

Enseñanza de la deriva continental: contribuciones epistemológicas e históricas

Teaching continental drift: epistemological and historical contributions

CLARA VASCONCELOS¹, ANTÓNIO ALMEIDA², JOSÉ AMÉRICO BARROS³

¹ Faculdade de Ciências/ Centro de Geologia da Universidade do Porto, ² Escola Superior de Educação de Lisboa/ Centro de Geologia da Universidade do Porto, ³ Centro de Geologia da Universidade do Porto, Portugal.

csvascon@fc.up.pt, jabarros@fc.up.pt, aalmeida@eselx.ipl.pt

Resumen

Contradicciones entre epistemólogos e historiadores, y debates entre corrientes científicas controversiales, marcaron desde muy temprano la Historia de la Ciencia. Sin embargo, es habitual que la Enseñanza de la Geología se refiera a una ciencia sin historia, y que excluya reflexiones epistemológicas que ayudarían al alumno a comprender la construcción del conocimiento científico. Los autores, partiendo de formas diferentes de analizar la ciencia según Popper, Kuhn, Lakatos y Laudan, revelan reflexiones epistemológicas sobre la controversia fijismo /movilismo, destacándose el camino recorrido por la geociencia desde la deriva continental hasta la tectónica de placas. Este artículo realza la aplicabilidad de las tesis de los epistemólogos ya referidos, en momentos claves de confrontación de ideas, que conllevaron a avances y retrocesos, a éxitos y fracasos en la comunidad científica geológica. Los autores presentan una aplicación educativa que puede ayudar a enseñar la deriva continental obligando a reflexionar sobre las contribuciones históricas y epistemológicas.

Palabras clave: fijismo, deriva continental, tectónica de placas, historia de la ciencia, aplicaciones educativas

Abstract

In the history of science there have been numerous contradictions between epistemologists and historians, as well as debates among controversial scientific theories. However, in geology teaching, it is common to refer to geology as a science without history, as well as to exclude epistemological thought that could help students to understand the process of construction of scientific knowledge. In this article, the authors look into different ways of analysing science, according to Popper, Kuhn, Lakatos and Laudan, and present epistemological thoughts on the controversy on fixism/mobilism, thereby describing the long path undertaken in geosciences from continental drift to the plate tectonics. The article looks into the applicability of the thesis from different epistemologists, at key moments of the confrontation of ideas, that have led to developments and setbacks, achievements and failures within the scientific geological community. The authors present an educational material to teach continental drift obliging students to reflect upon epistemological and historical issues.

Keywords: fixism, continental drift, plate tectonics, history of science, educational materials.

INTRODUCCIÓN

El análisis epistemológico de la ciencia ha sido defendido por varios autores como un valor añadido al proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Marques, 1996; Praia, 1996; Bolacha, 2008). Sin embargo, frecuentemente se verifica que tanto los manuales escolares como los propios profesores de ciencias naturales no valoran este tipo de análisis en sus clases. La situación más frecuente es la de ciencia sin historia, en la cual el conocimiento científico se enseña sin que se haga cualquier referencia al contexto que lo engendró. Otras veces, el modo como muchas concepciones y teorías ultrapasadas son introducidas y exploradas, inducen con frecuencia a la idea de que nuestros antecesores sufrían de una cierta ingenuidad colectiva. Esas teorías aparecen muchas veces como una clara señal de insensatez, ya que sus concepciones, carentes de un contexto histórico adecuado, son contrapuestas a las ideas actuales, tomadas como realmente verdaderas y definitivas. Cuando, aún así, se recurre a una contextualización histórica, ésta se limita frecuentemente a valorar las partes del trabajo que pueden considerarse fácilmente como atributos del enunciado actual, lo que acaba acentuando la idea de que las teorías que hoy se aceptan fueron objeto de una construcción lenta pero determinada hacia el camino de la verdad, finalmente alcanzada. Siguiendo estas formas de mirar a la ciencia, es igualmente frecuente que se considere a los científicos como individuos excéntricos que, en momentos de genialidad, descubren leyes y teorías. Sin embargo, si estas ideas parecen deberse, en parte, a imágenes estereotipadas difundidas por los medios de comunicación social, ellas pueden también interiorizarse a través de la lectura de obras sobre la propia historia de la ciencia. Tomemos como ejemplo el trabajo de Bryson (2003) que muestra un número interminable de científicos excéntricos ya sea en términos

de sus actitudes comportamentales en sus vidas cotidianas o incluso a nivel de sus opciones metodológicas. Exageraciones de quien pretende efectuar una divulgación divertida de la ciencia o relatos verídicos de personalidades que, de hecho, sobresalían por comportamientos no comunes, conducen a la confianza sobre la necesidad de buscar encuadrar y contextualizar muchas de las narrativas de la historia de la ciencia, para evitar desviaciones acerca de las características del emprendimiento científico. Este artículo analiza las principales ideas de los epistemólogos Popper, Kuhn, Lakatos y Laudan relacionadas con la construcción de la ciencia y aplicabilidad en el abordaje de la Deriva Continental.

