

ALFRED WEGENER

MODOS DIFERENTES DE VER PATRONES NUEVOS DE LA NATURALEZA

*Luis Alberto Arias López
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*

1. Introducción

Los desarrollos tecnológicos realizados durante los años de la II guerra mundial del siglo XX servirán en la década de los años 50' a una intensa investigación en geofísica y en los estudios del fondo oceánico. En ellos participan grupos de investigación interdisciplinarios muy numerosos, de carácter Inter-institucional e internacional que contaban con presupuestos económicos muy elevados. Como resultado de estas exploraciones, en un período de tiempo corto, entre 1959-1964, se construye una nueva imagen de la estructura y dinámica geológica del planeta Tierra, la cual difiere radicalmente de la imagen oficial que la comunidad científica venía reconociendo, desde unos 70-80 años atrás.

Esta nueva imagen se puede sintetizar en dos conceptos: expansión de los fondos oceánicos y tectónica de placas, los cuales expresan la idea de un planeta Tierra con capas plásticas, donde los movimientos y desplazamientos horizontales son tan importantes o incluso más que los movimientos verticales.

El imaginario que construye una comunidad de investigadores en geofísica y geología en el transcurso de cinco años es el de un planeta con capas internas plásticas (manto) y una litosfera externa rígida, fragmentada en grandes placas y bloques que se desplazan de manera compleja, generando trayectorias divergentes, convergentes y laterales. En las interrelaciones entre estas placas tectónicas, los investigadores encontraron el hilo conductor para una integración explicativa de los fenómenos geológicos, los cuales se venían reflexionando de manera aislada.

Las ideas de la expansión de los fondos oceánicos y la tectónica de placas encuentra una aceptación fácil y rápida por parte de la comunidad científica internacional la cual, había estado defendiendo durante la primera mitad del siglo XX la imagen de una tierra muy rígida y muy estática.

Sin embargo el embrión de esta nueva imagen de la tierra había sido postulada hacia 1912, por Alfred Wegener, una naturalista alemán en su hipótesis de la Deriva de los Continentes. Los investigadores de comienzos de los años 60' estuvieron de acuerdo en reconocer a Wegener como un pionero, que 50 años atrás había visualizado exitosamente las líneas generales de la nueva imagen de la estructura y dinámica terrestre.

No se trata de discutir, al nivel de la minucia, si los mecanismos de la tectónica de placas y los mecanismos de la deriva continental de Wegener se parecen o difieren, cuando de antemano se sabe que son diferentes. (Aubouin y otros, 1980)

La reflexión en torno a Wegener y su teoría de la deriva continental apunta más bien a interrogarse en torno al "cómo" y el "por qué", en un contexto intelectual, en "un espíritu de la época", donde dominan las concepciones "FIJISTAS" (continentes y cuencas oceánicas son rasgos primigenios de la formación de la tierra), emerge una concepción "movilista" que ve a la tierra como algo dinámico y cambiante y que brinda nuevas explicaciones radicalmente distintas. Resulta difícil pretender establecer una conexión gradual entre una concepción ultra rígida de las capas internas de la tierra y la idea de unos continentes que derivan sobre la superficie terrestre; igualmente resulta difícil establecer una conexión gradual entre modelos conceptuales que sólo visualizan movimientos verticales (arriba, abajo) y la concepción de Wegener que asigna una gran importancia a los movimientos horizontales.

Lo más importante respecto a las ideas de la deriva continental de Wegener es el hecho de que resulta difícil encontrar una conexión causal o una relación de continuidad con las ideas vigentes en su momento.

La vida intelectual de Alfred Wegener se caracterizó por la construcción de nuevas maneras de ver los fenómenos geológicos, geográficos y naturales, lo cual le planteó la necesidad de comunicar, confrontar e integrar las informaciones y explicaciones de las diferentes disciplinas (geofísica, geología, biología, climatología, geografía), no con un sentido enciclopédico, sino con otro objetivo: la identificación de nuevos patrones y nuevas regularidades en los sistemas naturales.

La construcción de nuevas maneras de ver, la identificación de nuevos patrones en los sistemas naturales y las interrelaciones espacio-temporales entre nuevos patrones de carácter muy distintos

(geológicos, paleontológicos, climatológicos, geográficos, etc.) constituyen el aporte teórico de Wegener y el marco conceptual de donde emerge la idea de la Deriva de los Continentes. El rechazo mayoritario y hostil por parte de la comunidad científica a esta "hipótesis absurda" expresa el carácter radicalmente diferente de los planteamientos de Wegener respecto a las ideas vigentes en su época acerca de dinámica y estructura de La Tierra.

2. Notas Biográficas

Alfred Lothar Wegener nació en Berlín el 1 de noviembre de 1880 en el hogar de un ministro evangélico. Realizó sus estudios universitarios en las instituciones de Heidelberg, Innsbruck y Berlín. En el año de 1904 obtiene el doctorado en astronomía y poco tiempo después en meteorología.

Los sueños de juventud se entretajan con sus estudios, explorar a Groenlandia y estudiar meteorología. Groenlandia fue para Wegener una obsesión que lo acompañó durante toda su vida y donde murió; la meteorología constituyó la disciplina base, desde la cual se proyectó hacia el campo de las ciencias de la tierra y las ciencias biológicas.

Ambos sueños tenían un elemento en común: las dificultades de tipo físico para realizar las exploraciones meteorológicas en Groenlandia; para responder a este reto se prepara intensamente hasta convertirse en un gran deportista como esquiador, caminante y atleta. Igualmente se vuelve un experto en la construcción de cometas y globos, de tal modo que en el año de 1906 obtiene el record mundial de vuelo ininterrumpido en globo con 52 horas, aventura en la cual lo acompaña su hermano Kurt.

