las leyes isostáticas, máxime cuando se acababa de descubrir la radioactividad como fuente alternativa de calor que impugnaba las teorías enfriacionistas. Sostenía además que los puentes

1 La tercera edición alemana fue traducida al español por Vicente Inglada Ors para la Revista de Occidente (1924) con el título de “La génesis de los continentes y océanos”. En lo que sigue nos referiremos, sin embargo, a la más reciente de F. Anguita Virella y J. C. Herguera García, *El origen de los continentes y océanos*, Barcelona, Crítica, 2009.

2 Wegener, Alfred (1912), “Die Entstehung der Kontinente”, *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 58(4, 5 y 6), pp.185-195, 253-256 y 305-309; resumido en: Wegener, Alfred (1912), “Die Entstehung der Kontinente”, *Geologische Rundschau* 3(4), pp. 276-292. Una traducción del primero a cargo de C. M. García Cruz se presenta en este mismo número de Enseñanza de las Ciencias de la Tierra.

continentales antiguos que argumentaban *ad hoc* los paleontólogos solo eran imaginables en mares someros, pero que nunca podrían explicar las antiguas conexiones atlánticas. Argumentar la permanencia de continentes y cuencas marinas tal como hacían Willis y la mayoría de los geólogos americanos contradecía las evidencias de la difusión de los seres vivientes. Y puesto que los continentes se componían de materiales menos densos que los niveles inferiores de la tierra y que los fondos oceánicos, solo cabía pensar en desplazamientos horizontales.

La argumentación científica de la teoría de Wegener contemplaba pruebas biológicas y paleontológicas, como las presentadas por Carl Diener (1925), pero rechazaba razonamientos *ad hoc* (improbables puentes intercontinentales ya desaparecidos que habrían salvado profundidades de cuatro mil metros). Aunque muchos de sus contemporáneos europeos no hubieran tenido inconveniente en aceptar la exposición de Wegener, quedaba por averiguar la naturaleza de las fuerzas causantes de los desplazamientos continentales.

ESTRATEGIA Y AUTOCONCEPCIÓN FILOSÓFICA DE WEGENER

Wegener —que no tenía formación geológica sino de meteorólogo— se veía a sí mismo como un filósofo natural a la espera de otro Newton:

Aún no ha aparecido el Newton de la teoría de los desplazamientos (Wegener, 2009: 283)

Aseguraba que los continentes habían estado antes en contacto y que posteriormente se habían fragmentado, aunque reconocía no tener solucionado el problema del mecanismo de la deriva continental. Las causas materiales de la deriva continental permanecían efectivamente bastante oscurecidas por más que Wegener se esforzase en especular:

La única fuerza de desplazamiento que actualmente se conoce con precisión es la fuga polar, que actúa moviendo a los continentes sobre el sustrato hacia el Ecuador (Wegener, 2009: 284)

Sin embargo estaba firmemente convencido de que

Las fuerzas que desplazan los continentes son las mismas que producen las grandes cadenas de montañas plegadas. Desplazamientos continentales, fracturas y compresiones, terremotos, vulcanismo, ciclos transgresivos y deriva polar se encuentran indudablemente conectados causalmente a gran escala (...) Pero qué es causa y qué es efecto es algo que sólo el futuro desvelará (Wegener, 2009: 297)

El verbo “desvelar” es empleado repetidamente en *El origen de los continentes y océanos*, y nos da la clave de su concepción de la ciencia y de su proceder descripcionista.

Es muy probable que aún tengamos que esperar mucho tiempo para resolver el problema de las fuerzas causales del desplazamiento, ya que esto significa desvelar toda una serie de fenómenos interdependientes, en los que a veces es difícil distinguir cuál es la causa y cuál es el efecto (Wegener, 2009: 283)

Es notable cómo los argumentos de Wegener se ajustan a lo preconizado para las ciencias inductivas por W. Whewell (1840). Wegener es consciente de que la comprobación de la verdad de su hipótesis habría de darse por la “conurrencia de inducciones” en la que confluían básicamente las operaciones propias de los geofísicos con las de los paleontólogos en una sola teoría, y de ahí la batería de argumentos —geodésicos, geofísicos, geológicos, paleontológicos, biológicos y paleoclimáticos— aportados por Wegener y expuestos para que otros científicos los completaran, pues

La paleontología, la zoogeografía y la fitogeografía proporcionan también una contribución significativa para desvelar las condiciones en que se encontraba la Tierra en tiempos pasados; y el geofísico se puede encontrar en el camino equivocado si no tiene permanentemente en cuenta los resultados aportados por estas ramas de la ciencia como control de la suya propia (Wegener, 2009: 199).

Sólo manteniendo este tipo de comunicación entre ciencias afines se podrá lograr que el estudio de la distribución actual y pasada de los organismos sobre la Tierra arroje todo el peso de su riqueza factual en la balanza, permitiéndonos desvelar la verdad (Wegener, 2009: 199-200).

Wegener intentaba *desvelar* una realidad oscura por medio de la organización de las descripciones y de la posterior coligación de los hechos tal como había previsto —setenta años atrás— el filósofo y geólogo William Whewell. Para este último, en el proceso de conocimiento, siempre había un elemento objetivo, proveniente de las sensaciones que aportaban la “materia” y otro elemento subjetivo, las concepciones mentales o ideas que aportaban la “forma” (W. Whewell, 1840: 32-34), ambos, materia y forma, daban lugar a lo que llamamos comúnmente hechos. Si bien, para Whewell hechos y teorías no eran esencialmente distintos.

La conurrencia de inducciones se produce cuando una inducción obtenida a partir de una determinada clase de hechos coincide con otra obtenida a partir de una clase distinta. Esta conurrencia es una comprobación de la verdad de la teoría en cuyo contexto se produce (W. Whewell, 1840: xxxix).

La tradición epistemológica acostumbra a distinguir dos grandes grupos de metodologías científicas: la empirista e inductiva —ensayada por F. Bacon, W. Whewell o J.S. Mill— y la hipotético-deductiva —de raigambre cartesiana, practicada por Newton y por Huygens, y, según la cual, los

principios científicos son inicialmente concebidos como conjeturas cuyas conclusiones se confirmarán o refutarán mediante la observación y la experimentación—. Hablar de pensamiento inductivo o deductivo es indagar en las formas de obtener el conocimiento por parte del sujeto, lo que implica adoptar un planteamiento epistemológico. Los autores que han reflexionado sobre la teoría de la deriva continental, como A. Hallam (1973, 1983) o C.M. García Cruz (1996) han calificado sin ambages a las tesis movilizadas de Wegener de pensamiento hipotético-deductivo, en contraposición al pensamiento positivista empírico e inductivo del sistema imperante en Norteamérica durante los años en que vio la luz la obra de Wegener y representado en el importante simposio de la AAPG de 1926 —al que nos referiremos más adelante— por geólogos como Schuchert, Chamberlin o Willis.

Cierto que si reducimos la deriva continental a su contexto de descubrimiento (H. Reichenbach, 1938) encontraremos en Wegener al clásico representante de la metodología hipotético-deductiva. Esto concuerda con la génesis de su idea de la deriva tal como Wegener la refirió a Köppen en una carta recogida en la biografía de Wegener escrita por su viuda Else Wegener:

La idea me vino del encaje de las costas, pero las pruebas deben proceder de las observaciones geológicas. Estas nos llevan a suponer que existió una conexión por tierra entre América del Sur y África. Este hecho puede explicarse por dos vías: el hundimiento de un continente que estaba en conexión con ambos o la separación. Hasta ahora se había aceptado solamente la primera vía y se ha ignorado la segunda posibilidad; pero lo que nos enseña modernamente la isostasia y, en general, las ideas geofísicas actuales, se opone al hundimiento de un continente que sea más ligero que el material sobre el que reposa Apud. A. Hallam (1985: 127).