DERIVA CONTINENTAL: FORMAS DIFERENTES DE ANALIZAR LA CIENCIA

La Deriva Continental, propuesta por Alfred Wegener en 1912, trató de explicar de una forma consistente la idea de que en el pasado (hace cerca de 250 Millones de años) los continentes actuales habrían estado unidos en un súper continente, el Pangea. Su fragmentación habría dado origen a diferentes bloques continentales que a lo largo de la historia de la Tierra se habrán desplazado y ocupado diferentes posiciones geográficas. Recordando aspectos de la Historia de la Geología, se sabe que antes de Wegener presentar la teoría de la Deriva Continental a inicios del siglo XX, la Geología, ya desde los siglos XVIII y XIX era blanco de varias controversias envolviendo escuelas con concepciones muy diferentes sobre el mundo natural. Una de estas controversias oponía el Neptunismo al Plutonismo. El Neptunismo, defendido por Abraham Werner (1749-1817), explicaba la constitución de la corteza terrestre teniendo como base la precipitación y la deposición secuencial de materiales que estarían en suspensión o en solución en medio de un océano primitivo. De acuerdo con este modelo evolutivo de la tierra, la evaporación del agua, que inicialmente habría cubierto todo el globo terráqueo, provocaría el descenso de su nivel haciendo emerger elevaciones y valles submarinos, que habrían dado origen a las montañas. A su vez, en el Plutonismo, modelo teórico expuesto por Hutton (1726-1797), los residuos resultantes de la erosión de áreas continentales eran transportados y depositados en los océanos, en capas horizontales. El calor interno y la presión resultante de su acumulación provocarían la licuefacción de esos sedimentos, quedándose éstos con tendencia a subir a la superficie dando origen, en esa fase, a erupciones volcánicas y a la formación de montañas (Amador y Contencas 2001). Esta teoría establecía así el origen ígnea intrusivo del granito, en oposición al neptunismo, que le atribuía un origen sedimentar (Gohau 1987). Las relaciones de campo observadas por Hutton, en que las formaciones sedimentares son instruidas por el granito, fueron determinantes para abalar el neptunismo y de la misma manera, la formación de las rocas volcánicas constituía un obstáculo que Wegener testarudamente desvalorizaba. De acuerdo con las ideas de Popper, el falsificacionismo parece haber tenido aquí un papel decisivo en la refutación del neptunismo. Para que tal refutación haya ocurrido, mucho habrá contribuido el cúmulo de evidencias de campo que lo contrariaban de forma inequívoca. Otra controversia que se vivía en esa época ocurría entre el uniformitarismo y el catastrofismo. El uniformitarismo (para los autores de lengua inglesa) o actualismo (para alemanes y franceses) argumentaba que los fenómenos geológicos sufrían un cambio gradual durante largos períodos de tiempo, mientras que el catastrofismo defendía que la tierra era un planeta joven (con cerca de 75 000 años), marcado por una sucesión de fenómenos catastróficos, ejemplificados en los cambios del registro fósilífero que indicaban extinciones cortas y violentas (Bolacha 2008). Al proponer el uniformitarismo (contra las ideas catastrofistas que se vivían en la época), Hutton afirmó que "El presente es la Llave del Pasado", lo que quiere decir que gran parte de lo que comprendemos acerca del pasado geológico se basa en la observación actual del funcionamiento del planeta. Por esa razón, los procesos geológicos que hoy vemos modificar la corteza continental deben haber actuado de la misma manera a lo largo del tiempo geológico. Así, el pasado es explicable desde el presente, o sea, los acontecimientos del pasado pueden ser explicados con base en las causas actuales (Amador y Contencas 2001). El principio orientador del uniformitarismo tuvo gran importancia para