Entre 1906 y 1908 realiza el primer viaje a Groenlandia como meteorólogo, haciendo parte de una expedición danesa al noreste de la isla. A su regreso se vincula como asistente del curso de meteorología en la U. de Marburgo.

De acuerdo con su propio testimonio, hacia 1910 intuye o construye las primeras "sospechas" acerca de que los continentes en ambos lados del océano Atlántico hubiesen estado conectados en un pasado remoto; esta "sospecha" tenía un soporte en un patrón geográfico: la similitud de la línea de costa de Africa y Suramérica, de Europa y Norteamérica. En 1911 escribe un texto universitario sobre la termodinámica de la atmósfera.

Para 1912, ha madurado y consolidado la "sospecha" de 1910 y en una conferencia en Marburgo, en el mes de febrero, presenta la hipótesis de la deriva de los continentes.

El período 1910-1915, es una fase de estudio intenso de temas de geofísica, geología, paleontología, biología, geografía, con la finalidad de encontrar en estas disciplinas argumentos sólidos de soporte a su hipótesis.

Durante 1912, realiza la segunda expedición a Groenlandia, la cual fue muy notoria por ser la travesía más larga a pie por el casquete polar.

En 1913, se casa con Else, la hija del famoso meteorólogo W.P. Köppen.

Durante el período de convalecencia de una herida en el cuello producida por una bala, consecuencia de su participación como soldado del ejército alemán durante la I Guerra Mundial del siglo XX, escribe en 1915 su libro: **"El origen de los continentes y océanos"**.

En el año 1918, reemplaza a su suegro Köpen en la dirección del departamento de investigaciones meteorológicas del Observatorio de la Marina en Hamburgo.

En 1926, 14 años después de haber postulado su hipótesis de la deriva continental, la universidad de Graz en Austria, se atrevió a ofrecerle la cátedra de geofísica. Es interesante y paradójico anotar que este visionario de las ciencias geológicas, nunca fue aceptado como profesor universitario en los campos de la geología en Alemania.

En 1930, realiza su tercera expedición a Groenlandia, la cual dirigía; en el transcurso de ella y realizando un recorrido solitario entre dos campamentos muere. Un año después se recupera su cuerpo.

Durante su sepelio, los elogios fúnebres se centraron en torno a sus logros como explorador del Ártico y como pionero en el campo de la meteorología. Situación bastante paradójica porque la comunidad científica de los años 60' lo reconocerá como un visionario de la geología con su hipótesis de la "Deriva de los continentes". (Press and Siever, 1974)

En los últimos años del siglo XX se le reconocerá igualmente como un investigador que subrayó persistentemente la integración de todas

aquellas disciplinas que tienen que ver con la evolución e historia del planeta. (Eldredge, 2000)

3. LAS CIENCIAS GEOLÓGICAS A COMIENZOS DEL SIGLO XX

La imagen de La Tierra construida por la comunidad científica de los geólogos en el transcurso de la segunda mitad del siglo XIX parte de considerar a los continentes y a las cuencas oceánicas como rasgos mayores primigenios, es decir, sus formas y posiciones se producen al mismo "momento" que se forma el planeta. (Takeuchi et al, 1970)

Para los continentes se reconocían dos regularidades o patrones: un patrón geológico consistente en la concentración, localizada en los bordes de los continentes, de complejos litológicos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Un segundo patrón de carácter geográfico es la localización de las cadenas montañosas en los bordes de los continentes.

Para la comunidad científica fue claro la espacialidad común compartida por ambos patrones. La explicación aceptada para estos fenómenos había sido recogida por Edward Suess; ellos eran la expresión de una tierra en contracción en respuesta a un proceso de enfriamiento. El símil metafórico de estos fenómenos era el desarrollo de "dobles" y "arrugas" en la cáscara de una manzana a medida que se deshidrata. Durante los primeros años del siglo XX la fuerza explicativa de la hipótesis de la contracción por enfriamiento desaparecerá como consecuencia del descubrimiento de la radioactividad y de los patrones cronológicos de las edades absolutas de las rocas, los cuales fueron consecuencia de tal descubrimiento.

Desde el punto de vista geológico, continentes y cuencas oceánicas son antinómicos composicionalmente: los continentes están constituidos por rocas "ligeras" o "livianas", de carácter granítico mientras las cuencas oceánicas presentan rocas más densas, de carácter basáltico.

Asociado con este contraste litológico entre continentes y cuencas oceánicas, la teoría de la isostasia explicaba la disposición altitudinal de ambos elementos. Las rocas de los continentes flotan sobre las rocas más densas de los fondos oceánicos. La experimentación con bloques de madera o de hielo que flotan en agua condujo a una conclusión que incluso hoy día sigue siendo válida: el espesor de la corteza terrestre es variable y se acomoda por **flotabilidad**. Por lo tanto mientras más alta es una cordillera, más profunda es "su raíz".

La teoría de la isostasia, planteada por G.B. Airy a mediados del siglo XIX, postula la idea de la existencia de una "capa" de materia más densa y más plástica que a largo plazo, en sentido geológico, actúa como un fluido y sobre la cual flota una corteza terrestre sólida.

Fue igualmente Edward Suess (1831-1914) quien acuñó el término Gondwana para identificar un antiguo continente bastante extenso el cual estaba constituido en parte por África, India y Madagascar. Posteriormente se incluirían además a Australia y Sudamérica. La idea de Gondwana fue una hipótesis postulada con base en el trabajo científico de una comunidad de paleontólogos que había descubierto la gran similitud de las biotas fósiles del carbonífero – pérmico y de comienzos del mesozoico – en los continentes antes mencionados. La similitud mórfica de biotas fósiles concatena con el principio darwinista que asocia especiación con aislamiento genético; por lo tanto la similitud mórfica presupone algún tipo de comunicación. Es evidente que las masas continentales que hacían parte del Gondwana se encuentran separadas por franjas oceánicas muy amplias que son barreras reales y absolutas para la gran mayoría de biota terrestre, de aguas dulces y de los ecosistemas litorales para no mencionar a la flora terrestre.