Pero más que enfatizar el eurekaismo en la génesis de una idea, la deriva continental propuesta por Wegener —independientemente de la verdad o falsedad de sus premisas, del rigor de sus pruebas y de la exactitud de las conclusiones geológicas que de ella se desprenden— se nos presenta como una construcción intelectual consistente y bien trabada que tiene de la hormiga y de la araña de Bacon. De la hormiga porque acumula experiencias muy diversas para demostrar la hipótesis. De la araña porque, consciente de su limitada solvencia geológica, Wegener tejió una amplia red pluridisciplinar y la desplegó para que en ella fueran encontrando acomodo datos aportados por otros autores. De este modo, en cada edición corregida de *El origen de los continentes y océanos*, nuevas investigaciones de distintos científicos robustecían la síntesis de Wegener. De forma que la cuarta edición de 1929 ya se hizo eco de las estructuras de cabalgamiento

y de los mantos de corrimiento alpinos —que habían descrito muy recientemente Kossmat (1921), Argand (1922) y Staub (1924)— para cuestionar la contracción de la Tierra y demostrar, con Daly (1926), la importancia de los movimientos tangenciales. La cuarta edición confiere una importancia central a la continuidad y similitud de las estructuras plegadas entre la región de Buenos Aires y la de Ciudad de El Cabo o entre el Cabo de San Roque y el Camerún publicadas solo dos años antes por Du Toit (1927). El conjunto de no menos de quince “coincidencias” (plegamientos, rocas eruptivas y sedimentarias, lineaciones, etc.) a uno y otro lado del océano reforzaba la teoría que consideraba al Atlántico como una gran fractura ensanchada. Este punto fue magistralmente ilustrado:

Es como si compusiéramos los trozos de un periódico roto atendiendo sólo a su forma y luego intentásemos leer los renglones a través de la rotura. Si esto se cumpliera, evidentemente no quedaría más remedio que aceptar que, efectivamente, esos trozos estuvieron alguna vez en contacto. (Wegener, 2009: 175).

La estrategia de la araña ofrece excelentes resultados, Wegener ensambló los fragmentos grandes y otros leerían no menos de quince líneas entre ellos. Al efecto resulta ejemplar el siguiente apéndice de la cuarta edición en el que Wegener, sin duda emocionado, informa de una nueva prueba —*se non è vero è ben trovato*— que corroboraba su teoría:

Mientras este libro se encontraba en prensa, se ha producido una confirmación del incremento de la distancia entre Europa y Norteamérica, ya comentado en el capítulo 3, dato este del que no queremos privar al lector... (Wegener, 2009: 341)

Un año antes de su muerte en los hielos de Groenlandia, Wegener seguía sumando datos que corroborasen su hipótesis. La teoría de la deriva, con sus redes desplegadas, seguía recogiendo los frutos. De hecho, más que plantear una tesis, casi se podría decir que, con sus grandes bloques argumentales, Wegener diseñó una serie de programas de investigación científica (no todos igual de fértiles) como los que décadas después describiría Imre Lakatos (1978).

Las grandes síntesis científicas —y *El origen de los continentes y océanos* es una de ellas— se acompañan de todo un cortejo de la filosofía espontánea en la que se mueve su autor. Wegener tenía una filosofía de la ciencia descripcionista y se veía a sí mismo como científico comprometido en desvelar el misterioso comportamiento de los continentes. Felizmente, su descripcionismo —la práctica de la hormiga: acumular hechos que posteriormente desvelasen las causas— estaba controlado por el teoreticismo —la tela de araña— que cerraba el círculo constructivo. El planteamiento científico-filosófico wegeneriano así entendido era impecable.

LA RECEPCIÓN DE LA OBRA DE WEGENER, SEGUIDORES Y CRÍTICOS.

La aparición de la obra de Wegener fue justamente celebrada en Europa en la década de 1920. Algunos de los más prestigiosos geólogos de la época la aceptaron inmediatamente. Las investigaciones sobre cordilleras montañosas que por entonces se estaban realizando en distintas partes del mundo se acomodaban mejor a los desplazamientos horizontales de Wegener que a la anterior teoría fijista. La deriva continental propiciaba una explicación de las cadenas montañosas que inmediatamente hicieron suya la mayoría de los más importantes geólogos alpinos, como Émile Argand (1916), Franz Kossmat (1921), E. Gagnebin (1922) o Rudolf Staub (1924). Los mantos alpinos fueron interpretados como un frente desplazado desde el Adriático y la península italiana hacia el Norte. En 1922 Argand desarrolló la teoría de mantos de corrimiento en los Alpes, mostrándose favorable al movi­lismo tectónico, a los continentes flotantes y a la plasticidad de los materiales rocosos sometidos a esfuerzo continuado y atribuyó también las grandes estructuras tectónicas asiáticas a enormes desplazamientos horizontales. Puede que el terreno estuviera ya abonado para que floreciera la hipótesis wegeneriana: pioneros como Albert Heim (1878), Marcel Bertrand (1884) o Pierre Termier (1904) habían descrito los mantos de los Alpes glaronenses y berneses como grandes estructuras alóctonas que habían sufrido movimientos horizontales muy considerables, y habían comprendido que los Alpes suponían un acortamiento horizontal de centenares de kilómetros. Tal vez la existencia de estos precedentes facilitara la introducción de la teoría movi­lista en Europa, donde la deriva continental fue positivamente acogida durante los años veinte.

Sin embargo, esta primera aceptación no fue suficiente para que la deriva acabara imponiéndose a la concepción fijista. En 1926 la *American Association of Petroleum Geologists* organizó en Nueva York una reunión monográfica dedicada a discutir acerca de la deriva continental, lo que nos da una idea de la repercusión mundial de las ideas de Wegener y de Taylor. Los pesos pesados de la geología norteamericana participaron en esa trascendental reunión científica³. Entre las voces críticas que allí se dejaron oír, algunos geólogos —como C. Schuchert— discutían que las costas africana occidental y brasileña se acoplaran tan perfectamente como sostenía Wegener; mien-

³ Las actas de la reunión fueron publicadas en *Theory of Continental Drift: a Symposium on the Origin and movement of land masses* (ed. W.A.J.M. van Waterschoot van der Gracht), Tulsa, AAPG & London, Thomas Murby, 1928. Análisis de lo allí discutido pueden encontrarse en A. Hallam (1973), Oreskes (1988 y 1999) y C.M. García Cruz (1996).

tras que otros —caso de B. Willis— planteaban las dificultades estructurales de aquel encaje. El supuesto inicio de la separación de Pangea fue rebatido por D. White y también por Schuchert. Dificultades para conciliar la deriva continental con la geofísica (incluso con la isostasia) fueron aducidas por W. Bowie y por J. Singewald. E. W. Berry cuestionó la cientificidad del método pues su búsqueda era selectiva para corroborar sus pruebas e ignoraba los hechos desfavorables. Tal vez el ataque más virulento fuera el de R. T. Chamberlin⁴ que discutió (con razón) las correspondencias glaciares y sostuvo (sin ella) que la estructura de los continentes se había mantenido desde tiempos anteriores al Cámbrico. Pero, como veremos, entre las razones de Chamberlin para oponerse a la deriva, había algunas que más tenían que ver con la conservación de su estatus profesional que con las consecuencias derivadas del movimiento de los continentes.

A pesar de la presencia en el simposio de Frank B. Taylor y del propio A. Wegener, así como de otros autores que no se oponían a la deriva, la conclusión destacada del *Continental Drift Symposium* fue que “la deriva era físicamente imposible” (Carey, 1988: 97). La comunidad científica no estaba dispuesta a dar por buena una hipótesis que parecía contravenir los intereses profesionales de los geólogos, al menos de los norteamericanos. Tal vez fuera el dogma de la permanencia continental, o quizás la cercanía del istmo de Panamá o de las islas Aleutianas, geografías que invitan a pensar en puentes de tierra, el caso es que la deriva fue descartada como una fabulación, cuando no como una actividad anti-americana (Oreskes, 1999).

Aunque el simposio de Nueva York de 1926 no zanjó completamente la polémica, hay que reconocer que consiguió aplacarla bastante. La desaparición en 1930 de Wegener en el curso de una exploración científica a Groenlandia contribuyó a arrinconar el tema. Pese a todo, en 1929, A. Holmes aún haría algunas de las aportaciones más interesantes a la teoría, incorporando los conceptos de corrientes de convección del manto⁵ como causantes de la deriva continental por expansión oceánica e intracontinental (que hoy reconocemos como muy cercanos a los de la tectónica de placas). Sin embargo sus ideas tuvieron entonces una moderada repercusión y, una década después del fallecimiento de Wegener, a comienzos de los años cuarenta, puede constatarse que solo algún

⁴ El geólogo Rolling T. Chamberlin era hijo del famosísimo Thomas C. Chamberlin (1843-1928), reputado geólogo glaci­arista que se había enfrentado a Lord Kelvin a propósito de la edad de la Tierra y autor del influyente artículo metodológico, “The method of multiple working hypotheses” (1890).

