

LA HISTORIA DE LA GEOLOGÍA COMO HILO CONDUCTOR DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA: TECTÓNICA DE PLACAS

The History of Geology as connecting theme of a didactic unit: Plate Tectonics.

Cándido M. García Cruz (*)

RESUMEN:

Se realiza una reconstrucción racional de la Tectónica de Placas desde un punto de vista histórico, desarrollando para la Enseñanza Secundaria los aspectos esenciales de esta teoría, desde sus orígenes hasta su emergencia como paradigma científico. Se analiza no sólo qué es sino también cómo se ha elaborado.

ABSTRACT

From a historical point of view, a rational reconstruction of Plate Tectonics is realized; the essential characteristics of this theory, from the origins to its emergence as a scientific paradigm, are developed for the Secondary Education. Not only what is this paradigm, but also how it was elaborated, is analysed.

Palabras clave: historia de la geología, epistemología, tectónica de placas, enseñanza secundaria.

Keywords: history of geology, epistemology, plate tectonics, secondary education.

INTRODUCCIÓN

Aunque desde el siglo XVI se tiene conciencia del carácter histórico del conocimiento científico, hecho éste que repercute y se manifiesta en la fundación y auge de numerosas instituciones como academias y sociedades, la implantación de la historia de la ciencia en los ámbitos académicos, según Navarro Brotons (1980), se ha visto doblemente dificultada, por un lado, para constituirse como disciplina independiente, y por otro, para ser admitida en los correspondientes programas escolares.

La situación actual, analizada recientemente por Matthews (1994), no ha cambiado de modo significativo en muchos países, entre ellos España. No hay sino que echar una simple ojeada a los diversos currículos para ver que las dificultades, incluso en plena reforma educativa, prevalecen: la historia de la ciencia no pasa de ser anecdótica; cuando mucho, repleta de *grandes hechos, grandes personajes, y grandes descubrimientos*. En algunas ocasiones se suele abordar la revolución científica que representaron los cambios astronómicos iniciados en el siglo XVI. Así, la propia enseñanza de la ciencia se convierte, con una visión además altamente positivista, en una mera sucesión/acumulación de hechos bien establecidos, que no dejan de convertirse en *dogmas* para los receptores de ese tipo de información. En conclusión: *Scientia consummata est* (García Cruz, 1991).

Sin embargo, hace décadas que ya Bachelard (1938) venía señalando la importancia que tiene ofrecer una visión de la ciencia mediante su desarrollo histórico. De esta forma se irían venciendo lo que él llamó *obstáculos epistemológicos*, que con-

dicionan la construcción del conocimiento científico, con las correspondientes *rupturas* con los procesos meramente intuitivos y de sentido común.

De esta relevancia de la historia de la ciencia destacaremos sólo dos aspectos que consideramos fundamentales en el terreno didáctico: por un lado, su contribución en cuanto a la *superación de obstáculos epistemológicos*, y por otro, en lo referente a su utilidad para la *definición de contenidos* (Gagliardi, 1988; Gagliardi y Giordan, 1986; Pedrinaci, 1994). Ambos aspectos convergen en los llamados *conceptos estructurantes* (Gagliardi, 1986), que, en última instancia, son los que nos permiten ir construyendo el conocimiento científico de una forma adecuada, tanto por su coherencia como por su permanencia en el tiempo. La importancia de estos aspectos epistemológicos, aunque se han vertido abundantes críticas y no menos dudas al respecto, reside en que, en cierta medida, se siguen considerando los planteamientos piagetianos en el sentido de que la conceptualización intuitiva tiende a reproducir las etapas del desarrollo histórico del conocimiento científico, que viene a coincidir con la idea *kuhniana* de la recapitulación por parte de la ontogénesis cognitiva de la filogénesis científica.

La aceptación de los planteamientos anteriores no está generalizada en los medios educativos. Quizás porque, entre otros motivos, se suele pensar que la aplicación de la historia de la ciencia en el aula implicaría un aumento de los contenidos. En realidad, sería utilizar la historia como estrategia didáctica, y darle, por lo tanto, un *enfoque distinto* a esos mismos contenidos, que, por otro lado, la propia historia de la ciencia ayudaría a definir.