el desarrollo de la geología a finales del siglo XVIII, considerándose, aún hoy, como la base más importante de la investigación en geociencias. Si en el siglo XIX la controversia entre catastrofismo y uniformitarismo llegó a un nivel alto, habiéndose impuesto el uniformitarismo durante los siglos XIX y XX, actualmente son ambos aplicables y no se excluyen mutuamente. Este episodio de la historia de la geología parece concordar con las ideas de Lakatos, ya que nada impidió que un programa degenerativo (en un determinado momento) se hiciese progresivo más tarde (Dieguéz, 2005). Además, muestra también que, como refieren Popper, Lakatos y Laudan, es posible que varias teorías (o PIC) rivales puedan coexistir. Kuhn (1992) tiene un entendimiento diferente cuando defiende el surgimiento del primer paradigma en la geología con la publicación de *Principles of Geology* de Charles Lyell. Laudan (1977), por ejemplo, refuta firmemente esta idea que él afirma ser contrariada por la evidencia histórica. Según él, la supuesta revolución interpretativa de Lyell, con base en el uniformitarismo, obtuvo un impacto reducido en los geólogos de Europa continental, e incluso en Inglaterra y en los Estados Unidos sus ideas fueron objeto de severas críticas. Y por eso afirma: "No existía ningún paradigma geológico que fuese aceptado universalmente o acriticamente. Una multiplicidad de redes alternativas era la regla y no la excepción", (Laudan 1977, 136). Así, especialmente durante el siglo XIX, existía aún una competición saludable entre escuelas con concepciones diferentes sobre las interpretaciones del mundo natural, y Marques (1996) afirma incluso ser difícil concluir que la comunidad geológica de 1850 a 1950 estuviese ya unida en torno de un paradigma. A pesar de todo, valorar esta posibilidad obliga a admitir, siguiendo las ideas de Kuhn, el prolongamiento de la fase pre-paradigmática de la geología hasta después de la segunda mitad del siglo XX lo que, dado el extraordinario progreso que las ciencias geológicas alcanzaron desde el siglo XIX, parece ser inadecuado. Sin embargo, hasta finales del siglo XIX, el origen de las montañas (orogénesis) constituía el problema central de la geología (Borges, 1992). De hecho, una de las concepciones más populares, a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, afirmaba que la tierra se encontraba en un proceso continuo de enfriamiento y contracción (Bolacha, 2008). Como resultado, y como consecuencia de la acomodación gradual de los materiales, se explicaba no sólo la formación de las montañas (y, consecuentemente, estructuras como pliegues y fallas) sino también la formación de enormes depresiones que constituían las cuencas o cubetas oceánicas. A la par de la teoría de la contracción del globo terrestre, se impone el principio fijista que seguía el pensamiento de J. D. Dana: "continentes permanecen como continentes; océanos permanecen como océanos" (Borges 1992, 60). Para los fijistas la corteza continental y las cuencas oceánicas tuvieron su origen en el inicio de la formación de la Tierra, no habiendo sido modificadas posteriormente. Es contra estas ideas (contraccionismo/fijismo) que se debatiría la teoría movilita de Wegener, dando paso así a la controversia entre fijistas y movilitas. Estos puntos (contraccionismo y fijismo) constituirían de alguna forma el núcleo duro de la tesis de Lakatos del modelo explicativo fijista o de la tradición de investigación de Laudan, que era necesario mantener a todo costo (Marques, 1996). Ya siguiendo el modelo de Kuhn, el fijismo sería, muy probablemente, el paradigma de la geología en aquella época. Algunas explicaciones que contemplaban la existencia de movimientos laterales de los continentes fueron avanzadas, pero tenían en cuenta el modelo fijista. Eduard Suess (1831-1914), y con él la comunidad geológica, creía que la tierra se encontraba en contracción, por lo que aquellos movimientos serían apenas marginales, pues los núcleos de los continentes permanecerían fijos (Borges, 1992). Para Suess los continentes actuales eran fragmentos de un paleocontinente, del cual algunas porciones habían sufrido subsidencia después de fracturadas (Amador y Contencas, 2001). Fue Frank Taylor (1860-1938), un glaciologista estadounidense que, a pesar del cuadro teórico de su época ser, en general, antagónico con la aceptación de la deriva continental, se anticipa, de cierta forma, al trabajo de Wegener, y defiende en 1908 la existencia de un deslizamiento de la corteza, responsable por la formación de algunas cadenas montañosas (Amador y Contencas, 2001). Se trataba de una teoría no globalista, que tenía que ir a buscar al exterior de la tierra las fuerzas dinamizadoras para el movimiento de los continentes (Borges, 1992). Esta primera propuesta de movilidad horizontal de los continentes, en una comunidad geológica fuertemente fijista, fue ignorada. Sólo en 1912, tal como ya fue referido, Wegener propuso la teoría de la Deriva Continental, en la cual las montañas resultaban de "colisiones" entre masas continentales distintas. No siendo pionero, Wegener (1966 [1929]) se destacó por la diversidad de argumentos que movilizó: geodésicos, geofísicos, geológicos, paleontológicos y biológicos y paleoclimáticos. Con todo, a pesar de la rica argumentación dada por Wegener, la comunidad científica de la época no se mostró dispuesta a aceptarla, principalmente porque Wegener no había conseguido mostrar una fuerza creíble capaz de explicar el movimiento lateral de los continentes. Para Laudan, este sería un problema conceptual interno, ya que era la propia teoría la que demostraba inconsistencia. Uno de los críticos