⁵ Ideas, por cierto, presentes en los artículos de 1912 de Wegener, que las descartaría posteriormente.

geólogo alpino y algún otro del área de Gondwana continuaban hablando de deriva continental. Entre ellos el sudafricano A. du Toit (1937) que estudió las coherencias pre-jurásicas de los continentes del hemisferio sur. Se diría que los geólogos europeos se hubieran asustado de su propia osadía interpretando la cadena alpina y regularon recortando sus pretensiones y hasta la magnitud de la cadena montañosa (R. Trümpy, 2001). En general, se tendió a minimizar el acortamiento cortical que reflejaban los Alpes, se resucitaron las viejas estructuras con forma de hongo anteriores al reconocimiento de las estructuras de despegue y también se exageró la importancia del deslizamiento gravitacional para explicar los grandes desplazamientos de los mantos alpinos.

Sin embargo, pese a que el malestar estaba presente por la gran cantidad de problemas geofísicos que la teoría fijista tradicional dejaba por resolver (Álvarez Muñoz, 2004: 168, 209), hasta mediados los años cincuenta y, especialmente, en los sesenta —con la publicación de ciertas investigaciones relativas a nuevos campos de estudio oceanográficos y paleomagnéticos— las teorías movi listas no volvieron a ser tomadas en consideración. Esta vez tendrían mejor fortuna de la mano de la teoría tectónica de placas.

Entre los escasos estudios estadísticos sobre la aceptación de las teorías movi listas (Menard, 1971; Nitecki et al., 1978) se pueden rastrear algunos datos muy interesantes. A modo simplemente orientativo subrayamos el aportado por Nitecki et al. (1978) que —tras encuestar a más de doscientos geólogos profesionales miembros de la *Geological Society of America* y de la *American Association of Petroleum Geologists*, las dos sociedades profesionales más influyentes de los Estados Unidos— llegaron a la conclusión de que el 87% de ellos aceptaba (en 1977) la teoría tectónica de placas, mientras que en 1961 sólo el 22% de ellos era partidario de las teorías movi listas y apenas un 7% lo había sido en 1940. Ciertamente que la opinión en América siempre había sido menos favorable hacia las teorías movi listas que en Europa, pero, aún así, el dato es altamente significativo. Los geólogos americanos fueron, en términos generales, reacios a aceptar la deriva continental⁶, a la que calificaron de “mala ciencia”. Bailey Willis (1943: 509) afirmó que se trataba de un cuento de hadas. Charles Schuchert, paleontólogo y presidente de la G.S.A. la consideraba un producto satánico. H. Jeffreys (1924) la calificó de “explicación que no explica nada que sea necesario explicar”. N. Oreskes (1999) aduce tres razones metodológicas para justificar este rechazo: En primer lugar

la incompatibilidad de la deriva continental con el método de hipótesis múltiples de T.C. Chamberlin (1890) que aún disfrutaba de un enorme prestigio. El método científico, empírico e inductivo, exigía evidencias observacionales y explicaciones alternativas, mientras que Wegener exponía primero su teoría y luego buscaba los datos que la confirmarían. En segundo lugar, la deriva continental no se ajustaba al modelo isostático de Pratt pues las fuerzas compresivas habrían generado diferencias de espesor en la corteza. Sin embargo Wegener invocaba la isostasia para argumentar que si la viscosidad bajo los bloques continentales permitía movimientos en sentido vertical también admitiría desplazamientos horizontales. En tercer lugar algunos quisieron ver en la deriva continental una agresión al uniformismo geológico y se la llegó a tildar de catastrofista. Además, como veremos, entre las posibles causas que explicarían las reticencias hacia la deriva continental se barajan también numerosas razones de corte sociológico (gremiales, generacionales, ideológicas, etc.)

EL NECESARIO ENFOQUE RETROSPECTIVO

Si la historia de la ciencia fuera el río al que hacíamos alusión en el primer apartado, habríamos de convenir que, tras la muerte de Wegener, a la teoría movi lista —que, con pocas excepciones, había ido desapareciendo de la vida científica— se la había tragado la tierra, habría sido una especie de cuenca endorreica en la que un río surgido entre las montañas, tras un curso impetuoso, se sume en el desierto dejando por únicos restos en superficie unos palmerales o algún oasis, pero que nunca llegaría al mar. No fue este el caso de la deriva continental; cierto que la idea quedó en suspenso, que durante décadas la comunidad científica se quiso olvidar de las teorías movi listas y tuvo un comportamiento acomodaticio e institucionalizado como ha sido señalado por sociólogos e historiadores de la ciencia. No fue ese el caso de la deriva porque, treinta años después, una nueva teoría —¿una inesperada surgencia del viejo río o un manantial de nuevas aguas?— vino a reverdecer los viejos laureles movi listas.

Hace ahora un siglo del “descubrimiento” de la deriva continental, de las observaciones sobre la correspondencia entre las estructuras geológicas a un lado y otro del océano Atlántico que fue interpretada por Wegener como la prueba de que antiguamente los continentes habían estado unidos; pero, mientras celebramos este centenario, seguimos preguntándonos si cabe llamar “descubrimiento” a unas meras observaciones interpretadas con audacia y sostenidas con la ayuda de argumentos desiguales (algunos de los cuales se demostraron falsos). En la actualidad, solamente desde una perspectiva glo-

⁶ La oposición de los soviéticos a las ideas movi listas no fue menor que la de los americanos (R.M. Wood, 1985), y, además, se mantuvo durante más tiempo.

bal y retrospectiva, la historia de la ciencia puede analizar convenientemente lo que supuso la deriva continental.

El concepto de revolución científica de T. S. Kuhn ha sido repetidamente ensayado a propósito de la obra de Wegener. La hipótesis de la deriva continental fue —en palabras de I. B. Cohen (1989: 386)— una “revolución en los papeles”. Según este autor, hasta que, mediada la década de 1950, aparecieron nuevas pruebas en favor del movimiento de los continentes, la teoría original de Wegener no había conseguido producir una revolución en la ciencia; pero cuando ésta se produjo, incorporó a su concepto central la movilidad de los continentes y la idea de los dos tipos de dominios (continentes y lechos oceánicos) de Wegener. La teoría de la deriva continental fue recuperada para la ciencia hasta tal punto que J. Tuzo Wilson (1968: 309, 317), considerado como uno de los artífices de la tectónica de placas, la equiparó con la revolución copernicana y manifestó que “la gran revolución científica de nuestro tiempo debería llamarse revolución wegeneriana en honor a su principal propulsor”. Las generosas palabras de J.T. Wilson redoblan el interés histórico y filosófico del asunto, y autores como A. Hallam (1976: 149, 155) se preguntan cuándo comenzó la revolución geológica, si con la deriva continental, rechazada en su momento, o con la tectónica de placas, que con tanta facilidad logró el consenso científico. Esa pregunta conduce a otras que abordaremos en el apartado siguiente: ¿por qué Wegener no logró el consenso? ¿Hubo realmente continuidad entre ambos paradigmas científicos?

Desde el materialismo gnoseológico la distinción entre contextos de descubrimiento y contextos de justificación de H. Reichenbach resulta sumamente ambigua ya que un contexto de descubrimiento puede entenderse tanto desde coordenadas gnoseológicas internas como desde coordenadas psicológicas externas a la ciencia (Bueno, 1993). Además, solo si el descubrimiento ha sido ya justificado puede llamarse con propiedad descubrimiento, no antes, lo que invierte el orden cronológico y demuestra que el descubrimiento de la deriva continental solo adquiere sentido retrospectivamente, esto es, una vez que se considera (o no) justificada tras la formulación de la teoría tectónica de placas. No es posible hacer una historia gnoseológica de la ciencia más que desde la ciencia ya constituida o justificada. Por ello, la historia de la deriva continental habrá de hacerse desde la perspectiva alcanzada por la ciencia en sus últimos estadios de desarrollo. Esto explica la proliferación de historias y vindicaciones de la teoría de Wegener desde finales de los años sesenta, coincidiendo con la aceptación del teorema de la tectónica de placas.

¿POR QUÉ TRIUNFÓ LA TECTÓNICA DE PLACAS Y NO LA DERIVA CONTINENTAL? LAS DISTINTAS INTERPRETACIONES EPISTEMOLÓGICAS

A estas alturas de la exposición ya podemos extraer dos conclusiones preliminares: la primera es que, por alguna razón, la teoría de la deriva continental fue bienvenida en un primer momento, pero, inmediatamente después, fue descartada taxativamente; y, la segunda, que las razones de ese fracaso temporal de la teoría es preciso estudiarlas retrospectivamente, desde el presente, disponiendo de todos los datos proporcionados por el curso posterior de la ciencia. A partir de estas premisas no resulta difícil comprender por qué la comparación entre la deriva continental y la tectónica de placas se ha convertido en un tema recurrente en la historia y en la filosofía de la ciencia. Es natural que en las últimas décadas se haya desarrollado una rica bibliografía que aborda cuestiones interconectadas como las siguientes: ¿Por qué la hipótesis de Wegener provocó tanto rechazo? ¿Era la deriva continental una teoría verdadera? ¿Es la tectónica de placas hija de la deriva continental? y si lo fuera... ¿Cuándo comenzó la revolución en las ciencias de la tierra, con la deriva continental o con la tectónica de placas? Todas estas preguntas encierran la clave para contestar a la mayor: ¿Por qué triunfó la tectónica de placas y no la deriva continental? En este apartado intentaremos ordenar algunas de las respuestas dadas a esas pertinentes preguntas que traslucen diferentes opciones epistemológicas sostenidas por los estudiosos de la ciencia geológica.

