
NOVENTA Y CUATRO AÑOS DE LA TEORÍA DE LA DERIVA

CONTINENTAL DE ALFRED LOTHAR WEGENER

Carlos Pérez-Malvárez, Alfredo Bueno H., Manuel Feria O. y Rosaura Ruiz R.

RESUMEN

La teoría de la deriva continental propuesta por Alfred Wegener desde 1912 representa un episodio muy importante en la historia de la ciencia, ya que revolucionó el concepto de la dinámica terrestre. Desde su surgimiento, la idea de que los continentes podían desplazarse, cambiando completamente la configuración de tierras y mares fue además de impactante, polémica. Alfred Wegener fue el primero en elaborar una explicación coherente sobre el desplazamiento de los continentes. Soldado del ejército alemán, profesor de meteorología y viajero incansable, Wegener fue capaz de desarrollar una teoría geológica completamente audaz y novedosa a partir de evidencias paleontológicas, geológicas y geofísicas. En este trabajo se hace una breve reconstrucción histórica del surgimiento y desarrollo de la teoría de la deriva continental. Inicial-

mente suscitó una fuerte polémica entre las comunidades de geólogos, paleontólogos y geofísicos. El desarrollo ulterior de los estudios paleomagnéticos condujo a la moderna teoría de la tectónica de placas. La teoría de Wegener fue incapaz de desarrollar una explicación convincente sobre el mecanismo de los movimientos horizontales de la superficie terrestre. La tectónica de placas por el contrario surgió como resultado de los estudios del fondo oceánico y paleomagnéticos, que se convirtieron en la evidencia empírica que da sustento al movimiento de las placas tectónicas. Si bien Wegener no pudo encontrar un mecanismo para explicar la deriva de los continentes, tuvo el mérito de reunir toda la evidencia posible en su época para establecer sólidamente el movimiento horizontal de los continentes.

Alfred Lothar Wegener propuso la teoría de la deriva continental en 1912. En vísperas de su centenario, vale dejar constancia de la importancia de su elaboración. Es en gran medida gracias a Wegener que se inició la construcción de los modelos que ahora permiten entender mejor las causas de catástro-

fes como la ocurrida recientemente en Indonesia. La subducción de la placa de la India bajo la placa de Birmania provocó la ruptura que causó el sismo de 9 grados en la escala de Richter, así como el tsunami resultante. Lo que se entiende mucho menos es que a pesar de la globalización de las comuni-

caciones y de los sistemas de detección de sismos, no se haya podido evitar la pérdida de alrededor de 300000 vidas humanas. Alfred Wegener, a diferencia de lo que se conoce actualmente, pensaba en términos de movimientos continentales y no de placas tectónicas, pero su gran idea sobre el desplazamiento fue

y sigue siendo impactante, no solo por los resultados catastróficos que produce para la especie humana, sino porque implicó la audacia de imaginar una fuerza colosal capaz de mover continentes enteros hasta el punto de recomponer completamente la disposición de tierras y mares en el curso de las eras

PALABRAS CLAVE / Deriva Continental / Pangea / Puentes Continentales / Tectónica de Placas /

Recibido: 02/11/2005. Modificado: 26/05/2006. Aceptado: 29/05/2006.

Carlos Pérez-Malvárez. M.C. en Enseñanza e Historia de la Biología, Facultad de Estudios Superiores (FES) Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Profesor, UNAM, México. Dirección: Mu-

seo de Zoología, Campo II. Batalla 5 de mayo s/n, Col. Ejército de Oriente, Iztapalapa. 09230 México DF. e-mail: malvaez@servidor.unam.mx Alfredo Bueno Hernández. Doctor en Ciencias, FES Zaragoza,

UNAM, México. Profesor, UNAM, México. e-mail: abueno@servidor.unam.mx Manuel Feria Ortiz. M.C., FES Zaragoza, UNAM, México, Profesor, UNAM, México. e-mail: mferiaortiz2servidor.unam.mx

Rosaura Ruiz R. Doctora en Ciencias, UNAM, México. Profesor, UNAM, México. e-mail: rosaura@servidor.unam.mx

SUMMARY

The theory of continental drift was propounded by Alfred Wegener since 1912. It represents a major advance in the history of science, because it revolutionized the concepts about the terrestrial dynamics. Since it was conceived, the idea of the movement of continents was not only overwhelming but polemic. Alfred Wegener had the merits of being the first to build a congruent explanation about the horizontal movement of continents. He was a soldier of the German army, professor of meteorology, and tireless traveler. Wegener developed a brand new theory with paleontological, geological and geophysical evidences. This work deals with a brief historical reconstruction about the rise and development of the theory of conti-

ental drift. At the beginning, it caused a strong polemic among the geologists, paleontologists and geophysicists' communities. Later on, the development of paleomagnetic studies led to the modern theory of plate tectonics. Wegener's theory was unable to give a clear explanation about the mechanism of such horizontal movements, contrary to plate tectonic theory, which later could construct a convincing explanation based upon studies of the oceanic floor and paleomagnetic data. Although Wegener could not find a satisfactory mechanism to explain the continental drift, he had the merit of gathering all the evidence available at his time to establish in a solid manner the horizontal movement of continents.