más duros lo fue el geofísico H. Jeffreys que, con cálculos simples, demostró que las fuerzas de Eotvos y de las mareas, propuestas por Wegener, tenían una magnitud de prácticamente un millón de veces menor que la fuerza necesaria para mover los continentes. Estas críticas fueron incorporadas por la llamada Escuela Geofísica de la Tierra Ultrasólida, establecida en Gran Bretaña y los Estados Unidos, y que defendía que el planeta poseía una rigidez demasiado grande, incompatible con la posibilidad de deriva continental (Hallam, 1985). No obstante, Wegener (1966 [1929]) tenía la noción que la completa justificación de las fuerzas que provocaban el movimiento de los continentes podría demorar algún tiempo a encontrarse. Y por eso afirmó que "El Newton de la teoría de la deriva aún no había aparecido", p. 167. Aún así, creía que la comunidad científica podría adherir a sus ideas, independientemente de que el fenómeno se encontrara o no totalmente explicado físicamente. Hecho que para Laudan sería fácilmente aceptable puesto que, ya bien fuera esta nueva tradición de investigación (Deriva Continental) verdadera o no, ésta era la que respondía con mayor eficiencia al problema empírico del movimiento de los continentes. Sin embargo, la adhesión no se materializó y fueron muy pocos los geólogos que inmediatamente lo apoyaron; Argand habrá sido su mayor defensor y Du Toit, su mayor impulsor (Borges, 1992). Para justificar la poca adhesión es importante recordar que el fijismo y el contraccionismo dominaban en aquella época, pero la propia espectacularidad de la idea de la deriva asociada al movimiento horizontal de las masas continentales, pesando millones de toneladas, no debe desvalorarse como causa. Además, a principios del siglo XX, la geología se encontraba desarticulada, obstruida por el impasse de las polémicas entrecruzadas de movilitas contra fijistas. La evolución tuvo lugar en medio de las contradicciones propias de un clima social convulso (Borges 1992), lo que concuerda con la visión externalista de la Ciencia defendida por Kuhn, Lakatos y por el propio Laudan. Los argumentos que Wegener presentó serían, en una perspectiva popperiana, refutadores del fijismo. Basta recordar su intento de demostrar la imposibilidad de la existencia de puentes intercontinentales considerados responsables por la distribución geográfica de varias especies de seres vivos, extintos desde hace mucho tiempo. Al abrigo de las tesis de Lakatos y Kuhn, sus argumentos se presentan, respectivamente, como anomalías al PIC o paradigma fijista de la época. Sin embargo, un nuevo PIC empieza a afirmarse con Wegener, siendo sus argumentos parte de las "hipótesis explicativas" del programa, en que la idea del desplazamiento de los continentes constituiría su núcleo duro o central. De la heurística negativa formarían parte ideas que podrían refutar el núcleo duro como, por ejemplo, la de considerarse al contraccionismo responsable por las características externas del globo, o la de la corteza de los fondos oceánicos originarse en la subsidencia de las porciones continentales (Praia, 1996). La presencia simultánea de más de un programa de investigación en competición (fijistas y movilitas) también concuerda con el modelo de Lakatos. En el modelo de Kuhn, los argumentos presentados por Wegener representaban anomalías al paradigma vigente (contribuyendo para el inicio de una posible crisis), mientras que la idea central de su teoría (el desplazamiento lateral de los continentes) abría el camino al surgimiento de un nuevo paradigma. Como refiere Kuhn (1992), el futuro paradigma puede emerger antes que la crisis esté bien avanzada o incluso reconocida y, por lo tanto, incluso antes de la adhesión de la comunidad científica a las nuevas ideas. Ya para Laudan, si respondiera con mayor capacidad al problema empírico, entonces estaríamos ante una situación de progreso científico, no necesariamente acumulativo. La propuesta de Wegener continuó siendo ignorada durante los años 30, pudiendo decirse incluso que fue recibida por la comunidad científica con cierta hostilidad (Marques, 1996). Muchos se preocupaban en atacar las carencias del nuevo PIC, aunque ignoraban las carencias de sus propios programas o paradigmas fijistas. Tales ataques pueden verse también como tentativas para hacer sobresalir los problemas conceptuales internos de la teoría, ampliamente valorados en las tradiciones de investigación de Laudan. Un ejemplo de esta situación es que el descubrimiento de la radioactividad en 1909, que vino a probar que el calor producido por el decaimiento radioactivo era incompatible con la idea de una tierra en enfriamiento, no fue suficiente para abandonar la explicación de la orogénesis a partir de la contracción del planeta. Igualmente, el catastrófico sismo de San Francisco, el 18 de Abril de 1906, demostró que la corteza puede sufrir movimientos horizontales (carreteras y cercas fueron notoriamente desplazadas). Ese desplazamiento fue horizontal y ocurrió a lo largo de una falla vertical, la de San Andrés. Tal movimiento refutaba la teoría vigente que atribuía los sismos a explosiones subterráneas, derivadas de la contracción de la tierra (Borges, 1992). La tesis de Popper parece aquí poco aplicable, ya que datos que contrariaban la idea contraccionista de la tierra no fueron suficientes para refutar el fijismo. En esta situación, los modelos de Kuhn y Lakatos parecen más aplicables, ya que defienden que un paradigma o PIC sólo puede ser refutado cuando existe otro en condiciones de sustituirlo (cuando ocurren los acontecimientos referidos, Wegener aún no había