(*) Seminario de Ciencias Naturales, I.B. Mencey Acaymo, c/ Poeta Aristides Hernández Mora s/n, 38500 Güítmar, Tenerife.

Se trata, pues, de dotar a la ciencia de una característica inherente a ella y que ha sido generalmente obviada en todos los niveles educativos: su naturaleza *dinámica*, frente a la visión estática o acumulativa, de hechos consumados, como sucede actualmente.

Es probable que el impulso definitivo para la inclusión de la historia de la ciencia en los currículos deba proceder del esfuerzo de entidades que aglutinan a diferentes colectivos de enseñantes, como la AEPECT y otras asociaciones, tal como en cierta medida sucede, no sin grandes dificultades, por ejemplo en el Reino Unido con la *Association for Science Education* (Manuel, 1982).

DESARROLLO DE LA UNIDAD DIDÁCTICA "TECTÓNICA DE PLACAS".

La elección de la Tectónica de Placas se justifica en tanto que ésta se ha configurado como el paradigma científico sobre el que se fundamenta la gran revolución que estaba pendiente en las Ciencias de la Tierra, constituyendo, como tal paradigma, el eje vertebral de éstas. Su modernidad (apenas unas décadas), y el hecho de que su antecedente más inmediato, la deriva continental, surge a principios de este siglo (aunque sus precursores se remontan hasta el siglo XVI), nos permite acceder con relativa facilidad a documentos originales relevantes, así como a estudios históricos, que podemos utilizar como material didáctico. Además, desde un punto de vista multidisciplinar, numerosos procesos implicados en la Tectónica de Placas podrían extrapolarse a otros planetas del sistema solar, o abordarse conjuntamente con la evolución biológica, dentro de la Astronomía y de la Biología, respectivamente.

Las aportaciones didácticas son más bien escasas: IBM (1990) ha elaborado diversas actividades sencillas en relación tanto a la deriva como a la tectónica; el ciclo de Wilson ha sido aplicado a la enseñanza de las ciencias de la tierra (Domingo y Soriano, 1993), habiéndose diseñado un taller práctico (Leite *et al.*, 1993), así como modelos sencillos, por un lado, sobre el funcionamiento de la tectónica de placas (Zealand, 1993), y por otro, de simulación geomagnética (García Cruz, 1994); López Hernández *et al.* (1994) han elaborado un conjunto de actividades interesantes, aunque con un enfoque inductivista, alejado de los planteamientos de Wegener y con poco transfondo histórico; también se ha analizado la tectónica de placas en relación con la evolución biológica (Sequeiros *et al.*, 1995).

El presente trabajo está basado en otros anteriores (García Cruz, 1992, 1993). Sólo en su forma más preliminar ha sido evaluado, tras ser aplicado durante algunos años en alumnos del Curso de Orientación Universitaria, así como del Bachillerato Unificado y Polivalente (3^{er} curso y, parcialmente, en 1^{er}). Aunque dicha evaluación, en general, ha sido siempre positiva, hemos efectuado una serie de modificaciones, en especial sobre la metodología científica empleada tanto por Wegener y sus seguidores, como por sus detractores.

Objetivos.

- 1.- Entender de qué forma avanza la ciencia y conocer la metodología hipotético-deductiva.
- 2.- Conocer cómo han ido cambiando las ideas científicas sobre la Tierra.
- 3.- Comprender y expresar mensajes científicos con rigor y claridad.
- 4.- Capacitar al alumnado para acceder al conocimiento mediante su familiarización con el manejo de bibliografía especializada.
- 5.- Conocer que la ciencia utiliza muchas veces modelos de simulación.
- 6.- Adoptar actitudes críticas ante la información recibida y contrastarla.
- 7.- Crear un ambiente de trabajo donde se respeten las ideas contrarias.
- 8.- Valorar la importancia del trabajo cooperativo.
- 9.- Aplicar estrategias coherentes con la ciencia para resolver problemas.

Conceptos estructurantes.