RESUMO

A teoria da deriva continental proposta por Alfred Wegener, em 1912, representa um importante episódio na história da ciência, pois revolucionou o conceito da dinâmica terrestre. Desde seu surgimento, a idéia de que os continentes podiam deslocarse, mudando completamente a configuração da terra e dos mares foi impactante e polêmica. Alfred Wegener foi o primeiro a elaborar uma explicação coerente sobre o deslocamento dos continentes. Soldado do exército alemão, professor de meteorologia e viajante incansável, Wegener foi capaz de desenvolver uma teoria geológica audaz e inovadora, a partir de evidências paleontológicas, geológicas e geofísicas. Neste trabalho se faz uma breve reconstrução histórica do surgimento e desenvolvimento da teoria da deriva continental. Inicialmente, a teoria

suscitou uma forte polêmica entre as comunidades de geólogos, paleontólogos e geofísicos. O desenvolvimento ulterior dos estudos paleo-magnéticos conduziu à moderna teoria da tectônica de placas. A teoria de Wegener foi incapaz de desenvolver uma explicação convincente sobre o mecanismo dos movimentos horizontais da superfície terrestre. A tectônica de placas, ao contrário, surgiu como resultado dos estudos de fundo oceânico e paleo-magnéticos, que se converteram na evidência empírica, que deu base ao movimento das placas tectônicas. Embora Wegener não tenha podido descobrir um mecanismo para explicar a deriva dos continentes, teve o mérito de reunir toda a evidência possível em sua época, para estabelecer solidamente o movimento horizontal dos continentes.

geológicas. Este trabajo pretende reconstruir en sus puntos básicos la historia del surgimiento y desarrollo de la teoría de la deriva continental.

Aspectos Biográficos

La teoría de la deriva continental está irrevocablemente asociada al nombre de Alfred Wegener, quien fue el primero que presentó argumentos lógicos y coherentes a favor de su hipótesis, tomando en cuenta una amplia gama de fenómenos naturales (Hallam, 1989).

Alfred Lothar Wegener (1880-1930; Figura 1) nació en Berlín. Fue hijo de Richard y Anna Wegener y tuvo dos hermanos, Kurt y Tony. Por casi 300 años la familia Wegener proveyó clérigos evangelistas a la grey cristiana. El padre de Wegener no fue la excepción; Doctor en Teología, estuvo a cargo de un orfanato. En 1886, cuando Alfred tenía 6 años, la familia compró una casa de verano en las afueras

de Berlín. Desde entonces adquirió su afición por el deporte al aire libre. Practicaba en verano lo mismo el alpinismo que la natación o la navegación. En el invierno acostumbraba esquiar y patinar (Greene, 1984).

Wegener terminó sus estudios secundarios en septiembre de 1899 en el *Köllnischen Gymnasium* de Berlín; luego continuó en las Universidades de Heidelberg, Innsbruck y Berlín. De septiembre de 1902 a septiembre de 1903 trabajó como astrónomo en el observatorio de la *Sociedad Urania*, en Berlín. De 1905 a 1906 estuvo como asistente en el *Aeronautic Observatory*, en Lindenberg. Se doctoró en Astronomía en la Universidad de Berlín el 24 de noviembre de 1904, con un trabajo que consistió en convertir un juego de tablas astronómicas, las Tablas Alfonsinas del movimiento planetario, de sexagesimales a decimales (Schwarzbach, 1986). Con ello dio término a su incursión en la astron-

mía, disciplina en la que se requería talento matemático, equipo caro y un temperamento casero, tres cosas de las que carecía, según él mismo afirmaba (Greene, 1984).

Desde sus inicios como estudiante había tenido la ilusión de explorar Groenlandia y también se había sentido enormemente atraído por una ciencia relativamente moderna: la Meteorología. Como preparación para sus expediciones a la Antártida, Wegener entró a programas de caminatas largas. Llegó a dominar el uso de cometas y globos para observaciones climatológicas. Incursionó en la aeronáutica con tal éxito, que en 1906, junto con su hermano Kurt (1878-1964), estableció un récord mundial de 52 horas de vuelo ininterrumpido. La preparación de Wegener tuvo su recompensa cuando fue elegido como meteorólogo de una expedición danesa que partió hacia el noreste de Groenlandia. La expedición, que llevaba como líder a Mylius-Erichsen, duró

de 1906 a 1908. Esta fue la primera de cuatro expediciones que haría al territorio que más le interesaba (Hallam, 1975).

Durante los dos primeros años que pasó en Groenlandia, Wegener emprendió una variedad de trabajos científicos sobre Meteorología, Geología y Glaciología (Greene, 1984). Fue una expedición salpicada de fatalidades, que sin embargo no le impidieron adquirir reputación como miembro expedicionario competente y destacado viajero polar. Regresó a Alemania con volúmenes de observaciones climatológicas. Entre 1909 y 1919 califica y recibe habilitación como profesor de meteorología y astronomía; luego es designado *Privatdozent* y a partir de 1917, Profesor de la Universidad de Marburg. En esta época publica más de 40 artículos, la mayoría basados en sus estudios de precipitación e inversión térmica en Groenlandia, sobre el origen de las tormentas ciclónicas y fenómenos ópticos de altas latitudes,

ilustrados con una selección de los centenares de fotografías tomadas por él mismo. Este periodo, que fue el más productivo de su carrera científica, culminó con su primer libro, *Thermodynamik der Atmosphäre* (1911), que alcanzó tres ediciones y luego dejó de imprimirse por voluntad expresa de su autor, para ser sustituido por uno nuevo, publicado en 1935 con el título de *Vorlesungen über Physik der Atmosphäre*, (Wegener K, 1966).

En Marburg, Wegener reafirmó su amistad con Wladimir Köppen (1846-1940), quien anteriormente lo había provisto con equipo para su primera expedición a Groenlandia. Visitó a la familia Köppen varias veces en Hamburgo, adquiriendo valiosos consejos del maestro meteorólogo y estableciendo una creciente amistad con su hija Else Köppen, quien más tarde se convertiría en su esposa y colaboradora científica. Tuvieron tres hijos, Hilde, Käthe y Charlotte. Recién casado, se llevó a su esposa a vivir a Marburg para continuar con un ambicioso programa de investigación que había diseñado sobre física atmosférica. Sin embargo, la primera Guerra Mundial se interpuso en sus planes.