propuesto su teoría). No obstante, cuando Wegener propuso una alternativa fundamentada, ésta no fue aceptada inmediatamente. Esta situación corrobora también las tesis de Lakatos, Laudan y Kuhn, pues, si los dos primeros ven al cambio como progresivo y lento a lo largo del tiempo (Dieguéz, 1995). Kuhn (1992) considera que antes de una revolución ocurre la "crisis" del viejo paradigma, por lo que los argumentos presentados serían vistos "apenas" como anomalías al paradigma de la época (el fijismo). Sin embargo, la constatación que no sería posible explicar ni la génesis de las cadenas montañosas, ni algunas de las estructuras geológicas observadas en ellas, apelándose únicamente a fuerzas verticales, se tornaba cada vez más evidente (Amador y Contencas, 2001). Las anomalías se acumulan, el PIC (basado en el modelo fixista) se vuelve cada vez más degenerativo y la "crisis" del viejo paradigma cada vez más acentuada. La nueva tradición de investigación parecía capaz de resolver mejor los problemas. Pero como realza Kuhn (1992), con tantas dudas parece natural que la balanza se incline para la tradición, lo que en cierta medida muestra que las teorías no ceden al primer ataque, pues si tal aconteciese, era la propia Ciencia que estaría en riesgo debido a la falta de coherencia interna. Por otro lado, la capacidad de apertura de espíritu, disponibilidad para la innovación y capacidad para reconocer el error, por parte de los científicos, no es tan frecuente como muchas veces se defiende. Como destaca Kuhn (1992), la fuente de resistencia es la confianza (o la esperanza) de que el paradigma antiguo acabará resolviendo todos los problemas. Para Lakatos la no aceptación inmediata del nuevo programa de investigación es igualmente comprensible pues, tratándose de un PIC nuevo, es natural que necesite de tiempo para que se torne más progresivo y pueda superar a su rival más tarde. Fueron algunos resultados de investigaciones, llevadas a cabo con otros objetivos, que posibilitaron la recuperación de las ideas de Wegener en los años cincuenta. Sería aquello que Laudan referiría como un problema anómalo, o sea, aquel que es resuelto no por la teoría para la cual constituye una anomalía, sino por una teoría rival. Así, después de la II Guerra Mundial, investigaciones en el campo de la geofísica y del estudio de la topografía submarina, desarrolladas para fines militares, evidenciaron diferencias de espesura, densidad y composición entre las cortezas oceánica y continental y la inexistencia de continentes sumergidos. En este contexto, algunas de las explicaciones para defender el fijismo son falseadas, lo que para Popper corresponde al camino para refutarlo. Sin embargo, recordemos que la teoría de la deriva había sido igualmente refutada, debido principalmente a la alusión de fuerzas no creíbles para la justificación de la movilidad horizontal de los continentes. Así, siguiendo el pensamiento de Popper, se podría concluir que se trataba igualmente de una teoría inconsistente, pues fue refutada con relativa facilidad, pero como no es el caso, el falsificacionismo de Popper no parece ser la mejor interpretación para este episodio de la historia de la Ciencia. No obstante, la tesis de Laudan, de que lo importante es la capacidad de la teoría para resolver el problema y no tanto si es verdadera o falsa, parece ser de fácil aplicación en esta situación. La teoría de Wegener gana así significado nuevamente, lo que, considerando al modelo de Lakatos que se revela aparentemente adecuado, hace al nuevo programa de investigación cada vez más progresivo (y al antiguo degenerativo), aumentando su número de apoyantes. Según la tesis de Kuhn, el paradigma vigente presenta anomalías cada vez más contundentes y se vuelve más debilitado, abriendo un espacio decisivo para el surgimiento de un nuevo paradigma. A partir de 1955, estudios sobre el paleomagnetismo comprobaron definitivamente la importancia de los movimientos horizontales de la corteza terrestre. En 1963, con el desgaste del paradigma vigente, la teoría de la Deriva Continental es efectivamente recuperada, pero esta vez con nuevas evidencias y una nueva perspectiva. Se establecía definitivamente la importancia de los movimientos tectónicos horizontales y se ampliaba, a dimensión planetaria, la escala de observación geológica (Borges, 1992). En 1965, el geofísico Wilson propone, por primera vez, la idea de Tectónica de Placas. El nuevo PIC supera definitivamente el PIC basado en el modelo fixista y ocurre, en una perspectiva kuhniana, la revolución, o sea, el viejo paradigma es substituido por otro, el de la teoría de la Tectónica de Placas.