La Historia de las Ciencias de la Tierra nos enseña que, desde el punto de vista de la Tectónica de Placas (aunque su alcance real va mucho más allá), "la edad de la tierra", "la mutabilidad geológica", y la idea de que los mayores (y también los menores) caracteres terrestres tuvieron un "origen", visto éste con la perspectiva catastrofista o uniformitarista, así como el "movilismo geológico", no sólo constituyen cuatro de los conceptos estructurantes más importantes, sino que, además, están íntimamente relacionados entre sí: sin poner en duda los presupuestos bíblico-religiosos, y, dentro de esa duda fundamental, sin una dimensión temporal lo suficientemente amplia, fue prácticamente imposible asimilar no sólo el carácter cambiante del planeta, sino también las características de esa mutabilidad para llegar a explicar, de una forma coherente, fenómenos tales como el origen de las cordilleras, o la distribución y el origen de los océanos y de los continentes. Estas explicaciones, partiendo de una visión catastrofista, se han ido incorporando a partir del siglo XIX a la corriente actualista, para desembocar a través del movilismo geológico en el modelo geotectónico actual. Estos conceptos concuerdan en gran medida con los obstáculos epistemológicos analizados por Pedrinaci (1993).

Consideraciones didácticas.

Como puede verse mediante la red conceptual (Fig. 1), lo que se propone es abordar la historia normativa de la Tectónica Global, es decir, aquellos aspectos geológicos que convergen hacia ella o se derivan directamente de la misma. No sólo se pretende ver *qué* es la Tectónica de Placas, sino al mismo tiempo se insiste en *cómo* se ha ido construyendo esta teoría, haciendo de la misma el eje vertebral de todas las Ciencias de la Tierra, aunque los *Procesos Externos*, incluidos en la red, no se desarrollan en la presente unidad.