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

En 1912 Wegener realizó una nueva expedición a Groenlandia con el explorador danés J.P. Koch, notoria por ser la travesía más larga hecha a pie sobre el casquete glaciar. En esta expedición el propósito fue realizar estudios en glaciología y climatología. Años después, sería

el propio Wegener quien iría como líder de otras dos expediciones a Groenlandia, la primera de 1929 a 1930 y la segunda inmediatamente después, de 1930 a 1931 (Bullen, 1976).

De 1914 a 1919, Wegener estuvo en el ejército. Inicialmente fue llamado a filas como teniente de infantería del 3^{er} regimiento de granaderos *Queen Elisabeth*. Durante un avance dentro de Bélgica fue herido, suceso del que se recobró con prontitud. Sin embargo, tan solo catorce días después fue nuevamente alcanzado por una bala que se alojó en su cuello. Como resultado, ya no fue considerado apto para la milicia activa y se le envió al campo del Servicio Militar Climático, donde estudió los tornados e investigó el impacto causado por un meteorito de gran magnitud. Su convalencia duró varios meses, tiempo que utilizó para revisar y ampliar su evidencia sobre la teoría del desplazamiento de los continentes, que apareció en 1915 como un libro de noventa páginas.

En el difícil año después del armisticio, luego de haber concluido la primera Guerra Mundial, los Wegener unieron viviendas con la familia Köppen en Hamburgo. En 1919, Wegener regresó a la vida académica por un período de 5 años, sucediendo a su suegro en la dirección del Departamento de Meteorología Teórica del Servicio Atmosférico del *German Marine Observatory* y trabajando también en la Universidad de Hamburgo. Él y su hermano Kurt quedaron a cargo de la estación experimental meteorológica situada en Grost Borstel, próxima a Hamburgo. Alfred Wegener se hizo cargo del Coloquio Geofísico, que regularmente se reunía en casa de Köppen. Entretanto continuaba su trabajo sobre Groenlandia. En un viaje que hizo a los mares de Cuba y México durante 1922 tomó mediciones, junto con Erich Kuhlbrodt, de las corrientes superiores sobre el

Atlántico, anticipándose al viaje aéreo trasatlántico (Schwarzbach, 1986).

La relación entre los hermanos Wegener y Wladimir Köppen dio como resultado una intensa serie de colaboraciones. Köppen se mostró al principio escéptico sobre las ideas de Wegener sobre el desplazamiento de los continentes e incluso temeroso de que arruinara su oportunidad de ejercer un profesorado con especulaciones tan audaces. Sin embargo, quedó a fin de cuentas convencido. Desde su retiro, Köppen dedicó cada vez más tiempo a desarrollar con Alfred una nueva línea de evidencia sobre el desplazamiento continental, que dio como resultado la publicación en 1924 de un trabajo conjunto intitulado *Die Klimate der geologischen Vorzeit*. La energía y amplia percepción de Alfred fue complementada con la experiencia, sagacidad y erudición de Köppen. Los paleoclimatólogos han reconocido desde hace tiempo la gran relevancia del trabajo de Wegener en esta área.

A Wegener le motivaban también otros intereses intelectuales. En 1919 publicó un breve y excelente libro, *Die Entstehung der Mondkrater*, donde defendía la hipótesis de que los cráteres de la Luna eran creados por impacto en lugar de ser resultado de actividad volcánica. Sus argumentos se basaban sobre algunas simulaciones y fotografías. Aunque tal trabajo no tenía ninguna conexión con la meteorología ni con el desplazamiento continental, su intelecto seguía rondando sobre ambas materias.

Todos estos años significaron una profunda interiorización intelectual de Wegener dentro de la teoría del desplazamiento continental. Una edición revisada y ampliada del libro de 1915 apareció en 1920, y otra en 1922. Hacia 1926, la hipótesis de Wegener era tan controvertida y se había difundido tanto a través de las diversas traducciones de su libro que se orga-

nizó un simposio sobre ella en Nueva York, promovido por la Asociación Americana de Geólogos Petroleros. Wegener no asistió (Greene, 1984). Quizá fue una buena decisión, ya que los participantes, casi todos británicos y americanos, hicieron virulentos ataques no solo a sus ideas, sino también a su persona, empleando incluso la difamación y poniendo en tela de juicio la originalidad, competencia y honestidad de su autor. Wegener se desilusionó con esta respuesta y mientras llevaba a cabo una revisión mayor de su libro, motivado por publicaciones recientes y por nuevas críticas a su teoría, comentó a su hermano Kurt que haría una última edición de su libro más conocido, *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Los escritos en torno a su teoría se acumulaban tan rápidamente que se hacía prácticamente imposible que una sola persona pudiera estar al tanto de todos ellos. En 1928, Wegener concluyó que una nueva revisión de su libro sería superior a sus fuerzas, no sólo por lo extenso de la literatura sino por el carácter cada vez más especializado que adquiriría. Por tanto, decidió que cualquier edición adicional que pudiera resultar apareciera sin alteración (Wegener K, 1966).

Wegener se expresaba así: "Sólo a través del resumen de todas las geociencias podemos esperar indagar *"die Wahrheit"* (la verdad); esto significa encontrar aquella imagen que represente los hechos en el mejor orden y que por lo tanto tenga derecho en reclamar para sí una mayor probabilidad; también debemos estar conscientes de que cada nuevo descubrimiento puede afectar el resultado" (Wegener, 1929 en Jacoby, 1980, p. 126).

En 1927 Wegener decide hacer una expedición a Groenlandia con un fuerte apoyo de la Asociación Alemana de Investigación. Su experiencia y reputación lo convertían en la persona idó-

nea para dirigirla. El objetivo principal era construir una estación climática para obtener mediciones climatológicas sistemáticas de las tormentas y sus efectos sobre los vuelos trasatlánticos. Se bosquejaron además otros objetivos dentro de un amplio programa de meteorología y glaciología, con la intención de obtener pruebas geofísicas del desplazamiento continental. La expedición, una de las más importantes hasta entonces, se inició en 1930. De esa expedición se obtendría finalmente un dato relevante para su tiempo: el espesor del hielo interior sobrepasaba los 1800m.