Esa misma comunidad que identificaba el patrón paleontológico de la biota fósil y que construyó la idea de Gondwana, encontró en la idea de puentes terrestres transoceánicos que posteriormente "se sumergían" en el océano, la explicación que permitía hacer coherente el antiguo escenario de Gondwana con el escenario actual de las masas continentales del hemisferio sur.

La idea de Gondwana es un elemento fundamental para contrastar la imagen dominante acerca de La Tierra por parte de la comunidad científica y las nuevas ideas que introducirá Wegener. Para ambos resulta acertado y es rasgo común emplear un patrón paleontológico para inferir un patrón geográfico. La diferencia reside en el hecho de que la fuerza de las ideas vigentes impedía a los paleontólogos imaginar y crear la idea de "continentes en movimiento" y por ello se acogieron a la idea de puentes terrestres transoceánicos. Para Wegener la idea de puentes terrestres que se sumergen era, sencillamente, absurda desde el punto de vista geofísico.

Por ello, la hipótesis de la deriva de los continentes se configura en parte como una resignificación, como una nueva interpretación de toda la información recopilada por los paleontólogos.

En síntesis, la concepción acerca de La Tierra al comienzo del siglo XX es una concepción "fijista" según la cual los continentes y las cuencas

oceánicas se formaron allí donde se encuentran actualmente, es decir, son rasgos terrestres primigenios. Sin embargo, no es una concepción estática que desconozca o niegue el movimiento; en todo su discurso se expresan conceptos de contracción, arqueamiento, colapso, flotabilidad, hundimiento, levantamiento, etc; descriptores todos ellos que tienen un rasgo en común, reconocer como único movimiento terrestre factible, el movimiento vertical "hacia arriba" y "hacia abajo". En este sentido, resulta literal afirmar que la concepción de la dinámica terrestre al iniciarse el siglo XX es de carácter unidimensional.

4. LA HIPÓTESIS DE WEGENER

De acuerdo con el propio testimonio de Wegener, la congruencia de las líneas de costa en ambos lados del océano Atlántico fue el referente, el soporte para imaginar una idea temprana de continentes en movimiento, idea que según su autor, consideró inicialmente como imposible. Sin embargo, durante 1911 lee un trabajo que presenta una serie de pruebas de tipo paleontológico (similitud de faunas fósiles) para fundamentar la existencia de puentes terrestres intercontinentales entre África y Sudamérica. (Uyeda, 1980).

Patrones geográficos y patrones paleontológicos constituyen así un factor motivacional para postular la idea de la deriva de continentes. La presentación de una hipótesis "movilista" a una comunidad educada y encuadrada en una hipótesis "fijista" es objeto de rechazo, burla y desconocimiento; estos dos últimos aspectos fundamentados en la idea de que una hipótesis de este tipo sólo podría provenir de alguien que no posee una formación básica en la disciplina de la geología.

Inicialmente, la defensa de su hipótesis de la deriva de continentes la fundamenta en el rechazo de la idea de puentes terrestres continentales, lo cual era un imposible desde el punto de vista geofísico, debido a que las rocas de los continentes son más livianas que las rocas de los fondos oceánicos. (Uyeda, 1980)

Frente a la hipótesis de una tierra en contracción por proceso de enfriamiento, Wegener recopilará de los estudios geológicos elementos para afirmar que los mantos de cabalgamiento en Los Alpes son muy jóvenes (Terciario Superior) lo cual llevaría a concluir acerca de unas tasas y magnitudes de contracción excesivamente grandes. Ante todo, el descubrimiento de la radioactividad a comienzos del siglo puso en cuestionamiento la idea vigente de un proceso unidireccional de enfriamiento persistente.

4.1. Los elementos de su hipótesis

Hallam (1985) resume la hipótesis de la deriva continental en los siguientes elementos:

1. A comienzos del Mesozoico (245 ma) existía un supercontinente único: Pangea, que posteriormente se iría fragmentando y separando.
2. Durante el Cretáceo (144-65 ma) comenzaron a separarse:
 - América del Sur y África
 - América del Norte y Europa
3. Durante la migración de las Américas hacia el oeste se formaron, por comprensión, las cadenas montañosas Rocallosas y Los Andes.
4. La India migró desde el sur como parte de Gondwana hacia el norte y en su acercamiento a Asia se formaron los Himalayas.
5. Australia y Nueva Zelanda se desprendieron de la Antártida en el Eoceno (57-36 ma) y migraron hacia el norte.

De acuerdo con estos elementos la hipótesis de Wegener se centra fundamentalmente en postular los patrones de fragmentación de los continentes y las trayectorias de dispersión de los fragmentos continentales.

4.2. Argumentos y Pruebas

En las diferentes ediciones de su libro, entre 1915 y 1929, Wegener se concentra en recopilar y ordenar argumentos y pruebas en soporte y defensa de su hipótesis, lo cual, lo lleva a indagar en un espectro amplio de disciplinas, tales como: las mediciones geodésicas, la geofísica, la paleontología, la paleo - biogeografía, la paleoclimatología y la geología.

La exposición de argumentos por parte de Wegener sirve de referencia para plantear los retos que debe afrontar toda teoría evolutiva en cualquiera campo del conocimiento, ya sea físico, biológico o social.

Toda teoría evolutiva contiene dos aspectos centrales:

- Un conjunto de patrones de cambio, es decir, unas regularidades espaciales, temporales o ambas.
- Un mecanismo de cambio.