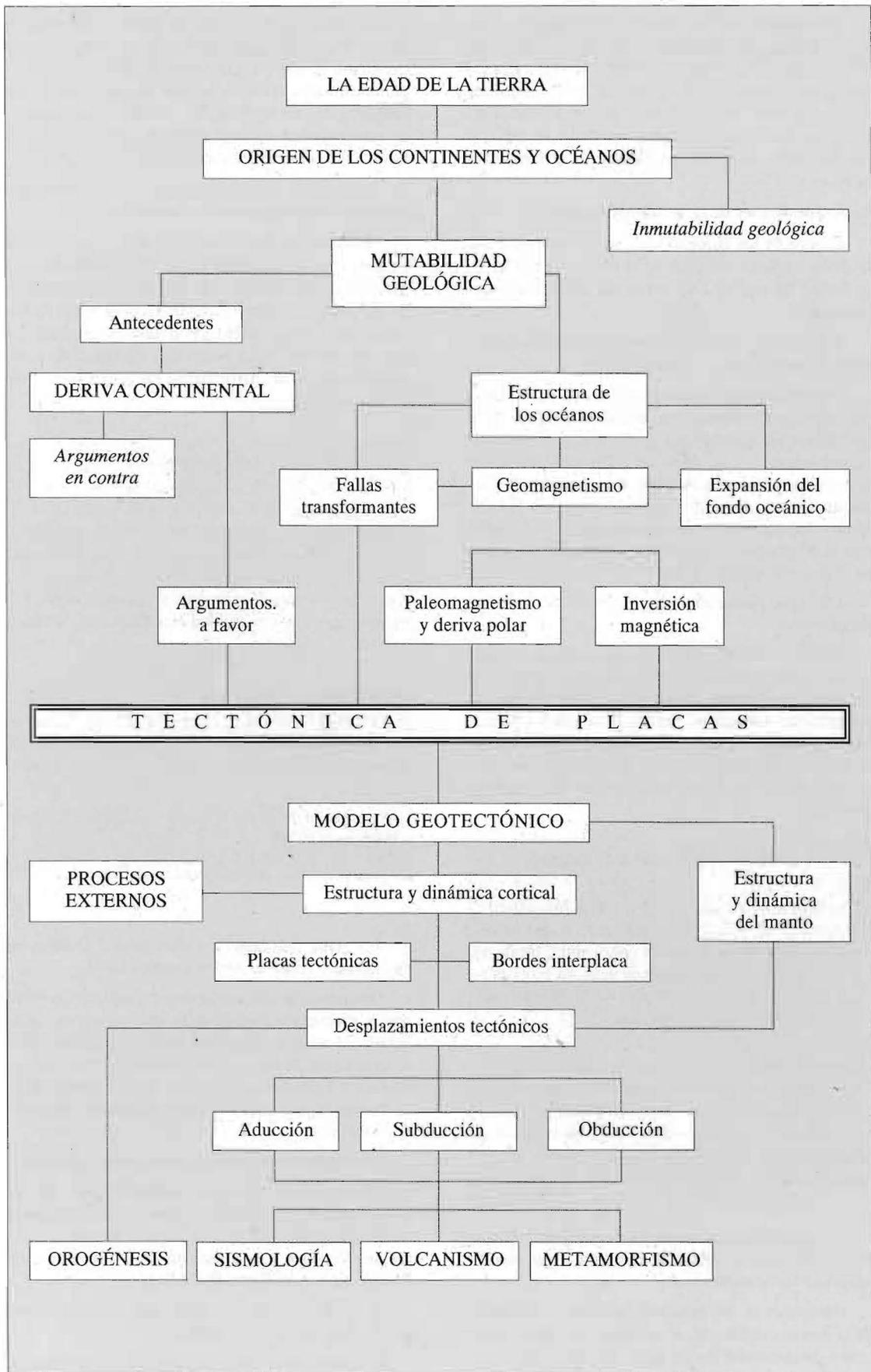


Fig. 1.- Red conceptual

Establecida la dimensión temporal necesaria como concepto estructurante esencial (García Cruz, 1993; Pedrinaci y Berjillos, 1994), se realiza la reconstrucción racional de la historia, en el sentido de Lakatos (1971). Ésta se lleva a cabo mediante la resolución de una serie de problemas que se van a ir planteando a modo de cuestiones, en tres grandes bloques.

1.- Antecedentes de la tectónica de placas.

Dentro de los antecedentes, se deben considerar tanto las visiones estáticas de la tierra, especialmente dentro del siglo XIX, como las movilizadas y sus precursores.

1.1 ¿Qué visión se tenía de los mayores caracteres terrestres antes del siglo XX?

Observación: Se parte de la situación anterior al paradigma geotectónico realizando un análisis de la inmutabilidad-mutabilidad geológica, centrándonos especialmente en las ideas de Dana y Suess, sobre la permanencia de los mayores caracteres de la Tierra, analizando al mismo tiempo la teoría de la isostasia y los puentes intercontinentales y su relación con la biogeografía, ya que éstas ideas fueron clave en la discusión sobre la deriva continental.

1.2 ¿Qué planteaban las hipótesis de Taylor y Wegener?

Observación: Se consideran brevemente las ideas movilizadas esenciales. Antes de estudiar las causas y los argumentos, se analizan los precursores de las mismas: Orthelius, Snider-Pellegrini, Fischer, Humboldt, etc. (Romm, 1994; Rupke, 1970). De esta forma se contribuye a situar dichas hipótesis dentro del marco de la transformación de las ideas científicas.

ACTIVIDAD 1: Contrastación de hipótesis.

Descripción: Siguiendo el modelo hipotético-deductivo de Wegener, y tomando como referencia su teoría de la deriva continental, frente a un *mapa mundi*, los alumnos deberán proponer una serie de pruebas en favor de la misma, así como dar una explicación causal.

Observación: Es difícil que los alumnos lleguen a los mismos argumentos que Wegener, pero si se les ayuda, dándoles algunas pistas precisas, por ejemplo, sobre distribución biogeográfica o naturaleza de materiales, llegan a aportar ideas interesantes.

1.3 ¿Qué argumentos aportaron Taylor y Wegener en favor de la deriva continental y qué causas adujeron como explicación?