Previsor como siempre, Wegener hizo su tercera expedición a Groenlandia en 1929 junto con dos colegas, la cual tuvo un carácter preliminar, y al año siguiente llevó a cabo la que sería su cuarta y última expedición. Hubo grandes dificultades desde el comienzo. Los abastecimientos de las instalaciones tierra adentro no llegaron a tiempo y la inminencia del invierno motivó a que Wegener se esforzara por prever una base en la que pudieran albergarse. Partió desde la costa oriental de Groenlandia con una numerosa caravana y acompañado de nevadas y fuertes vientos, lo que provocó la casi inmediata deserción de los groenlandeses que había contratado. Los que quedaron, incluido Wegener, sufrieron durante todo septiembre. En octubre llegaron sin provisiones a la estación y con uno de los miembros del grupo casi congelado, quien ya no pudo continuar el viaje. La situación era extremadamente desesperada. Apenas había suficiente comida y combustible para dos personas, de las cinco que habían arribado. Era necesario que algunos regresaran por provisiones. Se decidió que Wegener y su compañero esquimal Rasmus Villumsen volvieran a la costa. Nunca se supo cómo fue que se tomó esa decisión (Greene, 1984). Wegener ce-

lebró sus 50 años el 1 de noviembre de 1930 y salió a la siguiente mañana. La última fotografía muestra a un Wegener determinado, con su bigote empastelado con escarcha de hielo y con un Villumsen de gesto no muy complacido a su lado. Se sabe que el viento era fortísimo y había una temperatura de -50°C. Nunca más se le volvió a ver vivos. El cuerpo de Wegener fue encontrado bajo la nieve el 8 de mayo del siguiente año envuelto en su bolsa de dormir y con una piel de reno. Sus manos no mostraban congelamiento, lo que indica que no murió durante el camino a causa del frío, sino probablemente dentro de su tienda de campaña a causa de un paro cardíaco producido por un esfuerzo físico excesivo. El cuerpo de Villumsen nunca se recuperó, como tampoco el diario de Wegener que posiblemente contenía sus últimos pensamientos.

La esposa de Wegener, Else, recibió el ofrecimiento del gobierno alemán para enviar un acorazado por el cuerpo y honrarlo con un funeral público, sin embargo, ella declinó. Más bien, insistió en que su cuerpo se dejara intacto dentro de la capa de hielo. Allí continúa todavía, descendiendo lentamente dentro de un enorme glaciar, que algún día se desprenderá y quedará flotando como iceberg, al igual que el barco funerario del vikingo errante que, como Else a menudo bromeaba, descansaba dentro del espíritu de Wegener (Greene, 1984).

Surgimiento de la Teoría

En 1910 un compañero de oficina de Wegener recibió un Atlas del Mundo como regalo de Navidad. Wegener quedó asombrado por la congruencia de las costas atlánticas de Suramérica y África, que parecían continentes antes continuos. Köppen razonaba que "...probably many a scientist when looking at the map of the world had already

wondered at the similarity of the Atlantic coast, but now this similarity had been noticed by an expert geophysicist, a brilliant man of unbounding energy, who would spare no pains in following up the matter and gaining any facts from other fields of science that might seem" (Georgi, 1962, p. 310). El mismo Köppen también previó la respuesta por la que padecería más tarde Wegener, al señalar: "...to work at subjects which fall outside the traditionally defined bounds of a science naturally exposes one to being regarded with mistrust by some, if not all, of those concerned, and being considered an 'outsider'" (Georgi, 1962, p. 310).

En el otoño de 1911, Wegener se encontró con un reporte sinóptico de Theodor Arldt's que contenía evidencia paleontológica a favor de una conexión anterior de la tierra entre Brasil y África, titulado *Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt*, de donde obtuvo la idea de un título similar para su obra. Esto lo llevó a ahondar sobre una revisión ya no solo paleontológica, sino también geológica sobre una conexión anterior a través del Atlántico. En cualquiera de los textos más acreditados de ese tiempo, como el *Traité de Géologie* (1907) de Haug, el *Das Antlitz der Erde* (1883-1909) de Suess o el *Lehrbuch der Allgemeinen Geologie* (1909) de Kayser, encontró listas con idénticas especies fósiles en ambos lados del Atlántico, así como mapas de las extensiones montañosas europeas y americanas.

Geólogos influyentes ya habían discutido desde fines de 1870 que el Atlántico era un océano joven, creado por la separación, ocurrida en un tiempo geológico reciente, de grandes fragmentos continentales. Esta reconstrucción geológica se basaba en la teoría geofísica de la Tierra en contracción, según la cual la Tierra responde a un largo

proceso de enfriamiento desde su estado original de nebulosa incandescente, por lo que la corteza externa se contrae alrededor de un interior en proceso de encogimiento.

En ese tiempo muchos geólogos apoyaban la tesis de que varias porciones del piso oceánico se levantan y se hunden intermitentemente en un proceso de progresiva solidificación y contracción de la Tierra desde su estado fundido. Este modelo incluía la noción de que han existido puentes intercontinentales que aparecen y desaparecen alternadamente. Si bien este modelo puentista de la corteza terrestre podía explicar las similitudes bióticas de áreas disyuntas, iba en contra de las ideas de Darwin (Bullen, 1976).

Una crítica aguda de Darwin en contra de semejantes cambios geológicos es que implicaban demasiados supuestos para explicar distribuciones de grupos de animales relativamente modernos y quedaba implícito que tendrían que haber ocurrido después de que ya habían aparecido estos grupos.