Científicos y filósofos comparten la idea de que cualquier teoría evolutiva para alcanzar su solidez debe postular un mecanismo de cambio, es decir, ofrecer una explicación convincente de los patrones de cambio. Es frecuente que muchos teóricos positivistas consideren la relación "patrones — mecanismo" como una relación causal lineal, bien sea directa o indirecta. (Eldredge, 2000)

En Wegener, esta relación es de retroalimentación, es decir, es una causalidad circular en la cual, la intuición creativa (el mecanismo hipotético) contribuye igualmente a identificar nuevos patrones de cambio.

Los argumentos de Wegener en defensa de la idea de la deriva continental se centran fundamentalmente en presentar un cuadro muy diverso de patrones de cambio. El argumento geodésico empleado por Wegener es relativamente simple: si los continentes están en movimiento, la mejor demostración es de tipo directo y se propone medir la tasa de separación entre Groenlandia y el norte de Europa. Acorde al espíritu moderno, la medición directa sería la "prueba reina". En este empeño por registrar las tasas de separación entre continentes, Wegener obtiene valores de 9 – 32 metros/año, lo cual contrasta con los valores obtenidos con GPS y navegación satelital que miden tasas de 1 – 3 cm/año. (Hallam, 1985)

Es importante anotar que el estado de desarrollo de los equipos de medición geodésica, a comienzos del siglo XX no permitía detectar las tasas de deriva porque tales valores estaban dentro del margen de error de las mediciones.

Con el argumento geodésico, al igual que con las correlaciones de los depósitos glaciales (morrenas) del cuaternario, la convicción de Wegener con su hipótesis lo lleva "a ver" unos ritmos de desplazamiento muy intensos que fueron empleados por sus contradictores. Sin embargo, en la construcción de este argumento hay un elemento válido, corroborado con la teoría de la tectónica de placas: Groenlandia se está separando del norte de Europa. Las tasas de separación que obtiene Wegener, en sus contradictores, se transforman en un argumento para afirmar la ausencia de desplazamiento.

Los argumentos fuertes de Wegener en defensa de su hipótesis corresponden a patrones históricos y geográficos de tipo paleontológico, geológico y paleoclimatológico:

- Las biotas fósiles del paleozoico superior y de inicios del mesozoico (286-208 m.a atrás) en los continentes del hemisferio sur son muy similares.
- El mesosaurius, un reptil fósil pequeño sólo se lo encuentra en el sur de Brasil y al suroeste de África.
- Las similitudes en la flora de Glossopteris del carbonífero - pérmico (320 - 245 m.a), de peces fósiles de agua dulce, moluscos costeros y caracoles terrestres en ambos lados del océano Atlántico.

Estos argumentos paleontológicos y paleobiogeográficos tienen un significado común: la similitud mórfica (anatómica) de biotas terrestres pretéritas, separadas actualmente por océanos - barreras infranqueables - presupone una comunicación libre y directa entre organismos. El significado de estos patrones paleo - biogeográficos para los paleontólogos de finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX fue el postular puentes terrestres entre continentes que posteriormente se sumergieron en el fondo oceánico; para Wegener el significado construido fue radicalmente diferente: continentes en movimiento divergente y convergente. Este nuevo modo de ver la dinámica de la superficie terrestre permitirá a la paleontología y la paleo biogeografía construir nuevas explicaciones lógicas a fenómenos que dichas disciplinas catalogaban como "enigmas". (Hallam, 1985).

La comunidad de geofísicos, los principales detractores de las ideas de Wegener, restó importancia a este argumento, porque su preocupación se centraba exclusivamente en el mecanismo de deriva, es decir, en el mecanismo de cambio.

Para esta comunidad, el rigor científico era de la dinámica terrestre interna centrada en el monitoreo instrumental y en las mediciones experimentales de laboratorio; sencillamente era impertinente pensar que un diminuto reptil fósil (mesosaurius) pudiese ser referente para construir explicaciones alternativas de la dinámica terrestre.

Los argumentos paleoclimáticos y geológicos se combinan para mostrar que en algunas regiones existen formaciones geológicas y rasgos geomorfológicos, incompatibles con su posición geográfica actual:

- Presencia de depósitos de carbón en la Antártida.
- La presencia de depósitos glaciales (tillitas) del carbonífero – pérmico en tierras bajas de las latitudes medias y subtropicales, en zonas donde la morfogénesis glacial de los periodos fríos del cuaternario no ocurrió.
- Depósitos de evaporitas en regiones cuyo clima actual es húmedo.

El significado ambiental de estas formaciones superficiales (carbón, tillitas, evaporitas) es inconsistente con la ubicación geográfica de las regiones donde se encuentran. Si las masas continentales hubiesen permanecido desde siempre en donde se encuentran actualmente, argumentaba Wegener, sería imposible tener tales depósitos. (Hallam, 1985).

Es factible que los patrones de distribución geográfica de formaciones superficiales y de geoformas cuyo significado ambiental es inmediato, se puedan explicar desde el punto de vista de cambios climáticos, sin necesidad de recurrir a la idea de deriva continental. Sin embargo, Wegener intuyó tempranamente que los procesos de deriva continental podrían inducir cambios climáticos en aquellos continentes que cambian de posición latitudinal (India y Australia).

De este modo, Wegener visualizó inicialmente los dos factores causales de los cambios ambientales de escala global: por cambios en el total de energía solar recibida (cambios climáticos) y por cambio en la posición latitudinal de continentes en movimiento.

Los argumentos geológicos se orientaron a establecer correlaciones y conexiones entre las litologías paleozoicas de Sudamérica y África y al acoplamiento de los cinturones montañosos paleozoicos de Norteamérica (Los Apalaches) y del norte de Europa (las tierras altas de Escocia y el cinturón Caledoniano de Escandinavia).

Esta explicación de fenómenos geológicos guarda relación de continuidad con muchas explicaciones a la luz de las ideas de la tectónica de placas, para la cual, la presencia de cadenas montañas es el testimonio de una colisión entre placas.