Observación: Se pretende analizar la hipótesis de la deriva continental en sus aspectos más importantes, sintetizando las ideas básicas tanto argumentales como causales. No hay que desdeñar los errores así como las contradicciones, por ejemplo, los datos sobre la movilidad de Groenlandia, o la acep-

tación, según le convenía, de los modelos Airy o Pratt sobre la isostasia, en el caso de Wegener, o la oposición de Taylor a la hipótesis de la acreción de planetesimales como origen de la luna, porque no encajaba con su explicación causal. Estas consideraciones ayudan a comprender cómo se produce el avance del conocimiento científico.

1.4 ¿Cómo fue la reacción en la comunidad científica frente a la deriva continental?

Observación: La nueva hipótesis no fue recibida de igual manera en todos los ámbitos científicos. El mejor foro de discusión lo constituyó el Simposio de la Asociación Americana de Geólogos del Petróleo (Nueva York, 1926). Se tratará de analizar las aportaciones de dicho Simposio, así como de otros científicos que no participaron en él (Holmes, Jeffreys, Du Toit).

ACTIVIDAD 2: Análisis de textos.

Descripción: Mediante la lectura de textos seleccionados se elaborarán ficheros y murales, por un lado sobre los argumentos aportados por Taylor y Wegener, así como las causas explicativas de la deriva continental, y por otro, sobre la respuesta de la comunidad científica ante la nueva teoría.

Material:

-*Estudios históricos:* Anguita (1982), García Cruz (1996), Hallam (1973, 1975, 1983), Le Grand (1988), Tarling y Tarling (1971) y Wood (1985).

-*Fuentes primarias:* Van der Gracht (1928) y Wegener (1929)

1.5 ¿Qué trasfondo epistemológico se observa en el debate sobre la deriva continental?

Observación: Es conveniente analizar las diferentes visiones metodológicas que subyacen en el debate: el método hipotético-deductivo de Wegener y, en general, de los geólogos europeos, frente al inductivismo positivista de los norteamericanos. Esto se tradujo en una interpretación totalmente diferente de la realidad.

2.- Geomagnetismo y estructura de los océanos.

Observación: La deriva continental no cayó ni mucho menos en el *olvido* como sugieren algunos autores. Este bloque sirve de conexión entre la teoría de Wegener y la emersión de la Tectónica de Placas como paradigma geológico.

2.1 ¿Qué cambios se observan en el funcionamiento del campo geomagnético?

Observación: Desde los años 50, especialmente por los grupos de Runcorn y Blackett en Gran Bretaña, comenzaron a desarrollarse métodos paleomagnéticos que condujeron al establecimiento de

ACTIVIDAD 3: Reproducción heurística del debate.

Descripción: A partir de los ficheros elaborados en actividades precedentes, los alumnos, en pequeños grupos, establecerán un debate para reproducir el de la deriva continental.

Comentario: Con este debate se pretende una puesta en común de las ideas elaboradas por los alumnos, permitiéndoles discutir dichas ideas dentro de un marco de respeto y libertad, asumiendo diferentes actitudes. Es interesante que los alumnos aporten sus propias ideas, tanto argumentales como causales o metodológicas, independientemente de que algunas de ellas no se expresaran en la realidad.

curvas de deriva polar, en relación con la movilidad continental, así como al descubrimiento de las inversiones geomagnéticas. Es conveniente que el alumnado tenga claros estos conceptos que fueron transcendentales para el desarrollo de la tectónica global.

ACTIVIDAD 4: Modelo de simulación de la deriva polar e inversión magnética.

Descripción: Mediante brújulas e imanes de barra se realiza un modelo de procesos geomagnéticos.

Observación: Esta actividad está desarrollada en García Cruz (1994).

2.2 Sobre la naturaleza y estructura del fondo oceánico ¿qué plantea la hipótesis de Hess-Dietz?

Observación: Las campañas oceanográficas iniciadas por el *HMS Challenger* a finales del siglo pasado culminaron después de la Segunda Guerra Mundial con un conocimiento exhaustivo del relieve submarino: dorsales mesoocéanicas, fosas abisales, etc. Esta estructura, y sus características geofísicas, condujeron a la hipótesis de la *expansión del fondo oceánico* de Hess-Dietz a principios de los años 60. Van der Gracht y Holmes (con mayor rigor) habían planteado una idea parecida, en 1928 y 1931, respectivamente, siendo por lo tanto precursores de dicha hipótesis.