Los puentes hipotéticos actualmente sumergidos fueron populares hasta que los sondeos oceánicos realizados en la década de los 70 del siglo XIX revelaron la gran profundidad de la cuenca del Atlántico así como de otros océanos y por tanto la imposibilidad de que los pisos marinos se hubieran elevado hasta formar grandes extensiones continentales en el pasado. Darwin apoyó la hipótesis permanentista según la cual los continentes y océanos habían mantenido sin cambio sus posiciones relativas y explicó las distribuciones disyuntas mediante transporte accidental vía corrientes marinas, eólicas e incluso por masas de hielo a la deriva (Bowler, 1998)

Greene (1984) señala que la emoción de Wegener sobre la amplia corroboración de la antigua conexión y la dedicación de gran parte de sus

energías en 1911 y 1912 a este problema, se basaba en su inmediata percepción de que la teoría de la contracción continental era geológicamente imposible y por lo tanto, la alternativa era que los continentes se movían. Se percató de ello antes que ningún otro, quizá porque coincidieron varias circunstancias, principalmente que en ese tiempo el joven Wegener era un lector avezado sobre temas geofísicos, de modo que estaba a la vanguardia en esta disciplina por la revisión bibliográfica exhaustiva y escrupulosa que realizaba sistemáticamente. Su evidencia se basaba sobre monografías recientes y extensas escritas por científicos no bien conocidos fuera del ámbito de la literatura en alemán. Para la mayoría de sus contemporáneos, no había razón suficiente para tomar en serio las ideas de Wegener, ya que sólo estaban familiarizados con las teorías inmovilistas más difundidas en ese tiempo.

Si bien había clara evidencia geológica y paleontológica sobre una antigua conexión intercontinental, la teoría geofísica puente-continentalista que la explicaba adolecía de serias inconsistencias, de modo que había que intentar otras hipótesis. Desde luego, quedaba la alternativa de simplemente minimizar la evidencia de la antigua conexión o bien de ignorar la nueva evidencia geofísica en contra de los hipotéticos puentes continentales. Wegener decidió desarrollar una hipótesis para explicar el desplazamiento de los continentes que incorporaba la nueva evidencia geofísica a la antigua evidencia geológica. Los autores americanos apostaron más a los métodos numéricos complejos recién desarrollados en la geofísica que a las evidencias geológicas y paleontológicas. Por el contrario, los europeos se mantuvieron fieles a la vieja tradición de investigación geológica. Así, la unidad de la geología se que-

brantó y se establecieron dos escuelas: la americana, apoyada en la geofísica y la europea, que se basaba en la paleontología. Wegener intentó elaborar una síntesis entre ambas.

Las Ideas de la Teoría de la Deriva Continental

Alfred Wegener presentó sus ideas al público por primera vez el 6 de enero de 1912 en una conferencia ante la Asociación Geológica en Frankfurt-am-Main. El título de la plática fue *Die Herausbildung der Grossformen der Erdrinde (Kontinente und Ozeane) auf geophysikalischer Grundlage*. Una segunda conferencia se realizó en enero 10 de 1912 ante la Sociedad de Avances de Ciencias Naturales en Marburg, bajo el título de *Horizontal verschiebungen der Kontinente* (Carozzi, 1985).

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

La teoría del desplazamiento continental apareció por primera vez en forma de libro con el título *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, que se publicó en Brunswick (Alemania) en 1915. Posteriormente, apareció una segunda edición en 1920, una tercera en 1922 y una cuarta en 1929, cada una conteniendo revisiones numerosas y pruebas adicionales. La tercera edición fue el vehículo para que Wegener alcanzara notoriedad y breve fama en los años de la década de los 20, debido a que fue la edición que se tradujo al francés, al inglés y al español. En 1924 apareció la traducción francesa de M.

Reichel con el título *La genèse des continents et des océans*, la cual se publicó como volumen de la *Librarie Scientifique Albert Blanchard*, en París. Esta tercera edición también fue traducida al inglés por J.G.A. Skerl el mismo año, con el título de *The Origins of Continents and Oceans*, e incluía un prólogo del presidente de la Sociedad Geológica Inglesa, John W. Evans. Fue publicada por Methuen & Ltd., Londres. También en el mismo año (1924) salió a la luz la traducción española con el título *La génesis de los continentes y océanos*. La traducción era de Vicente Inglada Ors y fue publicada por la Biblioteca de Occidente, Madrid. En 1925, G.F. Mirtzinka (Moscú y Leningrado) publicó una traducción al ruso por Marii Mirtzink (Wegener K, 1966).

Alfred Wegener en la cuarta y última edición de su libro *The Origin of Continents and Oceans* (1929) escribió: "La primera idea sobre la deriva continental se me ocurrió en 1910, cuando analizaba el mapa del mundo, bajo la impresión directa producida por la congruencia de las costas de ambos lados del Atlántico. Primeramente no puse atención a la idea porque la ví como improbable. En el otoño de 1911 encontré, de manera accidental, un reporte sinóptico en el que me enteré por primera vez de evidencias paleontológicas de un puente anterior entre Brasil y África. Como resultado emprendí una revisión en los campos de la geología y paleontología, y esta investigación me proporcionó tal corroboración que la convicción sobre la confianza en la idea se enraizó en mi mente" (Wegener, 1929, p. 1).

Wegener (1929) establece que Suramérica debió haber estado junto a África, formado con ella un único continente, escindido en el Cretácico en dos partes que luego, como los fragmentos de un témpano agrietado, se separaron cada vez más en el curso

del tiempo geológico. Por tanto, los bordes de estos dos bloques concuerdan todavía en la actualidad. No sólo el gran codo recto que forma la costa brasileña en el cabo San Roque encuentra su negativo en el recodo de la costa africana en Camerún, sino también al sur de estos accidentes la forma de la costa es tal que a cada saliente en la costa brasileña corresponde una bahía de igual forma en la africana y viceversa, como puede comprobarse fácilmente con el compás sobre un globo terrestre.