Los argumentos geofísicos postulados por Wegener intentan combinar simultáneamente patrones de cambio y mecanismos de cambio. Al indicar la distribución bimodal de las alturas de la superficie terrestre, con los continentes en el rango 200 mbnm – 2000 msnm y las cuencas oceánicas a 4000 mbnm, retoma las ideas precedentes de contraste en

la composición litológica de continentes y cuencas oceánicas y de "rebote isostático". La existencia del fenómeno de rebote isostático lo confirma en la idea de la existencia en profundidad de capas no rígidas.

El contraste composicional y la isostasia le permiten afirmar que asociado con los movimientos verticales que reconocía la comunidad científica de su época existen también movimientos horizontales.

Wegener postuló que las fuerzas de marea (efecto gravitacional de la luna) y la fuerza de fuga del polo eran las responsables del desplazamiento de los continentes. Estas explicaciones fueron consideradas rápidamente como muy débiles y desaparecieron del debate.

Wegener reconocía que la fuerza de su teoría residía en los patrones de cambio y la debilidad en el tema del mecanismo de cambio o sea las fuerzas que alimentan el movimiento, lo cual lo llevó a afirmar: "El Newton de la teoría de la deriva continental aún no ha aparecido".

5. CRÍTICAS A LA HIPÓTESIS DE WEGENER

"Al examinar ideas tan nuevas como las de Wegener no es fácil olvidar los prejuicios. Un continente que se mueve es, para nosotros, tan extraño como lo fue para nuestros antepasados una tierra que se movía y podemos tener tantos prejuicios como ellos. Por otro lado, si los continentes se han movido, desaparecen muchas de las dificultades que se presentaban anteriormente y podemos sentir la tentación de olvidar las dificultades de la teoría misma y la imperfección de las pruebas..."

Philip Lake (1923)

Reunión de la Royal Society. Londres.

Las críticas a la hipótesis de Wegener provienen principalmente de los geofísicos, para los cuales la estructura interna de la tierra consta de capas muy rígidas para permitir que masas de escala continental se desplacen sobre ellas.

En torno al comportamiento geomecánico de las capas internas se desarrolla la parte más importante del debate. Wegener argumentaba acerca de las múltiples confusiones que alimentaban esta discusión. Acertadamente dirá, que los materiales internos se comportan como "sólidos" en respuesta a la acción de fuerzas de corta duración, como ocurre durante un sismo; pero frente a la acción de fuerzas modestas y continuas que operan durante temporalidades mayores, los materiales

internos responden con comportamientos elásticos y plásticos, típicos de un fluido.

Algunas críticas no apuntan directamente a la hipótesis de la deriva sino a argumentos específicos con que Wegener la defendía: se cuestionaron las medidas geodésicas de apertura del Atlántico Norte, las correlaciones geológicas entre África y Sudamérica y las similitudes de la biota fósil a ambos lados del océano Atlántico. Los investigadores de los paisajes glaciales heredados consideraron que los encajes de las morrenas del pleistoceno de Europa y Norteamérica, postuladas por Wegener eran completamente absurdas. En este tono, las críticas más moderadas consideraron la idea de deriva continental como una hipótesis novedosa pero poco sólida (tanto literal, como metafóricamente); las críticas más extremas la consideraron como improbable y absurda.

6. DESARROLLOS DE LA IDEA DE DERIVA CONTINENTAL ENTRE 1920 – 1950

Desde la presentación oficial de la idea de deriva continental en 1912 hasta finales de los años 50', la hipótesis de Wegener permaneció en el discurso científico de la comunidad de geólogos como una idea marginal, exótica o como decían sus críticos novedosa pero de muy poco rigor. A pesar del rechazo mayoritario de la comunidad científica, las ideas de Wegener fueron defendidas exitosamente por algunos investigadores brillantes.

Durante la primera mitad del siglo XX se presentan diversos desarrollos conceptuales que de manera directa o indirecta se apoyan en las ideas de deriva continental y que contribuyeron a tornarla "más sólida", en su sentido metafórico. Hallam (1985) en su libro "Grandes controversias geológicas" asocia con las ideas de Wegener:

- La teoría de los mantos de corrimiento en Los Alpes postulada por el geólogo suizo Emile Argand (1879 – 1940), en la cual, se plantea una evolución de la corteza terrestre en términos "movilistas" y se valoran los desplazamientos subhorizontales.
- El concepto de "deslizamiento gravitacional a escala continental" propuesto por el geólogo americano R. A. Daly (1871 – 1957) en el cual se avala la idea de deriva continental pero se postula un mecanismo de desplazamiento diferente.

- Arthur Holmes plantea un modelo del interior terrestre en tres (3) capas: una superior granítica, una intermedia diorítica y una inferior peridotítica y en esta última una parte externa sólida y una parte interna de carácter fluido. Igualmente postula la existencia de corrientes de convección con asiento en la parte interna de la capa peridotítica. Los aportes de Holmes a las ideas de Wegener dotaron a la hipótesis de la deriva continental de mecanismos de cambios más sólidos donde los argumentos de carácter geofísico eran más rigurosos: las corrientes de convección ascendentes al chocar con las capas externas más rígidas los fragmentaban y favorecían sus desplazamientos laterales.
- Alex du Toit (1878 – 1948) fue un geólogo de Suráfrica que acogió las ideas de la deriva continental en vida de Wegener. En 1927 documentó con mucho detalle las semejanzas entre las geologías paleozoicas y mesozoicas de África del sur y la parte oriental de Sudamérica. Wegener referencia a estos estudios en la cuarta edición de su libro. Du Toit modificó la idea del supercontinente único Pangea en dos grandes bloques: Laurasia, el continente norte y Gondwana, el continente sur y ambos separados por una franja marina de dirección este-oeste conocida como "Mar de Thetys".