¿Por qué la hipótesis de Wegener provocó tanto rechazo?

Entre las respuestas dadas a esta primera pregunta hay que señalar la de Arthur Holmes (1929), quien recuerda que el propio Wegener había admitido desconocer el tipo de fuerza capaz de mover los enormes continentes. Por consiguiente “la renuencia de muchos geólogos a aceptar las pruebas pétreas de la deriva continental se debe a desconocer qué tipo de fuerza sería capaz de mover los bloques continentales, sea gravitacional o de otro tipo”. Esta crítica realista exigía una respuesta científica. A este respecto, Holmes avanzó la hipótesis auxiliar de las corrientes de convección térmica y la hipótesis de la creación de corteza oceánica como motor del movimiento de las placas, ideas que serían desempolvadas por H. Hess en 1962. Otro autor coetáneo y seguidor de Wegener —y, por lo tanto, también concernido por el rechazo a sus ideas—, Alexander du Toit, atribuyó los ataques sufridos por la hipótesis a dos factores de corte muy diferente: en primer lugar a la repetida carencia de un mecanismo que pudiera producir el desplazamiento de los continentes y, en segundo lugar, al conservadurismo profundo que,

según él, caracterizaba toda la historia de la geología (Cohen, 1989: 392).

Tras el advenimiento de la nueva teoría tectónica de placas, el reconocimiento retrospectivo de la figura de Wegener exigía una respuesta a la cuestión del rechazo previo de su hipótesis. En este sentido, A. Hallam (1985: 149-150) ya no está en el frágil bando de Wegener —como Holmes o Du Toit—, y ya no analiza el rechazo para contraargumentar y defenderlo, sino que es un geólogo de la nueva era, sorprendido por la vehemencia con la que algunos se habían ensañado con la no tan descarriada deriva. Cierto que las pruebas no eran decisivas, que Wegener desconocía la geología oceánica, que el encaje de los continentes estaba inmaduro y que la paleontología y la estratigrafía paleozoicas referidas por Wegener dejaban bastante que desear. Pero ¿por qué eso sirvió de acicate para los críticos? Por descontado que las fuerzas propuestas para mover los continentes eran inadecuadas —como había admitido el propio Wegener— y que (ahora se sabía) los continentes no se habían desplazado sobre el sima. Pero, recuerda Hallam, la historia de la ciencia es rica en casos de aceptación de una hipótesis antes de que las causas pudieran ser correctamente explicadas (electricidad, magnetismo, calor, luz, sonido, glaciario, etc.) La clave parecía residir más bien en razones humanas, concluye Hallam, en argumentos *ad hominem* extraordinariamente conservadores, como los aducidos por R.T. Chamberlin en el simposio de Nueva York: “Si hemos de creer en la hipótesis de Wegener, habremos de olvidar todo lo que hemos aprendido en los últimos setenta años y volver a empezar desde el comienzo”.

Efectivamente, el modelo de Wegener no explicaba la causa del movimiento de los continentes. Esta laguna en la explicación fue una de las razones, aunque no la única, por la que los geólogos americanos la tildaron como “mala ciencia”. La tesis de Oreskes (1999) afirma que el rechazo de los científicos americanos se debió a que la teoría de Wegener violaba profundamente las creencias metodológicas sostenidas y las formas de la práctica científica. Aceptar aquellas ideas en los años veinte y treinta del pasado siglo hubiera supuesto abandonar muchos aspectos fundamentales de la manera de hacer ciencia de entonces, y eso no estaban dispuestos a consentirlo.

¿Es la tectónica de placas hija de la deriva continental?

Y si lo fuera... “¿cuándo comenzó la revolución en las ciencias de la tierra, con la deriva continental o con la tectónica de placas?” (Hallam, 1973). Estas cuestiones tienen mucho que ver con la filosofía de la ciencia surgida —casi simultáneamente a la difusión de la teoría tectónica de placas— a partir de la publicación de la obra de T.S. Kuhn *La estructura*

de las revoluciones científicas (1962). Convertidas, la tectónica de placas en un magnífico ejemplo de lo que habría de ser un “paradigma científico”, y la rápida aceptación de la teoría de placas en un caso espectacular de “revolución científica”, la consiguiente aplicación del modelo kuhniano relegaría a toda la ciencia anterior al papel de “paradigma en crisis”. Sin embargo, J. T. Wilson (1968), como ya se ha mencionado, propuso para la misma el título de revolución wegeneriana, reconociendo de este modo al autor de *El origen de los continentes y océanos* como precursor de la nueva tectónica, tal como Copérnico lo había sido del sistema heliocéntrico.

La inmediata toma de postura de Wilson encabezó, desde el propio seno de la ciencia geológica, la primera versión continuista de la relación existente entre la teoría deriva continental y la teoría tectónica de placas. Las primeras opiniones las manifestaron, como era de esperar, los científicos, y encajarían en lo que en otra parte hemos denominado “filosofía espontánea de los geólogos” (Álvarez Muñoz, 2004: 12-16). Después de J.T. Wilson, otros geólogos conscientes del “carácter revolucionario” de lo que estaban haciendo expresaron sus reflexiones en la terminología de Kuhn. Este podría ser el caso de A. Cox, U.B. Marvin o A. Hallam.

Si la década de 1960 fue la de la implantación de la tectónica de placas, la de 1970 fue la del interés filosófico despertado por la teoría tectónica. Prueba de ello fue la discusión de las “Philosophical consequences of the recent revolution in Geology” en el seno de la reunión bianual de la *Philosophy of Science Association* de 1978. Las actas de esta reunión⁷ recogen cuatro contribuciones importantes a cargo de H. Frankel, D.B. Kitts, R. Laudan y M. Ruse. De estos y otros documentos se desprende que no todos los estudiosos de la ciencia consintieron en reconocer en la deriva continental las raíces gnoseológicas ni ontológicas de la tectónica de placas, por lo que las respuestas a la pregunta que encabeza este epígrafe podríamos clasificarlas en dos tipos: las continuistas, como la de J.T. Wilson mencionada más arriba, y las discontinuistas.

Respuestas continuistas

En este epígrafe debemos dar cuenta de todos aquellos argumentos que sostienen la existencia de continuidad entre la teoría de Wegener y la tectónica de placas. Sin embargo —pese a las manifestaciones “ingenuas” de Wilson, comoquiera que la teoría de las revoluciones científicas niega que la ciencia crezca por agregación o incremento continuado del conocimiento sino que son bruscas revoluciones o cambios en el paradigma los causantes— los más

⁷ PSA 1978, Proceeding of the 1978 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association (ed. by Peter D. Asquith & Ian Hacking), East Lansing, Michigan, *Philosophy of Science Association* (vol. 2)

estrictos kuhnianos sienten una incomodidad al aceptar la continuidad entre la deriva y la tectónica de placas. Dicho a la inversa, entre las respuestas continuistas se encontrarán —dejada aparte la filosofía ingenua de aquellos científicos que creen ver en la estructura de las revoluciones científicas de Kuhn una descripción atinada de sus propias experiencias— las de aquellas voces críticas con los postulados de Kuhn.

Ese sería el caso de M. Ruse (1981: 249), para quien existe una metodología general —la *consilience* de inducciones de Whewell— permanente antes y después de la revolución de la tectónica de placas. La tectónica sigue obedeciendo a las normas del actualismo y uniformitarismo. Sostiene además que los geólogos comparten gran parte de la ontología anterior a la revolución.

También D.B. Kitts (1974) había defendido la continuidad del método geológico antes y después de la revolución de la tectónica de placas, distinguiendo entre paradigmas teóricos e históricos. El paradigma teórico o *superparadigma* de la geología procede de fuera de la geología, sobre todo de la física (Kitts, 1974: 118), mientras que la deriva continental era un paradigma histórico relativo a fenómenos específicos, pero no habían sido los cambios históricos los que habían modificado la disciplina en los últimos años. Concluye Kitts que la deriva y la tectónica de placas, pese a que en muchos aspectos supusieron un cambio revolucionario, pueden ser consideradas el último paso de una tendencia progresiva desde una visión cíclica a una historia de la tierra de unidireccional, un cambio irreversible dentro de un orden natural inmutable cuya expresión explícita reside en una teoría física. El cambio geológico había sido continuo, en absoluto discontinuo como postulaba Kuhn para sus revoluciones.