Igualmente, Norteamérica, Europa y Groenlandia han estado juntas en el pasado, formando un bloque único. Este bloque se fragmentó a partir del Terciario superior por medio de una fractura que se bifurcaba en Groenlandia, tras lo cual los fragmentos se separaron unos de otros. La Antártida, Australia y la India estaban situadas junto a Suráfrica y Suramérica hasta el comienzo del Jurásico, formando un gran continente único, parcialmente cubierto por mares someros, que en el transcurso del Jurásico, el Cretácico y el Terciario se fragmentó en bloques aislados que luego derivaron en diferentes direcciones. El caso de la India constituye un fenómeno particular: Inicialmente, un gran bloque cubierto totalmente de mares someros la unía por completo al continente asiático. Tras la separación de Australia por una parte, en el Jurásico inferior, y por otra de Madagascar, en el límite entre el Cretácico y el Terciario, este largo bloque fue plegado cada vez más por la aproximación de la India a Asia, formando así la poderosa cadena de montañas del Himalaya.

La deriva continental también se habría presentado en otras zonas, en relación causal con el origen de las montañas. Tal sería el caso de la migración hacia el oeste del borde occidental de las dos Américas, movimiento que

originó el plegamiento de la gigantesca cadena andina, que se extiende desde Alaska hasta la Antártida.

De acuerdo con Wegener, se puede observar sin dificultad que la teoría de los desplazamientos se basa en la suposición que los fondos marinos y los continentes están compuestos de distintos materiales, por lo que presentan diferentes tipos de corteza terrestre.

La idea fundamental de Wegener era que los continentes estuvieron juntos en una época del pasado. Posteriormente derivaron de manera similar a una balsa sobre el piso oceánico hasta alcanzar finalmente su posición actual (Gohau, 1990).

La estrategia metodológica de Wegener consistió, más que en subrayar la elemental idea del encaje del rompecabezas y las pistas paleontológicas, en atacar directamente los argumentos geofísicos de la teoría de la contracción, cuyo concepto de una Tierra que se enfriaba y contraía resultaba poco convincente. Algunos supuestos básicos sobre el pretendido enfriamiento de la Tierra, en especial los de Kelvin, ya habían sido refutados por el descubrimiento de la radiactividad en las rocas. La Tierra no se contraía como consecuencia de un enfriamiento gradual. Había una fuente insospechada de calor producida por la desintegración natural de los elementos radiactivos presentes en las rocas.

Además, los datos sobre la gravedad indicaban que el fondo oceánico tenía subyacentes rocas más densas que las de los continentes. De acuerdo con el concepto de isostasia, la subsidencia de grandes áreas continentales en las profundidades del océano sería imposible. Por tanto, no podrían haber existido puentes intercontinentales en las cuencas oceánicas. En realidad, los puentes continentales que se postularon para unir diversas áreas continentales surgieron más como un constructor

teórico que como resultado de evidencia fáctica. Esto es, no había evidencia física que sostuviera la existencia pasada de esos puentes.

En la época en que Wegener expone sus ideas existían dos escuelas rivales de pensamiento geológico, la teoría contraccionista y la permanentista. La primera se relacionaba con la postulación de puentes de tierra que emergían y posteriormente se hundían, uniendo áreas continentales distantes. Así se podía explicar la distribución geográfica de grupos de organismos estrechamente relacionados con distribuciones disyuntas. Entre sus más destacados representantes se encontraba Eduard Suess. La segunda escuela consideraba que los continentes siempre han permanecido en las posiciones que actualmente ocupan y para explicar la distribución geográfica de los organismos recurría a las capacidades de dispersión de los organismos como la explicación más plausible de las distribuciones disyuntas. Esta escuela tuvo entre sus representantes más destacados a Bayley Willis, de la Universidad de Stanford, quien con base en la teoría de la radiactividad, cuestionó la idea que la Tierra se había estado contrayendo debido a su enfriamiento continuo. A diferencia de los dos modelos anteriores, la idea de Wegener era que la distribución geográfica podía explicarse mejor si se aceptaba la idea que los continentes se han desplazado horizontalmente unos con respecto a otros. Resumiendo, a principios del siglo XX se habían establecido tres escuelas geológicas rivales: 1) la contraccionista o puentecontinentalista, 2) la permanentista y 3) la derivista.

Wegener desarrolló su tesis con base en un amplio conjunto de datos geodésicos, geofísicos, geológicos, biogeográficos y paleoclimáticos. Postulaba que desde principios del Mesozoico hasta el presente, un enorme

supercontinente denominado *Pangäa* o *Pangaea*, el cual tiene un origen griego y significa "todas las tierras", se había fracturado y sus fragmentos se fueron separando. La ruptura del supercontinente se inició hace unos 200 millones de años, durante el Triásico superior.

Pangea, como se le conoce, fue una masa de Tierra con una línea de costa irregular, rodeada por un océano, la Panthalasa, que constituía el Pacífico ancestral. La primera fractura dio origen a dos supercontinentes, uno denominado Laurasia y el otro Gondwana, separados por el mar de Thetys. Laurasia (el hemisferio norte) era el supercontinente que después se disgregaría en Norteamérica, Groenlandia y la Eurasia septentrional. Gondwana (el hemisferio sur), formaría al disgregarse a Suramérica, África, India, Australia y la Antártida.