EN SÍNTESIS

De una forma global, considerando lo que pasó desde el surgimiento de la Teoría de la Deriva Continental, propuesta por Wegener hasta la formulación de la Teoría Tectónica de Placas, las teorías de Lakatos y de Kuhn se presentan como las más adecuadas a todo el proceso. De hecho, la sustitución del modelo explicativo no ocurre por una simple confrontación con hechos contradictorios aislados, mas apenas cuando surgió una alternativa creíble, resultante del desenvolvimiento de una teoría que agrupó de forma articulada y coherente los datos provenientes de orígenes diversos. En tanto, se tuvo que optar por uno de los dos modelos, la tendencia fue hacia la tesis de Lakatos, una vez que el nuevo programa da respuesta a situaciones ya resueltas por el modelo fixista, y no habiendo, un corte abrupto con conocimiento anterior

(por ejemplo, el principio de uniformitarismo ahora aplicable); presenta soluciones creíbles para los dos problemas no solucionados y hace predicciones para nuevas situaciones que antiguamente no era capaz de hacer. En este sentido, podríamos igualmente referir el modelo de Laudan, o aceptar que en una misma tradición de investigación coexistan teorías rivales desde que respeten los compromisos ontológicos y normas metodológicas. Nótese que fue también posible constatar que, en varios momentos de la Historia de la Geología contemplados en este artículo, se verifica la existencia de un cierto pluralismo teórico en competición, bastando pensar que tanto el paradigma mobilista como el fixista coexistirán durante casi medio siglo.

Mas, independientemente de éste que mejor se adapta al episodio descrito, es esencial realzar la importancia de estos abordajes en el sentido de permitir contrariar, como destaca Hodson (1998), la visión tendencialmente inductivista de la construcción de la ciencia encontrada entre los profesores. La enseñanza de las ciencias, en este caso de la geología, no puede ignorar la necesidad de un abordaje contextualizado de información histórica, y tiene que llamar la atención para los aspectos socio-económicos, políticos, religiosos y éticos que influyen la práctica científica. Tal abordaje pasa, así, por la necesaria inclusión de la historia de la ciencia y la dimensión epistemológica de la ciencia en los programas escolares de ciencias y para la valorización de estos aspectos en la práctica pedagógica de los profesores. La historia de la geología aquí abordada podrá ayudar a los alumnos a ultrapasarse la idea de imagen heroica de los científicos, no sólo a través de la contextualización del pre-escenario continental, sino también, a través de la contribución dada por varios científicos, necesario para llegar a la Teoría de la Tectónica de Placas, la cual no se engloba necesariamente en Alfred Wegener. La Teoría de Tectónica de Placas resultó de un largo recurso, repleto de avances hasta su aceptación generalizada. Ahora, solo la inclusión en contexto formal de episodios como lo descrito, permitirá a los alumnos la visión de ciencia con historia, donde los procesos de construcción del conocimiento científico pueden ser blanco de una atención más cuidadosa.

APLICACIÓN EDUCATIVA

Seguidamente se presenta una posible aplicación educativa que permite explorar algunos aspectos epistemológicos e históricos de movilidad de la superficie de la tierra.

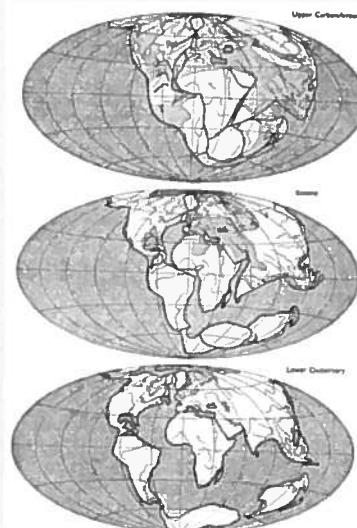
Parte I

Wegener publica en 1915 el libro "El origen de los continentes y los océanos" en el que menciona la Deriva Continental como la responsable por el movilismo de la litósfera. En la década del sesenta del siglo XX, Tuzo Wilson y otros investigadores presentaron la Teoría de la Tectónica de Placas como la responsable por la dinámica interior del planeta.