Respuestas discontinuistas

El continuismo metodológico y ontológico que señala Ruse entre la geología previa y posterior al triunfo académico de la tectónica de placas es un tema controvertido sobre el que los filósofos no se ponen de acuerdo. El primero en criticar el continuismo de Ruse fue Henry Frankel (1981: 208-9), quien considera que sí existen discontinuidades tanto epistemológicas como ontológicas en la revolución de la tectónica, en opinión de Frankel la hipótesis de las fallas transformantes, por ejemplo, cambiaría el estatuto ontológico de los terremotos.

R. Muir Wood (1985) es un discontinuista aún más radical que Frankel pues llega a cuestionar que la deriva continental y la tectónica de placas pertenezcan al mismo paradigma. En su opinión, la deriva fue una hipótesis pseudo-científica en la que, en vez de mediciones rigurosas, sus partidarios utilizaban analogías, impresiones y argumen-

tos dialécticos. Por el contrario, la tectónica de placas sería una teoría científica consistente. Ni siquiera concede a la deriva el estatus de antecesora de la tectónica de placas, sino que entre las antecesoras nombra a la geometría de superficies esféricas, a la sismología y a la teoría fluidista del XIX (Wood, 1985: 193-200).

La teoría de la deriva no consiguió persuadir a los geólogos mientras que la tectónica de placas sí lo hizo. Wood no es anti-kuhniano sino que distingue dos paradigmas: uno viejo, la geología y otro nuevo, la ciencia de la tierra que estudiaría a la tierra en su conjunto (la geología no). Wood contrasta la subjetividad fundamental de la geología con el enfoque científico de la ciencia de la tierra. La teoría de la deriva y sus rivales pertenecerían al paradigma de la geología y la teoría de la tectónica de placas al de la ciencia de la tierra que desprecia “al experto cuyo conocimiento consiste en nombrar muchos minerales y fósiles y en determinar la edad de los estratos” (Wood, 1985: 223).

La interpretación de Wood presenta algún problema pues para establecer que la teoría de la deriva y la de la tectónica de placas son paradigmas radicalmente diferentes debería explicar, entre otras cosas, por qué los fundadores de esta última (como Hess o Wilson) utilizaron el esquema conceptual de la deriva continental.

¿Era la deriva continental una teoría verdadera?

Evidentemente esta es otra pregunta que solo puede ser respondida retrospectivamente. La atribución de verdad a una teoría es siempre retrospectiva porque una predicción o un propósito no pueden llamarse verdaderos antes de ser satisfechos (Bueno, 1995). Sin embargo, responder a la pregunta no es sencillo. N. Oreskes comienza su libro *The Rejection of Continental Drift* considerando lo que denomina “inestabilidad de la verdad científica”: *La historia de la ciencia muestra cómo las verdades científicas del pasado eran frecuentemente falsas y que ideas rechazadas en el pasado son ahora consideradas verdaderas. Si las verdades de hoy pueden ser falsadas mañana, ¿cómo podremos afirmar la verdad científica?* Critica esta autora la opinión de quienes, desde posturas sociologistas y pragmáticas, sostienen la idea de que *el éxito de la ciencia es su mejor defensa puesto que la tecnología actual, de la que todos nos beneficiamos, procede de la ciencia. Si las cosas fueran así —recuerda— también la ciencia y la tecnología nos están acercando al abismo medioambiental* (N. Oreskes, 1999: 3-6).

Como se ha visto, la teoría de la deriva no fue rechazada porque desconociera el mecanismo del movimiento continental ni porque la hipótesis de Wegener estuviera mal argumentada. Desde la perspectiva presente, la hipótesis de Wegener, complementada con la de Holmes, estaba —a falta de un mejor conocimiento del fondo oceánico— en condi-

ciones de ser testada y aplicada con éxito, al menos con las mismas garantías con las que H. Hess lo intentó en 1962.

Es injusto seguir aludiendo a la cuestión de las causas del movimiento cuando, aún hoy en día, los mecanismos que rigen el desplazamiento de las placas siguen sin estar absolutamente esclarecidos, los modelos geodinámicos son puestos en cuestión por evidencias tomográficas y de la coexistencia de la geofísica con la geoquímica surgen multitud de paradojas (D.L. Anderson, 2007: IX). Si esa es la situación actual —en la que se llega a discutir si es el calor del manto o el frío de la litosfera el causante del movimiento de las placas—, resulta notorio que la centenaria deriva de los continentes no pudo haber sido rechazada por ser una teoría falsa, por ser “mala ciencia” o por no disponer de una explicación satisfactoria al mecanismo causante de los desplazamientos continentales.

Éxito y verdad

Volviendo a la pregunta inicial que encabeza el epígrafe *¿Por qué triunfó la tectónica de placas cuando lo hizo y no la deriva continental medio siglo antes?* constatamos cómo se le han dado dos tipos de respuestas: las realistas que aluden a la verdad científica y las sociologistas que remiten al éxito social de la teoría, al consenso que Wegener no pudo concitar. Entre las realistas de corte científista suelen repetirse la supuesta falta de madurez de la teoría de la deriva, la carencia de mecanismos o el desconocimiento de la petrología (McKenzie, 1977).

Aunque tal pregunta sea legítima, convendría analizarla. ¿Qué tipo de pregunta es? ¿No es más bien una afirmación en forma de pregunta? Una afirmación que se podría expresar así: *la tectónica de placas triunfó, mientras que la deriva continental, medio siglo antes, no*. La comparación entre la tectónica de placas y la deriva continental se hace girar en torno al verbo triunfar. Triunfar es tener éxito, una teoría puede tener éxito en la medida en que su aplicación proporcione resultados felices o en tanto que tenga una buena aceptación. Triunfar procede del latín *triumphare*, que en la Roma antigua —y dicho del vencedor de los enemigos de la República— significaba entrar con gran pompa y acompañamiento. Así pues, en la pregunta *¿Por qué triunfó la tectónica de placas cuando lo hizo y no la deriva continental medio siglo antes?* no se está preguntando por la verdad científica, ya que en ningún caso se dice *¿Por qué la tectónica de placas es verdadera y la deriva continental falsa?* Esta pregunta volvería a ser una afirmación encubierta que exigiría ser discutida. La respuesta a esa nueva pregunta habría que pedírsela a los científicos. Sin embargo la pregunta que estamos analizando es, como hemos adelantado, perfectamente legítima. La tectónica de placas triunfó porque tuvo éxito social y entró con gran pompa y acompañamiento en el circo de la ciencia. Es una pregunta por el éxito en

el seno de la comunidad científica y aún fuera de él y las respuestas del realismo científico aludiendo a la madurez de las teorías, a la distinta composición de la litosfera continental y oceánica o a la demostración del Eltanin-17 son las respuestas de un estudiante aplicado que no escuchó bien la formulación de la pregunta. Lo mismo se podría aplicar a tantos hueros debates entre realistas ingenuos y construccionistas sociales.

Como se ha visto, no se puede hablar de descubrimiento al margen de su justificación. Sólo si el descubrimiento ha sido justificado puede llamarse descubrimiento. De la misma forma, no será posible hacer una historia gnoseológica de la geología más que internamente y desde la ciencia ya constituida y justificada. Esta será la labor que abordaremos en el último apartado de este ensayo.

GNOSEOLOGÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL Y DE LA TECTÓNICA DE PLACAS

Hasta ahora hemos pasado revista a algunas de las muchas interpretaciones epistemológicas, históricas o sociológicas que se han dado de la deriva continental. Ha llegado el momento de presentar nuestra reconstrucción gnoseológico-materialista, basada en la teoría del cierre categorial de G. Bueno (1992-). Desde este enfoque, gnoseología es sinónimo de filosofía de la ciencia, entendiendo la ciencia como una construcción compleja de materiales y de teorías y no exclusivamente como un tipo de conocimiento más o menos verdadero. Se desmarca así de la epistemología, que estudiaría la ciencia en tanto que conocimiento, como relación entre el sujeto cognoscente (el científico) y el objeto del conocimiento.