2.3 ¿Qué relación tuvo el geomagnetismo con la aceptación de la hipótesis de la expansión del fondo oceánico?

Observación: El descubrimiento de anomalías geomagnéticas en los fondos oceánicos, especialmente en las dorsales, llevaron a mediados de los años 60 a Vine y Matthews, e independientemente a Morley, a una explicación coherente de la hipótesis de Hess-Dietz.

2.4 ¿En qué consisten las fallas transformantes y qué relación tienen con la expansión del fondo oceánico?

Observación: Tomando como referencia la hipótesis de Hess-Dietz, Wilson propuso en 1965 la idea de *falla transformante* como base de dicha expansión, tras los estudios en la Dorsal de Juan de Fuca. Las aportaciones de Sykes, en Sismología, llegaron, no sólo a confirmarla, sino a medir la tasa de expansión oceánica a finales de los años 60.

ACTIVIDAD 5: Estudio de los fondos oceánicos.

Descripción: Mediante un mapa de los fondos oceánicos, los alumnos deben identificar las características más importantes de los mismos, logrando así una visión precisa de las dorsales oceánicas, fosas abisales y fallas transformantes.

Material:

-Mapa de fondos oceánicos.

-Texto: Le Pichon y Pautot (1978).

-Cuestionario:

1. ¿Qué longitud aproximada tiene la gran dorsal oceánica considerada como una unidad?
2. ¿Por qué no existen fosas abisales en el centro del Océano Atlántico?
3. ¿Qué significado tienen las fosas que bordean el Océano Pacífico?
4. ¿Cómo explicas la existencia de numerosas fallas transformantes en las dorsales?
5. Busca datos de velocidades de expansión en el Océano Atlántico, y determina la edad de tres zonas concretas, por ejemplo: Atlántico norte en la zona de Canarias, Atlántico medio en la zona del Cabo San Roque, y Atlántico sur en Tristan da Cunha.

3.- Modelo geotectónico.

En la segunda mitad de los años 60 se desarrolla el nuevo modelo geotectónico. La Tierra queda constituida como un mosaico de placas de acuerdo con las ideas de Morgan y McKenzie-Parcker.

3.1 ¿Qué relación existe entre la distribución de zonas volcánicas y sísmicas?

Observación: Aunque ya Humboldt, a principios del siglo XIX, había planteado esta relación, es en el marco de la tectónica global donde adquiere todo su significado.

3.2 ¿En qué consiste el modelo de placas tectónicas y cómo funciona?

Observación: Se analizarán los modelos de

ACTIVIDAD 6: Análisis de la distribución geográfica de volcanes y terremotos.

Descripción: Sobre mapas mudos los alumnos deben localizar tanto las zonas volcánicas como sísmicas, para llegar a establecer su coincidencia, e intentar dar una explicación.

Material:

-Datos sobre zonas volcánicas y sísmicas y mapas mudos.

-Cuestionario:

1. ¿Cómo podrías explicar el Cinturón de Fuego del Océano Pacífico?
2. ¿Por qué los terremotos en la dorsal atlántica no son tan intensos como en Sudamérica?

Morgan y McKenzie-Parker sobre las placas así como su funcionamiento, es decir, los tipos de bordes y movimientos relativos entre ellos, así como sus causas. De esta forma se llega a dar una explicación del significado de las dorsales oceánicas, fosas abisales y fallas transformantes, en el marco de la tectónica global.

ACTIVIDAD 7: Análisis de material audiovisual.

Descripción: Se analizan dos documentales sobre tectónica global y su funcionamiento.

Material:

-Serie "Haroun Tazieff cuenta 'su' tierra": capítulo 1 (minutos 39-49) y 2 (minutos 1-26).