(La posición de los continentes en tres ocasiones distintas. En, Wegener, 1966 [1929], p. 18)

- 1) ¿Cuál es el problema con el que se debatió la comunidad científica que puso en causa el fijismo? ¿Cómo explicaría Laudan el surgimiento de una teoría que lo resolviera?
- 2) ¿Por qué razón algunos autores mencionan la Deriva Continental como hipótesis y otros como teoría?
- 3) Con base en la información facilitada, explica la razón por la cual unas teorías (y sus modelos) van siendo substituidas por otras a la luz de la teoría de Kuhn, Popper y Lakatos.
- 4) En su momento Wegener fue criticado, no únicamente por la falta de un mecanismo convincente causador de la movilidad de los continentes, sino también por la metodología utilizada en la construcción de su teoría. Veamos el comentario del paleontólogo E. W. Berry:

El método de Wegener según mi opinión no es científico, sino que sigue la trayectoria normal de una idea inicial, una búsqueda selectiva a través de la literatura para corroborar sus pruebas, ignorando los hechos opuestos a esta idea, y finalizando



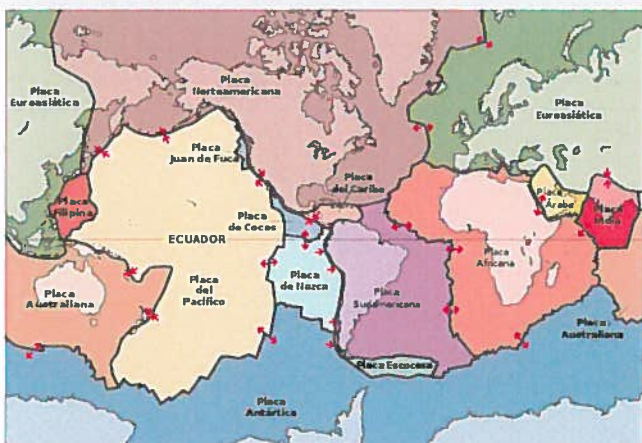
en un estado de autointoxicación en el cual la idea subjetiva acaba siendo considerada como un hecho objetivo.

Y Wegener se desahoga en una carta que le envía a su suegro en la que comenta sobre sus críticos:

¡Esta gente que insiste en basarse solamente en los hechos y no quieren saber nada de las hipótesis, están utilizando ellos mismos una falsa hipótesis sin darse cuenta...!

(Citas sacadas de Hallam, A., *Great Geologic Controversies*, Oxford University Press, New York, 1989).

- 4.1. ¿Cuál es el proceso de construcción de la ciencia aparentemente seguido por Wegener?
- 4.2. ¿Qué autores de los citados defienden un proceso de construcción de la ciencia como el seguido por Wegener?
5. El geofísico Dr. Jeffreys prefirió expresar sus críticas a las fuerzas presentadas por Wegener generadoras de la deriva, tras haber probado matemáticamente que éstas no podrían causar la movilidad de los continentes. Él ha proferido la siguiente afirmación:
En la teoría de Wegener, por ejemplo... el supuesto de que la Tierra puede deformarse indefinidamente debido a pequeñas fuerzas, siempre que actúen en un tiempo suficientemente largo es, por consiguiente, muy peligroso y puede inducir a serios errores.(Recogido de Hallam, A., *Great Geologic Controversies*, Oxford University Press, New York, 1989).
- 5.1. Explique por qué parece que el Dr. Jeffreys se aproxima claramente del modelo de Popper para la construcción de la Ciencia.
- 5.2. Incluso con la demostración matemática de la imposibilidad de la deriva, cuando motivada por las fuerzas presentadas por Wegener, algunos científicos, como Du Toit, permanecen sus fieles seguidores. ¿Cómo se explica que algunos científicos sigan nuevas ideas, pese a las fragilidades detectadas?
6. El avance tecnológico, en las décadas de los cuarenta y cincuenta, fue indispensable para el resurgimiento de la idea de movilidad de los continentes en la década de los sesenta bajo la forma de la teoría de la tectónica de placas.
- 6.1. ¿Qué ejemplos se podrían presentar para respaldar esta idea?