El análisis materialista, sin embargo, critica que la ciencia pueda ser reducida a un tipo de conocimiento e insiste en su carácter plural y heterogéneo. Ciertamente la ciencia son las teorías y las hipótesis, pero también lo serán los estratos, los mapas o los estereoscopios. La filosofía de la ciencia materialista no se reservará para el pensamiento puro sino que deberá dar también cuenta de la naturaleza y de los aparatos que emplea el científico. La ciencia así concebida es una construcción lógico-material en la que sus componentes son, a un tiempo, materiales y formales. La construcción científica es compleja pues consta de múltiples elementos: unos subjetivos, desde luego, pero otros objetivos y materiales, independientes del observador, en los que residirán los distintos grados de la verdad científica. Este es el presupuesto teórico en que situamos este ensayo.

En este último apartado analizaremos los elementos gnoseológicos implicados en la deriva continental con respecto al marco retrospectivo de la teoría tectónica de placas al que, como se ha demostrado, debemos referirlos. Confiamos en que

una vez determinados dichos elementos estaremos en condiciones de responder a la pregunta del capítulo precedente y de comprender el significado de la deriva en su contexto científico, así como las razones por la que fue rechazada, rechazo que contrasta con el éxito arrollador de la tectónica de placas.

Aunque no podremos detenernos en los detalles (V. Bueno 1992-93; Álvarez Muñoz, 2004), la teoría del cierre categorial analiza los elementos gnoseológicos de una ciencia empleando un sistema triaxial de coordenadas (los ejes sintáctico, semántico y pragmático) que abarca el espacio gnoseológico de las ciencias. Las figuras propias del eje sintáctico son los términos científicos (formaciones, fósiles, fallas, placas...), las operaciones que se realizan con ellos (cartografía, magnetometría...) y las relaciones reconocidas entre esos términos (orden sedimentario, columnas estratigráficas, historia tectónica...). En el eje semántico encontramos en primer lugar los fenómenos (aflojamientos, terremotos...), en un segundo sector están los referenciales, es el sector corporeísta y referenciable de la ciencia (susceptible de ser medido) y, por último, las esencias (las nociones de deriva continental o de tectónica de placas, por ejemplo). En el eje pragmático se delimitan otras tres figuras: los autologismos propios de cada sujeto (memoria episódica, formación científica...), los dialogismos establecidos entre dos o más sujetos (controversias, publicaciones científicas, conferencias...) y las normas de aplicación general. Los tres ejes, cada uno con sus tres sectores respectivos, definen las nueve figuras gnoseológicas básicas, mas por tratarse de un espacio tridimensional, los tres tipos de figuras se intersectan en una especie de cubo de Rubik en el que se discutirá (dialogismos) sobre términos fenoménicos (una discordancia angular) o sobre relaciones esenciales (el debate sobre la deriva de los continentes) o se establecerán normativas sobre operaciones referenciales, sin que sea posible privilegiar las figuras de uno de los ejes sin desatender los otros dos.

La gnoseología analítica arriba esbozada correspondería a un espacio gnoseológico estático (anatómico). Pero la realidad científica es dinámica, por lo que las coordenadas y figuras anteriores deberán ser reinterpretadas desde la gnoseología sintética (fisiológica), bien entendido que tanto la gnoseología analítica como la sintética se refieren a una misma realidad inseparable. La distinción entre ambas se presenta a efectos expositivos, sería algo así como la distinción entre anatomía y fisiología en el cuerpo de la medicina. La gnoseología sintética estudia los procesos de los que brotan las distintas figuras gnoseológicas de cada ciencia y distingue dos grandes grupos: los principios propios de cada ciencia y los modos comunes a todas ellas. Se reconocen cuatro modos científicos generales: las clasificaciones (p.e.: continentes/océa-

nos, sial/sima...), los modelos (puzle, bloque hielo, chimenea, cinta transportadora...), las definiciones (continente, océano, grupos faunísticos y vegetales...) y las demostraciones (equivalencias geoestructurales, similitudes faunísticas, argumentos geodésicos, etc.)

A continuación aplicaremos sucintamente el análisis propuesto por la teoría del cierre categorial (cuyos rudimentos hemos esbozado) a la hipótesis de la deriva continental y a la teoría tectónica de placas. Una aplicación más pormenorizada puede encontrarse en Álvarez Muñoz 2010.

La deriva continental

Los Fenómenos

Según sus propias palabras: “la idea me vino del encaje de las costas”, Wegener habría partido de una simple intuición tras observar la similitud fenoménica de las líneas costeras de Sudamérica y de África, tal como ya había observado Ortelius trescientos y pico años antes. Sin embargo, la intuición de Wegener era una conclusión interiorizada de tres premisas que hasta entonces se habían considerado mutuamente excluyentes: una paleontológica, la difusión de faunas y floras similares en los continentes del sur; otra geofísica, la imposibilidad isostática de hundirse un continente ligero en un sustrato más denso; y una tercera oceanográfica, las enormes profundidades oceánicas que descartaban la existencia de puentes intercontinentales. La intuición de Wegener salvaba estas tres dificultades a condición de admitir un desplazamiento horizontal de los continentes.

Por fortuna para Wegener ni África occidental ni Sudamérica están bordeadas por plataformas continentales, por lo que sus costas encajan como un guante, lo que no ocurre entre otras masas continentales. Sobre un mapamundi se pueden juntar como en un puzle —el puzle es el primer modelo de la deriva— los continentes africano y americano en el antiguo macrocontinente de Gondwanaland (Suess). El siguiente paso es inverso al anterior: cómo pasar de un único continente a los actuales. También en este caso Wegener nos pone en la pista: la imagen de un bloque de hielo fragmentándose en el mar y la asociación de aquellos fragmentos con la forma encajante de los continentes habrían producido en su mente la chispa de la deriva continental. Los dos modelos gnoseológicos: el del puzle y el del hielo fragmentándose ofrecen dos imágenes nítidas y complementarias del curso operatorio fenoménico y circular *regressus/progressus* sobre el que Wegener elaboró su hipótesis.

Los Términos científicos de referencia

Wegener observó la distribución bimodal de las cotas terrestres en torno a dos valores: el de los continentes (con alturas entre 0 y 1 km. sobre el nivel del mar) y el de las llanuras abisales (entre 3 y km. bajo el nivel del mar), reforzando así la dualidad con-

tinentes/océanos y retocando el perfil de los continentes al agregarles sus plataformas costeras. Pero la teoría de la deriva no podría sustentarse sobre un solo tipo de términos. Las operaciones ejercitadas sobre los términos /Continentes/ * /Océanos/, ni siquiera con los términos /Continente Africano/ * /Continente Sudamericano/ nunca podrían rebasar el nivel fenoménico. También aquí la fortuna sonrió a Wegener. El parecido entre faunas, floras y fósiles de uno y otro continente ya había sido señalado. La bibliografía mencionaba la existencia de un reptil pérmico, el *Mesosaurus*, solo encontrado al sur de Brasil y en Sudáfrica, o del *Glossopteris*, un arbusto pérmico exclusivo de los continentes del sur —con el que Suess había argumentado Gondwanaland—; por no mencionar otros pequeños seres vivientes (lombrices, caracoles, etc.) cuya distribución solo era explicable mediante la conexión terrestre entre continentes. Así pues, el *regressus* a un continente pretérito —Gondwana— desde el que se habrían difundido distintas especies estaba ya en la mente de paleontólogos y biólogos. La paleo-reconstrucción de la fauna y flora de Gondwana admitía tres explicaciones alternativas: la del continente intermedio hundido, la de los puentes continentales (ambas fijas) o la suya del macrocontinente fragmentado (movilista).

Tal como un taburete requiere al menos de tres pies para sostenerse, una teoría precisa de diferentes argumentos confluyentes. La deriva continental contaba con la observación fenoménica del encaje costero afro-americano y con las evidencias paleontológicas de la difusión de la fauna y de la flora a partir de un macrocontinente anterior. La necesidad de encontrar otros apoyos para la deriva justifica la batería de argumentos paleontológicos, geodésicos, geofísicos, geológicos, etc. presentada por Wegener en *El origen de los continentes y océanos*. Para demostrar la verdad de la hipótesis urgía definir, desde diferentes campos, nuevos términos científicos cuyos cursos operatorios confluyeran. La demostración más rotunda podría haberla proporcionado el argumento geodésico si se hubiera conseguido “medir” la velocidad de separación entre los continentes como (erróneamente) pretendió Wegener en Groenlandia.