Anteriormente la complementariedad de África y Suramérica se atribuía, según una idea de la tradición catastrofista, a la apertura del océano Atlántico como resultado del diluvio universal. Sin embargo, las ideas catastrofistas fueron criticadas duramente por la influyente tradición uniformitarista, expuesta por Charles Lyell en sus *Principles of Geology* (1830-1833). A fines del siglo XIX Eduard Suess intentó combinar ambas explicaciones, la catastrofista y la uniformitarista, en su obra *Das Antlitz der Erde*. En cierto sentido, la obra de Suess representa la síntesis geológica de las postrimerías del siglo XIX.

La originalidad de Alfred Wegener fue que empleó una metodología aceptada dentro de los cánones de buena ciencia de su tiempo. Desarrolló su idea como un *outsider* de la geología, es decir, sin tener una formación ni un reconocimiento académico en el área. No deja de ser sorprendente que a pesar de no provenir de la comunidad de geólogos y tener antece-

dentos académicos en astronomía, meteorología y física atmosférica, haya concebido una hipótesis geológicamente revolucionaria.

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

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

Wegener intentó una réplica contra sus críticos en la última edición de su libro. Aunque la comunidad le era claramente hostil, en particular la de los geólogos ingleses y geofísicos norteamericanos, Wegener tuvo aliados en Alemania, Francia, Suiza, Italia y España. Quienes apoyaron con gran entusiasmo la teoría de la deriva continental fueron los biogeógrafos, debido al poder explicativo que tenía para dar cuenta de importantes patrones biogeográficos.

Los defensores más importantes de Wegener en la preguerra fueron los geólogos Arthur Holmes y Alexander

Du Toit. Holmes, a quien muchos consideran como el geólogo inglés más importante del siglo XX, había establecido una escala de tiempo absoluta fundada en la constancia del ritmo de desintegración de los elementos radiactivos de las rocas. En apoyo a la teoría de Wegener propuso un mecanismo alternativo para explicar el desplazamiento continental a partir de la hipótesis de las corrientes de convección.

Du Toit conocía bien las similitudes geológicas del Paleozoico y del Mesozoico entre el oeste Suráfrica y el este de América del Sur. Se convirtió en uno de los principales discípulos de Wegener y defendió la idea de la deriva continental hasta su muerte.

Alexander Logie Du Toit (1878-1948) es conocido por su libro *Our Wandering Continents*, publicado en 1937. No fue solo el geólogo surafricano más reconocido, sino también, en palabras de R.A. Daly el “más grande geólogo de campo” (en Wilson, 1971). Combinó en grado notable dos cualidades que no se encuentran a menudo: una capacidad de observación sobresaliente, que le permitió notar y obtener deducciones de detalles finos que habían pasado desapercibidos para otros y además, una destacada aptitud para sintetizar información. Hacia el final de su vida, apoyó la hipótesis de la deriva continental con estudios de casos obtenidos de todas partes del mundo y afinó el modelo sobre la estructura de la capa superior del manto (Wilson, 1971).

A diferencia de Wegener, Du Toit (1937) proponía dos continentes originales en lugar de uno, situados en cada hemisferio polar. En ese sentido, los escudos del hemisferio sur incluyen a Brasil, Guayana, Uruguay, África, Arabia, Madagascar, India, oeste y centro de Australia y la Antártida. Ellos pueden verse como porciones integrales del basamento del

gran continente del sur, Gondwana.

Los del hemisferio norte constituyen el centro y este de Canadá, Groenlandia (Laurentia o Eria), Fennoscandia (Báltica), Siberia norcentral (Angara), el noreste de Siberia (Kolyma) y el sur de China-Indochina (Cathaysia). Estos escudos pueden ser vistos como componentes del gran continente septentrional, “Laurasia” (Laurentia + Asia), que formó una masa única de Tierra durante un breve período geológico y que se separó en dos masas relativamente estables que a su vez se fragmentaron debido a una serie de transgresiones marinas.

Colofón

La teoría de la deriva continental permaneció congelada hasta la posguerra. Fue entonces que con el avance del paleomagnetismo se desarrolló la teoría de la expansión del fondo oceánico. Esta teoría posteriormente adquirió un desarrollo teórico y empírico que se expresa actualmente en la teoría de la tectónica de placas, la cual está implícita en las explicaciones modernas que se han elaborado sobre la distribución biogeográfica. Los enfoques actuales de biogeografía histórica de la vicarianza, la cual asume que la actual distribución geográfica de los organismos es el resultado de la fragmentación de áreas originalmente continuas (Nelson y Platnick, 1981) y la panbiogeografía (Croizat, 1958), generan hipótesis biogeográficas bajo la premisa de la teoría de la tectónica de placas.

La teoría de la tectónica de placas, desarrollada hacia los años 60, terminó por dar la razón a un incomprensido Alfred Wegener, que ya desde 1912 había propuesto la deriva de los continentes. A partir de numerosas observaciones de geofísica, geodesia y geología quedó establecido que la litosfera, la capa más rígida de la superficie de la

Tierra con un espesor de 100km, se divide en 7 placas principales que se desplazan con un movimiento relativo de una velocidad entre 1 y 8cm por año. El mecanismo del movimiento de los continentes, que Wegener nunca pudo explicar convincentemente, se puede entender ahora mediante la teoría tectónica, la cual propone que son las placas litosféricas, con los continentes asentados sobre ellas, las que se mueven, y no los continentes mismos. Las placas no coinciden con los continentes, pues unas están formadas de corteza continental y manto, y otras de corteza oceánica y manto. Las placas colisionan y es en el borde entre ellas donde se produce la mayoría de los terremotos.

Actualmente se sabe que la disgregación de la Pangea original no fue un evento único en la historia geológica de la Tierra, como creía Wegener. De acuerdo con Murphy y Nance (2004), durante el transcurso de la historia geológica se han formado al menos seis supercontinentes, cuyos nombres en orden cronológico son Ur, Kenorlandia, Nuna/Colombia, Rodinia, Pannotia y Pangea.