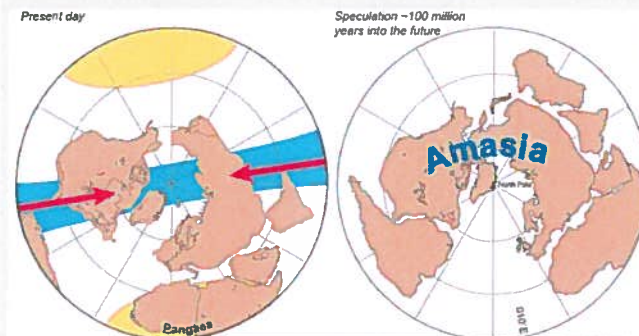


- 6.2. ¿Qué autores, de los citados, mejor recogen los avances de la tecnología en el progreso de la Ciencia? ¿Lo sabes? ¿Se puede recoger del texto?
- 6.3. El concepto de placa traduce un modelo para explicar la movilidad horizontal de los continentes. ¿Cuál es el papel de los modelos en la construcción del conocimiento científico?
7. ¿Qué importancia tiene que el trabajo científico en la actualidad se haga en equipo, designadamente en equipos interdisciplinarios?

Parte II

En febrero de 2012, la revista *Nature* publica un artículo de Mitchell Ross y colaboradores, mencionando el modelo de la ortoversión. Este modelo alternativo a los otros dos presentados anteriormente a la

comunidad científica, prevé la localización del futuro supercontinente (Amasia), dentro de 50 a 200 millones de años, en el Polo Norte.



(En, <http://aeiou.visao.pt/amasia-o-novo-supercontinente=f645862>, consultado en abril de 2012)

1. ¿Esta previsión se basa en la inmutabilidad o en la refutación de la teoría de la tectónica de placas en los años futuros?
 - 1.1. ¿Cómo explicas esta aparente inmutabilidad de paradigma, a la luz de las ideas discutidas?
 - 1.2. Esta previsión, denominada de especulación, ¿de qué forma puede tener importancia en la ciencia? Verifica si tu respuesta se incluye en las ideas de alguno de los autores discutidos.
2. Discute a la luz de las ideas de los autores presentados en el texto sobre la posibilidad de la existencia de teorías inmutables en Ciencia.
3. ¿Qué fragilidades ha revelado la teoría de la tectónica de placas y cómo ha procurado sobrepasar esas mismas fragilidades?
4. Una nueva teoría sugiere que por lo menos mitad de los puntos calientes primarios de la Tierra pueden haber resultado de la colisión de grandes asteroides en zonas de océano en el punto exacto del globo, a 180 grados de distancia. Como evidencia de esta teoría, algunos científicos mencionan el Yellowstone y las islas Kerguelen. Recordando las dificultades de aceptación de la Deriva Continental y de la Teoría de la Tectónica de Placas, ¿cómo esperas que pueda reaccionar la comunidad científica a esta reciente teoría?

BIBLIOGRAFIA

- Amador, F. y Contencas, P. *História da Biologia e da Geologia*, Universidade Aberta, Lisboa, 2001.
- Bolacha, E. Elementos sobre Epistemologia da geologia: uma contribuição no Ano Internacional do Planeta Terra, *Revista Electrónica de Ciências da Terra*, 6, [2], 1-16. 2008.
- Borges, F. A História da Crosta Terrestre: uma história entre outras. *Revista de Cultura Científica*, 54-70, 1992.
- Bryson, B., *A short history of nearly everything*. Broadway Books, New York, 2003.
- Dieguez, A. L., *Filosofía de la Ciencia*, Universidade de Málaga-Biblioteca Nueva, Madrid, 2005.
- Gohau, G., *Histoire de la Géologie*, Éditions de la Découverte, Paris, 1987.
- Hallam, A., *Great Geologic Controversies*, Oxford University Press, New York, 1989.
- Kuhn, T., *A estrutura das revoluções científicas* (3ª ed.), Editora Perspectiva, São Paulo, 1992.
- Laudan, L., *Progress and Its Problems. Towards a Theory of Scientific Growth*, University of California Press, Berkeley, 1977.
- Marques, L., Construcción del Conocimiento científico. Algunos Ejemplos de Geociencias. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4, [1], 4-12, 1996.
- Praia, J., Epistemología e Historia de la Ciencia: Contribuciones a la Planificación Didáctica. La Deriva Continental. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4, [1], 30-37, 1996.
- Wegener, A., *The Origin of Continents and Oceans*, Dover Publications, New York, 1966.

Received 22-11- 2011/ Approved 29-11-2012



Journal of Science Education
Internacional and bilingual

www.accefyn.org.co/rec

Subscribe to the Journal of Science Education

The address of the JSE is: A.A. 241 241, Bogotá, Colombia

Phone/fax (57 1) 2708348

e-mail: oen85@yahoo.com

WEB page with the JSE Online: <http://www.accefyn.org.co/rec>