Aunque estos autores hicieron aportes importantes a la idea de la deriva continental, especialmente Holmes, la hipótesis continuó persistiendo como un discurso marginal en la comunidad científica. Situación un tanto extraña si se tiene en cuenta que la idea de corrientes de convección integrada a la deriva continental configura un discurso que guarda una cierta similitud con las ideas de la tectónica de placas de la década de los años 60' (1959-1964).

7. LAS CIENCIAS GEOLÓGICAS ENTRE 1950 - 1965

La década de los años 50' se caracteriza por trabajos intensos de exploración geológica. Un centro de atención lo constituyó el estudio del magnetismo de las rocas; los investigadores encontraron que las lavas basálticas recientes están magnetizadas en la dirección y sentido del campo actual. Las rocas más antiguas presentan magnetismos normales (en el sentido del campo magnético terrestre) e inversas y tales magnetismos son un rasgo fósil heredado y preservado. (Hallam, 1985).

Las correlaciones espacio – temporales del magnetismo de las rocas dan pie para postular, por parte del geofísico Runcorn, la disyuntiva entre deriva del polo magnético o deriva de los continentes. Este investigador plantea que la anomalía de "la trayectoria del polo magnético" para un conjunto de rocas en Norteamérica y Europa desaparecía si se "ponían en movimiento los continentes y se iba cerrando el Atlántico Norte".

Las investigaciones en torno al magnetismo fósil de las rocas combinadas con un trabajo sistemático de datación de ellas permitió hacia finales de los años 50' identificar una nueva generación de patrones paleomagnéticos y patrones temporales.

Simultáneamente, en esta misma década se intensifica la exploración de los fondos oceánicos. Los resultados más relevantes de estos trabajos fueron: la identificación, y descripción de un sistema de dorsales oceánicas que se extienden por todo el globo, las cuales se pueden asimilar como especies de "montañas submarinas" formadas por acumulación de materiales provenientes de capas fluidas internas (astenosfera). Igualmente se comprobó que el fondo oceánico estaba compuesto por rocas básicas y ultrabásicas recubiertas con rocas sedimentarias marinas; en ningún caso se identificaron las rocas típicas de continentes como tampoco se encontraron evidencias de los puentes continentales interoceánicos sumergidos postulados por los paleontólogos de comienzos del siglo.

Los estudios del magnetismo y de las edades de las rocas de los fondos oceánicos dieron cuenta de varios patrones o regularidades:

- En ningún caso se encontraron rocas sedimentarias con edades mayores a 160 m.a (Jurásico medio), lo cual contrasta con las edades de 2500 – 3500 m.a para las rocas más antiguas de los continentes. Este hecho entraba así a contradecir la idea dominante a comienzos del siglo XX según la cual, continentes y cuencas oceánicas eran rasgos primigenios en la formación de la Tierra.
- Los datos del magnetismo de las rocas y sus dataciones revelaron una simetría y unos patrones sistemáticos: a partir del eje de las centrodorsales oceánicas la edad de las rocas aumenta sistemáticamente con la distancia. Igualmente se identificó una simetría de las inversiones magnéticas en rocas basálticas.

La exploración del fondo oceánico permitió identificar una nueva generación de regularidades o patrones de cambio de tipo paleomagnético, cronológico y geográfico que constituyeron el contexto para la postulación de la teoría de la expansión de los fondos oceánicos por parte de R.S. Díetz y que presentó oficialmente Harry Hess en 1960, la cual confirmaría Fred Vine en 1963.

En 1965, el geofísico canadiense Tuzo Wilson, retomando todos los resultados de los 15 años anteriores de exploración geológica y geofísica plantearía por primera vez la idea de una tectónica de placas, en la cual se sintetiza el conjunto de regularidades espacio – temporales de los fenómenos geológicos mayores (volcanismo, sismicidad, plutonismo, sedimentación, tectonismo y rasgos mayores del relieve de los fondos oceánicos y de los continentes).

8. LA SUERTE DE UNA TEORIA

Al comparar los debates de la comunidad científica de 1912 – 1930 acerca de la deriva continental con las discusiones en el período 1959 – 1965 en torno a la expansión de los fondos oceánicos y la tectónica de placas surgen numerosas inquietudes. ¿ Por qué la idea de Wegener generó tanto rechazo durante un periodo de 50 años para luego ser reconocida masivamente, hasta el punto que muchos de sus argumentos fueron incorporados en la defensa de la teoría de la tectónica de placas?.

Algunos autores consideran que la identificación de los nuevos patrones de carácter geofísico, cronológico y litológico de los fondos oceánicos permiten dar una explicación a este interrogante. Esta "explicación" alberga, implícitamente el presupuesto de considerar a los patrones geofísicos como de mayor rigor y valor ("de mejor familia") que los patrones paleontológicos, litológicos y geográficos. Argumentar de esta manera, cabalga sobre un imaginario moderno que asigna un valor superior a la racionalidad instrumental de los laboratorios de geofísica frente a las construcciones explicativas que se basan en la observación cuidadosa de tipo naturalista. Ese imaginario se queda sin peso cuando afirmamos que la idea de la deriva continental antecede en 50 años a las ideas de la tectónica de placas, incluso teniendo en cuenta que ambas teorías albergan diferencias, explicables por el progreso de la instrumentación entre ambos periodos.

Otras "explicaciones", reconstruyen el contexto de la época de Wegener (1912 – 1930) con los referentes de la época de los años 60': el mecanismo de deriva postulado por Wegener era poco convincente, no

se conocía la geología y el relieve de los fondos oceánicos, las fuerzas que alimentaban la deriva eran muy cuestionables, etc. Todas estas "explicaciones" en el fondo generan por el contrario un asombro: a pesar de ellas, Wegener intuyó la idea de continentes en movimiento.