La velocidad de propagación de las ondas sísmicas sugería discontinuidades bajo los bloques continentales. Los datos de los fondos oceánicos se asemejaban a los de las capas más profundas, con mayor contenido en hierro y que corresponderían a lo que Suess había denominado “sima” (basalto, rocas básicas) frente a las más ligeras rocas “siálicas” continentales. La clasificación sial y sima, junto con las pruebas paleontológicas, fueron nuevos términos adaptados a la teoría de Wegener. A este respecto, la relación isostática era objeto de una doble interpretación: mientras Wegener afirmaba que “la isostasia implicaba una fluidez bajo

la corteza que permitirá no solo desplazamientos verticales, sino también horizontales de existir las oportunas fuerzas”, H. Jeffreys (1924) le replicaba que “si el sima es tan débil que permite a los continentes navegar sobre él, entonces sus proas no se arrugarían”, lo que ponía en cuestión la génesis tradicional de la deformación de la corteza y del origen de las montañas.

Otro importante grupo de términos científicos puestos a disposición de la hipótesis wegeneriana fueron las “coincidencias” geológicas encontradas en las dos orillas del Atlántico. Un conjunto de correspondencias estratigráficas, petrológicas y estructurales a ambos lados del océano que como afirmaba Wegener “refuerza la teoría que considera el Atlántico como una gran fractura ensanchada más que el ensamblaje de los contornos continentales”.

Esta vez sí, las patas del taburete estaban científicamente asentadas y parecían suficientes para sostener la hipótesis: estaban primero las pruebas paleontológicas de una antigua difusión de las especies; utilizaba además un esquema petrológico sial/sima que permitía argüir razones geofísicas en defensa del desplazamiento horizontal; y, por último, contaba con una quincena de correspondencias comprobadas entre las formaciones geológicas africanas y sudamericanas, términos físicos de referencia, reconocibles, mensurables y confrontables, separados por el océano.

El plano esencial de la deriva de los continentes

Como queda señalado, la construcción wegeneriana, a partir de unos términos fenoménicos (los continentes encajantes), había logrado definir unos términos científicos objetivos mediante operaciones de *regressus/progressus* basadas principalmente en modelos. Esos términos referenciables resultan coherentes entre sí y confluyen en una teoría esencial que los dotará de sentido y contenido por medio de la formulación que le es propia: la deriva de los continentes. Esto es: establece entre los continentes siálicos y flotantes unas relaciones de separación mutua (por unos mecanismos que Wegener confiesa desconocer al detalle, ¿huída de los polos? ¿atracción lunar?) que le permitirían interpretar la difusión de las especies biológicas desde tiempos mesozoicos y la continuidad de las estructuras a uno y otro lado del Atlántico. Esa sería *grosso modo* la aproximación gnoseológica a la teoría de la deriva de los continentes tal como se recoge de *El origen de los continentes y océanos* (1915) y siguiendo el eje semántico (fenómenos-referenciales-esencias) mediante la figura de los términos como hilo conductor.

Pero no hay que olvidar que el espacio gnoseológico es tridimensional, por lo que el eje semántico se intersecta con el eje sintáctico que hemos focalizado en los términos, dando por descontado que la ciencia opera sobre estos para conseguir

nuevos términos y nuevas configuraciones de los mismos. Así pues, operaciones y relaciones son figuras que, junto con los términos, completan el eje sintáctico.

Tampoco debemos obviar el tercer eje, el eje pragmático, que se cruzaría con los dos anteriores y que estaría especialmente implicado en cualquier consideración que se haga sobre la historia y el desarrollo de la ciencia, sobre las actuaciones personales y las actividades sociales de los científicos, en

la divulgación de las ideas, en las controversias o sobre el carácter normativo de los conocimientos (V. Álvarez Muñoz 2010).

Aunque convendría extender nuestro análisis gnoseológico a esa tercera dimensión pragmática, hemos resumido, por motivos de claridad expositiva y de su representación gráfica, el análisis anterior de la deriva de los continentes en el siguiente cuadro bidimensional que representa los ejes sintáctico y semántico de la misma:

Deriva continental		EJE SINTÁCTICO		
		Términos	Operaciones	Relaciones
EJE SEMÁNTICO	Fenómenos	Continentes/océanos	Encaje y separación de continentes	De similitud y paralelismo entre las costas
	Referenciales	Mesosaurus, Glossop-teris Sial/ sima, Velocidad ondas S/P Estructuras geológicas Cordilleras montañosas (Alpes, Himalaya)	[Reconstrucción de puen-tes continentales] [Reconstrucción de macro-continentes] Desplazamientos horizon-tales y verticales Reconstrucción de las estructuras geológicas. Acortamiento horizontal	Similitud o identidad faunística y vegetal. Continuidad estructural entre África y América. Isostasia De superposición y cabalgamiento
	Esencias	[Continentes flotantes] [Océanos pasivos]	Reconstrucción paleogeo-gráfica y paleofaunística de Gondwana, Laurasia, etc.	Deriva continental [des-plazamiento horizontal de los continentes] Difusión fauna-flora. [Atracción lunar] [Huída de los polos]

El marco de la tectónica de placas

Pero como —según se ha demostrado en los apartados cuarto y quinto— la interpretación de una teoría habrá de ser siempre retrospectiva, solo retrospectivamente podremos juzgar las razones del éxito o del fracaso de la deriva continental. Así pues,

para poder emitir un juicio sobre el alcance de la teoría de Wegener deberíamos poder comparar sus términos con los de la tectónica de placas, para lo cual habrá que analizar gnoseológicamente esta segunda teoría, análogamente a como hemos hecho con la deriva, en otro cuadro bidimensional como el que sigue:

Tectónica de placas		EJE SINTÁCTICO		
		Términos	Operaciones	Relaciones
EJE SEMÁNTICO	Fenómenos	Cordilleras meso-oceánicas Volcanes, terremotos	Topografía Batimetría Cartografía oceánica	Simetría meso-oceánica Cinturones volcánicos circumpacíficos. Zonas sísmicas
	Referenciales	Bandas cebrá (polaridad +/-) Rocas alcalinas (superf.) y Rocas básicas (profundas)	Medición geomagnética, Datación isotópica, Sismografías, Tomografías, Análisis petrológico	Bipolaridad geomagnética: alternancia +/- Edad del subsuelo
	Esencias	Placas, Dorsales oceánicas, Fallas transformantes. Litosfera, Astenosfera, Manto	Bordes de placa (definición) Reconstrucción sísmica y tomográfica de la corteza y del manto (cortes y perfiles)	Expansión del suelo oceánico, Colisión de placas, Subducción

Por descontado que la tectónica de placas incluirá entre sus figuras gnoseológicas a las que pueda rescatar de la deriva continental, tales como los términos y relaciones paleontológicos convenientemente demostrados o los mismos continentes y océanos en tanto que términos fenoménicos no esenciales.

A MODO DE CONCLUSIÓN

Tras el análisis gnoseológico de la deriva y habiéndolo cotejado con el cuadro-marco de la teoría dominante actual, estaremos en condiciones de señalar los principales impedimentos que la deriva continental encontró para su cierre categorial y que hemos resumido en cuatro:

Los continentes de Wegener no eran los verdaderos términos del desplazamiento, como sí lo son las placas (sean estas continentales, oceánicas o mixtas). Por lo tanto la deriva continental no cerraba al carecer de verdaderos términos esenciales. La revolución tectónica de la década de los sesenta del pasado siglo supo ver en las placas (que no en los continentes) sus términos gnoseológicos. Tanto los continentes como los océanos de la hipótesis wegeneriana eran términos fenoménicos incorrectamente articulados en una teoría.

La implicatura lógica de la deriva de los continentes es la pasividad de los océanos. Los continentes se desplazaban, según Wegener, sobre unos océanos pasivos. Nada más falso, como demostró la tectónica de placas. De hecho, es la superficie de los océanos la que sufre mayores transformaciones en el transcurso de la historia geológica: dorsales oceánicas con creación de nueva placa oceánica, bordes destructivos donde subduce la placa oceánica, etc. En realidad, solo la historia geológica que cuentan los bloques continentales es realmente antigua, mientras que la de los oceánicos no sobrepasa los 200 m.a.

La deriva continental era una teoría sobre el origen del océano Atlántico, pero no una teoría global para todo el planeta. En los mapas y esquemas de Wegener el Pacífico es un contenedor de retales, es el patio trasero de la deriva. Por el contrario, la tectónica de placas es una tectónica global.

La confluencia operatoria que se verifica en la tectónica de placas es mucho más amplia que la manifestada en la deriva, incluyendo una explicación coherente para los volcanes y para los terremotos y una justificación de las diferencias petrológicas de la litosfera. A más términos implicados en el cierre, mayor es el grado de confluencia operatoria. Consecuentemente, la franja de verdad de la tectónica de placas es muy superior a la de la deriva continental.