El desarrollo de nuevos instrumentos y métodos de observación ha tenido un gran impacto en el avance de los conocimientos sobre la Tierra en las últimas tres décadas. Entre los desarrollos más espectaculares están las observaciones de la Tierra desde satélites artificiales. El establecimiento entre 1973 y 1992 del sistema de localización GPS (*Global Positioning System*) generado inicialmente con propósitos militares, se ha extendido a numerosas aplicaciones científicas en el campo de la geodesia y geofísica (Udías, 2002).

En sismología se ha producido también una verdadera revolución a partir del desarrollo de los sismógrafos digitales de banda ancha en los años 80. Estos sismógrafos, con una respuesta desde 20 hasta 1000Hz y un alto

rango dinámico, permiten registrar con notable precisión terremotos lejanos y cercanos. Actualmente existe una amplia red global de estaciones que han terminado por desplazar a los sismógrafos tradicionales. Ahora se puede definir mejor el proceso de fractura que da origen a los terremotos, así como conocer con detalle más fino la estructura del interior de la Tierra.

A través de Internet podemos recabar datos geofísicos de todo tipo, prácticamente en tiempo real, por medio de los servicios de bancos de datos interconectados. De esta manera, un sismólogo puede disponer de los sismogramas digitales de estaciones en todo el mundo casi al momento en que ocurre un terremoto. Por ello resulta paradójico que en la era de la globalización, los habitantes de Sri Lanka, la India y otros países, en el sismo del 26 de diciembre de 2004, no hayan recibido un aviso oportuno. Las preguntas surgen ineludiblemente. ¿Porqué fallaron los sistemas de protección civil? ¿Falló la comunicación entre ellos y las estaciones sismológicas o se ocultó la información? Hasta ahora, estas interrogantes han quedado sin respuesta.

La teoría de la deriva continental de Alfred Wegener representa una de las teorías más importantes del siglo XX. La importancia actual de la tectónica de placas es indiscutible y ha sido pieza fundamental para poder explicar la formación de las grandes cordilleras y la actividad sísmica, y ha provisto una herramienta central a la biogeografía histórica para reconstruir la distribución pasada y entender la distribución actual de los organismos. Si bien Wegener no pudo encontrar un mecanismo para explicar la deriva continental, tuvo el mérito de reunir toda la evidencia posible en su época para dejar establecido como hecho inapelable: el movimiento horizontal de los continentes.

La fama de Wegener descansa hoy tanto en su intenso trabajo como explorador y meteorólogo así como por haber desarrollado una teoría coherente sobre la deriva continental. De acuerdo con Greene (1984), la estatura de Wegener como científico continúa creciendo y es mucho más conocido hoy que en ningún momento de su vida. Es posible decir que a diferencia de muchos de sus contemporáneos, para quienes la audaz idea del movimiento de los continentes les resultaba simplemente inimaginable, a Wegener, el caminante incansable, no le produjo el menor vértigo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM, México, por la beca de doc-

torado para el primer autor, así como al Proyecto PAPIIT IN403005 por el apoyo para la realización del presente trabajo.

REFERENCIAS

- Bowler PJ (1998) *Historia fontana de las ciencias ambientales*. Fondo de Cultura Económica. México. 467 pp.
- Bullen KE (1976) Wegener Alfred Lothar. En *Dictionary of Scientific Biography 14*: 214-217.
- Carozzi AV (1985) The reaction in continental Europe to Wegener's theory of continental drift. *Earth Sciences History 4*: 122-137.
- Croizat L (1958) *Panbiogeography*. Vols. 1 y 2. Publicado por el autor. Caracas, Venezuela. 1731 pp.
- Du Toit AL (1937) *Our wandering continents. A hypothesis of continental drifting*. Oliver and Boyd. Londres, KU. 366 pp.
- Georgi J (1962) Memories of Alfred Wegener. En Runcorn SK (Ed.) *Continental Drift*, Academic Press. United Kingdom Edition, 338 pp.
- Gohau G (1990) *A History of Geology*. Rutgers University Press. Piscataway, NJ, EEUU. 259 pp.
- Greene MT (1984) Alfred Wegener. *Social Research 51*: 739-761.
- Hallam A (1975) Alfred Wegener and the hypothesis of continental drift. *Scientific American 232*: 88-97.
- Hallam A (1989) *Great geological controversies*. 2nd ed. Oxford University Press. Oxford, RU. 244 pp.
- Jacoby WR (1980) "Wegener" und "Kontinental-verschiebung" sind fast Synonyme. *UMSCHAU 80*: 125-126.
- Marvin UB (1985) The British reception of Alfred Wegener's continental drift hypothesis. *Earth Sciences History 4*: 138-159.
- Murphy JB, Nance RD (2004) La formación de los supercontinentes. *Investigación y Ciencia 339*: 14-24.
- Nelson G, Platnick N (1981) *Systematics and biogeography: Cladistics and vicariance*. Columbia University Press. Nueva York, EEUU. 567 pp.
- Schwarzbach M (1986) *Alfred Wegener. The Father of Continental Drift*. Science Tech. Madison, WI, EEUU. 241 pp.
- Takeuchi H, Uyeda S, Kanamori H (1986) *¿Qué es la Tierra? (El problema de la deriva continental)*. Orbis. Barcelona, España. 238 pp.
- Udías A (2002) Las ciencias de la Tierra en el último cuarto de siglo. *Investigación y Ciencia 304*: 74-80.
- Wegener A (1929) *The origin of continents and oceans*. Dover Publications. Nueva York. 1966, EEUU. 296 pp.
- Wegener K (1966) Alfred Wegener. En Wegener A (1929) *The Origin of Continents and Oceans*. Dover Publications. Nueva York. 1966, EEUU. pp. iii, iv, v.
- Wilson JT (1971) Du Toit, Alexander Logie. *Dictionary of Scientific Biography 4*: 261-263.