El terreno común para "las explicaciones" del rechazo a las ideas de Wegener es el de suponer que la dinámica de la producción científica opera a través de aproximaciones sucesivas. Las interpretaciones de Wegener no guardan ninguna relación de continuidad con la imagen de La Tierra vigente a su momento, incluso teniendo presente que ambos sistemas conceptuales se apoyan en "bases de datos" (como se habla hoy día) similares: las paleo-biotas del paleozoico en el antiguo continente de Gondwana fueron "la plataforma informacional" con que los paleontólogos postularon sus puentes continentales interoceánicos; esa misma plataforma fue el referente para reafirmar en Wegener la idea de continentes en movimientos. Resulta imposible pretender encontrar una relación de continuidad lógica entre ambas explicaciones.

Eldredge (2000) plantea el tema de las relaciones entre "patrones de cambio" y "mecanismos de cambio" en las teorías evolutivas ¿Podría afirmarse que la idea de "Deriva continental" fracasa por qué careció de un mecanismo de cambio plausible?. Frente a esta situación, la respuesta sería negativa si se tiene en cuenta que las ideas de Holmes en los años 40', acerca de las capas del interior terrestre y las corrientes de convección en la parte inferior de la capa peridotítica aportaron a la idea de la deriva continental, un mecanismo de cambio bastante plausible. A pesar de ello, el rechazo mayoritario persistiría 20 años más.

Eldredge (2000) señala la existencia de teorías aceptadas por una comunidad científica que en su momento no contaban en su haber con un mecanismo de cambio: las edades glaciales de Agassiz postulada con base en la existencia de bloques erráticos, de naturaleza exótica respecto a la geología de la región donde se ubicaban; incluso la idea de cambios de polaridad en el campo magnético terrestre se avaló fácilmente, aunque los geofísicos continúan discutiendo hoy día, el mecanismo que genera este cambio. Más aún, los patrones de cambio en la evolución de las especies son actualmente el punto de referencia para cuestionar algunos aspectos del mecanismo de cambio de Darwin.

Estos casos indican que el proceso de convencer a una comunidad científica acerca de la validez de una teoría son muy complejos y no se pueden reducir a la construcción de un sistema conceptual coherente y lógico. Esto último es una condición necesaria, más no suficiente.

La emergencia de "nuevos modos de ver" los fenómenos naturales que establecen una ruptura radical con las imágenes dominantes enfrentan el reto de luchar con imágenes y pre-juicios que tienen fuerte arraigo en las comunidades científicas. En cierta manera, validar una nueva hipótesis de continentes en movimiento que cuestionaba todas las explicaciones vigentes implicaría desechar gran parte de lo adquirido y volver a empezar. Tal vez, por esa razón, resultaba "emocionalmente" más cómodo considerar que una hipótesis "tan absurda" sólo podría provenir de un investigador ajeno a las ciencias geológicas.

La confrontación tiene así el signo de lo paradójico: Wegener discutía desde una perspectiva integradora de las diversas disciplinas físicas y biológicas, mientras sus oponentes (geofísicos, paleontólogos, geólogos, glaciólogos) discutían desde la perspectiva del conocimiento especializado.

Visto así, es necesario considerar que en el proceso de la investigación científica, de modo similar a lo que ocurre con la creación artística, existen ideas y explicaciones que emergen sin relación de continuidad con el pasado, obviamente reflexionando acerca de unos mismos datos. Los ecos de una concepción lineal gradualista respecto a la producción científica, caracterizan a estas nuevas explicaciones como "ideas que surgen antes de tiempo".

Las explicaciones científicas, al igual que la creación artística, están condicionadas por un contexto muy complejo pero en ningún caso, este último las pre-determina. La imaginación creativa, al decir de Castoriadis, no es "la loca de la casa" de la razón, es ante todo la fuente de avance de explicaciones alternativas. (Castoriadis, 1989).

Las ideas novedosas que emergen en ruptura con las imágenes establecidas pueden ser moda pasajera o ideas brillantes; sin embargo, no existen procedimientos standard para que una comunidad científica decida rápidamente esta disyuntiva.

El aporte más valioso de Wegener fue el explorar e investigar por nuevas maneras de darle sentido al mundo natural o como dirán otros "hacer al mundo visible". Este proceso lo llevó, con su "sospecha" de continentes en movimiento, a identificar en ese mundo real una gran diversidad de patrones de cambio que le plantearon el reto de establecer una integración de las ciencias naturales (físicas y biológicas) en un momento donde lo ortodoxo en el ejercicio científico era aislar y descomponer como prerequisite para integrar mecánicamente; es decir agregar.

Wegener no es el primero en reclamar la integración de las disciplinas científicas pero sí uno de los pioneros en hacer de este lema, un método del ejercicio científico que le permitió visualizar la historia geológica de la tierra y la historia de la superficie terrestre como una parte fundamental de la historia de cambios de la vida de las especies.

9. EL LEGADO DE WEGENER

La vida intelectual de Wegener, sus innovaciones metodológicas y aportes al pensamiento científico están asociadas con su teoría de la deriva de los continentes. Al interior de este discurso se expresa igualmente una interrelación estrecha, una retroalimentación entre historia de la vida e historia geológica y geomorfológica de la tierra. Para Wegener era claro que un discurso en torno a la historia de la tierra requería el trabajo conjunto de las ciencias naturales y no exclusivamente la investigación especializada de geólogos y geofísicos.

En sus mismas palabras se intuye un visionario de la actividad científica transdisciplinaria.