Estas serían algunas de las más importantes conclusiones que podríamos extraer del análisis gnoseológico de la deriva continental desde el

marco retrospectivo propiciado por la tectónica de placas. Gnoseológicamente hablando, la debilidad de la deriva continental no debería atribuirse a la ausencia de un mecanismo causante del movimiento —que, por cierto, aún hoy día se debate para la tectónica de placas—, ni a la falta de consenso en torno a la teoría —pues los consensos admiten matizaciones locales y coyunturales—, sino, como se ha intentado demostrar, a la carencia de auténticos términos esenciales aptos para el cierre categorial.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Muñoz, E. (2004). *Filosofía de las ciencias de la tierra*. Pentalfa, Oviedo.

Álvarez Muñoz, E. (2010). Cierre categorial e historia interna de la ciencia: a propósito de la gnoseología especial de la tectónica de placas. *El Basilisco*, 2ª época, 42, 1-18.

Anderson, D. L. (2007). *New Theory of the Earth*. Cambridge University Press.

Argand, E. (1916). Sur l'arc des Alps Occidentales. *Ecllogae geologicae Helveticae* 14, 145-192.

Argand, E. (1924). *La tectonique de l'Asie*. *Comptes Rendues du XIII Congrès Géologique International*. Lieja, 1922, 171-372.

Bueno, G. (1992-). *Teoría del cierre categorial*. Pentalfa, Oviedo.

Bueno, G. (1995). *¿Que es la ciencia?* Pentalfa, Oviedo.

Carey, S. W. (1988). *Theories of the Earth and Universe: a History of Dogma in Earth Sciences*. Stanford University Press.

Chamberlin, T. C. (1890). The method of multiple working hypotheses. *Science* 15(92). Reimp. 1965: *Science* 148, 754-759.

Cohen, I. B. (1989). *Revolución en la ciencia*. Gedisa, Barcelona.

Cox, A. (1973). *Plate tectonics and geomagnetic reversals*. Freeman, San Francisco.

Daly, R. A. (1926). *Our mobile earth*. Scribner, New York.

Dana, J. D. (1862). *Manual of geology, treating the principles of the science, with special reference to American geological history*. T. Bliss, Philadelphia.

Descartes, R. (1644). *Principia philosophiae*. Elsevier. Amsterdam. Trad. esp. (1995): *Los principios de la filosofía*. Alianza, Madrid.

Diener, C. (1925). *Grundzüge der Biostratigraphie*. Deuticke, Leipzig & Vienna.

Du Toit, A., Reed, F. R. C. (1927). *A geological comparison of South America with South Africa*. Carnegie Institution, Washington.

Du Toit, A. (1937). *Our wandering continents*. Oliver and Boyd, Edinburgh.

Élie de Beaumont, L. (1852). *Notice sur les systèmes des montagnes*. P. Bertrand, Paris. 3 vol.

Frankel, H. (1981). The Non-Kuhnian Nature of the Recent Revolution in the Earth Sciences. *PSA 1978, Proceedings of the 1978 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*. The Philosophy of Science Association. East Lansing, Michigan. 2, 197-214.

- Gagnebin, E. (1922). La dérive des continents: selon la théorie d'Alfred Wegener. *Revue générale des Sciences pures et appliquées* 33, 293-304.
- García Cruz, C. M. (1996). El Simposio de la Asociación Americana de Geólogos del Petróleo (Nueva York, 1926) y la deriva continental. *Llull* 19, 91-109.
- García Cruz, C. M. (2003). La filosofía geológica en los inicios del siglo XX: marco epistemológico de la deriva continental. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 11 (1), 28-37.
- Hallam, A. (1973). *A revolution in the Earth sciences: from continental drift to plate tectonics*. Clarendon Press. Oxford. Trad. esp. (1989): *De la deriva de los continentes a la tectónica de placas*. Labor, Barcelona.
- Hallam, A. (1983). *Great Geological Controversies*. Oxford University Press. Trad. esp. (1985): *Grandes controversias geológicas*. Labor, Barcelona.
- Haug, E. (1900). Les géosynclinaux et les aires continentales: contribution à l'étude des transgressions et des régressions marines. *Bull. Soc. géol. France*, 3^{ème} série, XXVIII, 617-711.
- Heim, A. (1878). *Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung*. B. Schwabe, Basel.
- Hess, H. (1962). History of Ocean Basins. *Petrologic Studies: A Volume in Honor of A. F. Buddington* (A. E. J. Engel, H. L. James y B. F. Leonard, eds). Geological Society of America, Colorado. 599-620.
- Holmes, A. (1929). A review of the continental drift hypothesis. *Mining Magazine*, 40, 340-347.
- Jeffreys, H (1924). *The Earth, its origin, history and physical constitution*. Cambridge University Press.
- Kitts, D. B. (1974). Continental Drift and Scientific Revolution. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 58 (12), 2490-2496.
- Kitts, D. B. (1981). Retrodiction in geology. *PSA 1978, Proceedings of the 1978 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*. The Philosophy of Science Association. East Lansing, Michigan. 2, 215-226.
- Kossmat, F. (1921). Die mediterranen Kettengebirge in ihrer Beziehung zum Gleichgewichtszustande der Erdrinde. *Akademie der Wissenschaften, Leipzig*.
- Krenkel, E. (1911). *Die Entwicklung der Kreideformation auf dem afrikanischen Kontinente*. Geologische Rundschau 2, 330-366.
- Lakatos, I. (1978). *The Methodology of Scientific Research Programmes*. Cambridge University Press.
- Laudan, R. (1981). The Recent Revolution in Geology and Kuhn's Theory of Scientific Change. *PSA 1978. Proceedings of the 1978 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*. The Philosophy of Science Association. East Lansing, Michigan. 2, 227-239.
- Marvin, U. B. (1973). *Continental drift: the evolution of a concept*. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Menard, H. W. (1971). *Science: Growth and Change*. Harvard University Press.
- Nitecki, M.; Lemke, J. L.; Pullman, H. W. & Johnson, M. E. (1978). Acceptance of plate tectonic theory by geologists. *Geology*, 6 (11), 661-664.
- Oreskes, N. (1988). The Rejection of Continental Drift. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 18, 311-348.
- Oreskes, N. (1999). *The Rejection of Continental Drift: Theory and Method in American Earth Science*. Oxford University Press.
- Ortelius, A. (1596). *Thesaurus Geographicus*. Ambers, Plantino.
- PSA 1978, *Proceedings of the 1978 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* (ed. by Peter D. Asquith & Ian Hacking). Philosophy of Science Association. East Lansing, Michigan. Vol. 2.
- Reichenbach, H. (1938). *Experience and prediction: an analysis of the foundations and the structure of knowledge*. University of Chicago Press.
- Romm, J. (1994). A new forerunner for continental drift: Abraham Ortelius.... *Nature*, 367, 407-408.
- Ruse, M. (1981). What Kind of Revolution Occurred in Geology? *PSA 1978. Proceedings of the 1978 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*. The Philosophy of Science Association. East Lansing, Michigan. 2, 240-273.
- Simpson, G. G. (1943). Mammals and the nature of continents. *American Journal of Science*, 241, 1-31.
- Staub, R. (1924). *Der Bau der Alpen*. Beitrage zur Geologischen Karte der Schweiz, nF 52, Bern.
- Suess, E. (1885-1901). *Das Antlitz der Erde*. Trad. esp. (1923-30): *La faz de la Tierra*, ed. de P. de Novo y F. Chicharro. Ramona Velasco, Madrid.
- Taylor, F. B. (1910). Bearing of the Tertiary mountain belt on the origin of the Earth's plan. *Bull. Geol. Soc. Am.* 21, 179-226.
- Wegener, Alfred (1912). Die Entstehung der Kontinente. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 58(4, 5 y 6), pp.185-195, 253-256 y 305-309
- Wegener, Alfred (1912). Die Entstehung der Kontinente. *Geologische Rundschau* 3(4), pp. 276-292.
- Wegener, Alfred (2009). *El origen de los continentes y océanos*, ed. de F. Anguita Virella y J. C. Herguera García. Barcelona, Crítica.
- Whewell, W. (1840). *The philosophy of the inductive sciences*. Routledge/Thoemmes. London, 1996. Facsim. ed. John W. Parker, London
- Willis, B. (1943). Continental Drift: Ein Märchen. *American Journal of Science*, 242, 509-513.
- Wilson, J. T. (1968). Static or mobile Earth: the current scientific revolution. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 112, 309-320.
- Wood, R. M. (1985). *The Dark Side of the Earth*. George Allen and Unwin, London. ■

Artículo solicitado desde E.C.T. el 5 de septiembre de 2010 y recibido el 14 de abril de 2011; aceptado definitivamente para su publicación el 20 de agosto de 2011.