“Los científicos aún hoy no parecen comprender suficientemente que todas las ciencias de la tierra deben contribuir con evidencias para develar el estado de nuestro planeta en sus tiempos tempranos y que la explicación solo se puede alcanzar combinando la información aportada por todas las ciencias de la tierra; podemos tener la esperanza de determinar la verdad, es decir, encontrar la imagen explicativa que consigue agrupar coherentemente todos los hechos conocidos en su mejor ordenamiento,..... Además, debemos estar preparados para la posibilidad de que cada nuevo descubrimiento, sin importar que disciplina lo aporta, puede modificar las conclusiones postuladas y aceptadas previamente” (Alfred Wegener (1929. “The origins of continents and oceans”. 4th edition; traducido de “Alfred Wegener (1880 – 1930) en <http://www.ucmp.berkeley.edu/history/wegener.html>).

La lectura de los estudios paleontológicos disponibles a su momento le permite descubrir las conexiones entre los procesos del dominio físico (geológico) con los procesos de la historia de la vida.

Wegener es el primer investigador que visualiza el vínculo entre las trayectorias de la evolución geológica del planeta, la evolución geomorfológica de la superficie terrestre y las trayectorias de la evolución biológica. Los contextos geológico, paleontológico y geomorfológico despliegan patrones de cambio a diferentes escalas espaciales y temporales; las correlaciones entre estos patrones son

viables en el espíritu transdisciplinario que reclama Wegener, lo cual le permitirá postular explicaciones nuevas y más profundas acerca de la historia de cambios del planeta.

Una constante en su trabajo científico es la identificación e interrelación de patrones de cambio de tipo biológico, geológico y geográfico, cuyo valor será reconocido solamente en la década de los años 60'.

Eldredge (2000) plantea que el método empleado por Wegener de apoyarse en patrones paleobiológicos para inferir patrones geológicos y geomorfológicos podría revertirse, de tal manera que los patrones de la tectónica de placas podrían contribuir a una comprensión más amplia de la evolución biológica. Cada vez es más claro que las trayectorias de la evolución biológica a una escala global tienen que ver con la trayectoria e interacciones de las placas tectónicas.

Para Eldredge (2000) es claro que "el motor" de la evolución biológica se encuentra en la dinámica de las placas tectónicas, un planteamiento que se ubica en la antípoda escalar del "ultradarwinismo", para el cual, el "motor" está en los genes.

Alfred Wegener puede mirarse como un naturalista con una cualidad envidiable: construyó un nuevo modo de "ver" la dinámica natural, lo que le permitió identificar nuevos patrones de cambio en la naturaleza. Este nuevo modo de "ver" es un imperativo, es una imagen mental necesaria para el ejercicio de la observación y la reflexión; ella emerge en Wegener como "sospecha improbable", a partir de comparar la similitud de las líneas de costa en ambos lados del océano Atlántico y a partir de "este dato" construye la idea de "continentes en movimiento". El dato es un contexto de reflexión, la idea es una creación del autor; el dato es un referente para apoyar múltiples construcciones explicativas y en ningún caso "alberga un mensaje único". Es en este sentido, que el ejercicio científico es una aventura de la imaginación creativa, en la cual la vida intelectual de Wegener marca un hito.

Entre "nuevos modos de ver" e "imágenes construidas – patrones" se establecen, a veces, circuitos de retroalimentación positiva cuyo producto más evidente es el ejercicio de la creatividad. En un proceso de estas características transcurre la vida intelectual de Alfred Wegener entre 1910 y 1930.

El ejercicio de científico naturalista de este pensador alemán corrobora un hecho tácito en la historia de las ciencias pero que pocas veces se hace explícito y defendible: a las explicaciones de los interrogantes

científicos no se llega en la mayoría de los casos por deducciones lógicas a partir de unas plataformas axiomáticas, sino por un proceso de imaginación creativa que involucra la intuición.

Es cierto que este ejercicio se apoya en la observación, la medición y la experimentación y se inscribe en un contexto de restricciones lógicas pero el principio guía para las nuevas explicaciones innovadoras es a menudo una perspicacia, una conjetura, un pre-sentimiento, una "sospecha altamente improbable" como lo denominó Wegener.

A pesar de la importancia de la imaginación creativa en el proceso de la producción científica, en el sistema educativo no se presentan intentos por cultivar sistemáticamente la intuición como parte fundamental de la educación de los estudiantes. Por el contrario, en muchos casos, la intuición y la imaginación creativa se presentan como manifestaciones opuestas a "lo medible" y "matematizable".

En el núcleo de la teoría de la deriva continental, la intuición y la imaginación creativa se expresan como una "totalidad coherente" de fenómenos geológicos, geomorfológicos y biológicos pasados, algo que en muchos textos universitarios se adscribe erróneamente como la gran virtud de la teoría de la tectónica de placas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aubouin, J., Brousse, R., Lehman, J.P. 1980. Tratado de geología. Tomo III: Tectónica, tectonofísica, morfología. Ediciones Omega S.A. Barcelona.
- Castoriadis, C. 1989. La institución imaginaria de la sociedad. Vol 2: El imaginario social y la institución. Tusquets Editores. Barcelona.
- Eldredge, N. 2000. The pattern of evolution. W.H.Freeman and Company. New York.
- Gribbin, J. 1986. La tierra en movimiento. Biblioteca Científica Salvat Nº 50. Salvat Editores S.A. Barcelona.
- Hallam, A. 1985. Grandes controversias geológicas. Editorial Labor S.A. Barcelona.
- Press, F., Siever, R. 1974. Earth. W.H.Freeman and Company. San Francisco.
- Takeuchi, H., Uyeda, S., Kanamori, H. 1970. ¿Qué es La Tierra? (El problema de la deriva continental). Antoni Bosch editor S.A. Barcelona.
- Tarling, D., Tarling, M. 1986. Derivas Continentales. Muy interesante. Biblioteca de divulgación científica Nº 58. Ediciones Orbis S.A. Barcelona.
- Uyeda, S. 1980. La nueva concepción de La Tierra: Continentes y océanos en movimiento. Blume ecología Nº 8. Editorial Blume. Barcelona.