-Cuestionario:

1. ¿Qué representa la cordillera mesoocéánica?
2. En el volcán Erta Ale existe un lago de lava ¿Qué semejanza deduces del movimiento de esta lava y los movimientos de las placas?
3. ¿Qué importancia tectónica tiene el Triángulo de Afar?
4. Intenta describir el paisaje en el Triángulo de Afar. ¿Con qué lo relacionas por su estructura

ACTIVIDAD 8: Simulación del funcionamiento de las placas tectónicas.

Descripción: Mediante la construcción de maquetas sencillas, se establece un modelo del funcionamiento de las placas tectónicas.

Observación: Esta actividad está desarrollada en Zealand (1993).

3.3 ¿Qué plantea el ciclo de Wilson, y que significado tiene dentro del funcionamiento general de la tectónica de placas?

Observación: Aunque la idea de apertura y cierre del Océano Atlántico había sido planteada con anterioridad por Van der Gracht (1928), en 1966, Wilson la desarrolló dentro del mecanismo general de las placas tectónicas. En la actualidad, con todas sus variantes, el ciclo de Wilson constituye un argumento explicativo de numerosos fenómenos geológicos.

3.4 ¿Por qué no se rechaza la tectónica de placas como ocurrió con la deriva, si, al igual que en ésta, la explicación causal es muy discutida?

Observación: La tectónica de placas no deja de ser una teoría cinemática que sirve de marco para todos los procesos y fenómenos geológicos. A diferencia de la deriva continental, nunca se ha debatido, a pesar de algunas críticas al respecto, su imposibilidad. Por otro lado, la tectónica global tiene en el paleomagnetismo un apoyo del que carecía la deriva.

ACTIVIDAD 9: Análisis de textos.

Descripción: Como recapitulación final de la unidad didáctica se propone la lectura de textos seleccionados para lograr una visión global de la tectónica de placas, no sólo de su desarrollo histórico, sino considerando también su futuro.

Material (textos):

Anguita (1982), Bullard (1975), Frankel (1988), Le Pichon (1984), Moffat (1982).

Observación final: La presente unidad dista mucho de ser definitiva. Antes bien, este diseño no deja de ser una propuesta didáctica. Su estructura y evaluación futuras también dependerán de aquéllos que contribuyan a llevarla a la práctica.

BIBLIOGRAFÍA

Anguita, F. (1982). Una comparación entre Charles Darwin y Alfred Wegener, sus actitudes científicas y la aceptación de sus teorías. *IIº Simposio sobre Enseñanza de la Geología*, Gijón, Septiembre, pp. 274-287.

Anguita, F. (1983). Epílogo. La teoría de Alfred Wegener y la nueva Geología. *En: A. Wegener (1929)*, pp. 195-217.

Bachelard, G. (1938). *La formación del espíritu científico*. Siglo XXI Editores, México (trad. española 1948, 14ª ed. 1987).

Bullard, E.C. (1975). The emergence of plate tectonics: a personal view. *Annu. Rev. Earth & Planet. Sci.* 3, 1-30.

Domingo, M. y Soriano, J.M. (1993). Aplicación del Ciclo de Wilson a la enseñanza de las ciencias de la tierra. *Enseñanza de las Ciencias* (nº extra, IV Congreso Internacional), pp. 163-164.

Frankel, H. (1988). From continental drift to plate tectonics. *Nature* 335, 127-130.

Gagliardi, R. (1986). Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias* 4 (1), 30-35.

- Gagliardi, R. (1988). Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 6 (3), 291-295.
- Gagliardi, R. y Giordan, A. (1986). La historia de las Ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias* 4 (2), 253-258.
- García Cruz, C. M. (1991). La historia de la ciencia en la futura enseñanza secundaria. Reflexiones en torno al Diseño Curricular Base. *Simposio Agustín de Betancourt-IV Simposio de Enseñanza e Historia de la Ciencia*, Puerto de la Cruz (Tenerife), 2-5 Abril. Publicado en *Enseñanza de las Ciencias* 10 (1), 115-118 (1992).
- García Cruz, C.M. (1992). Tectónica de Placas: una propuesta didáctica desde la Historia de la Ciencia. *VI Congreso de la Asociación Canaria para la Enseñanza de las Ciencias "Viera y Clavijo"*, La Laguna, 21-26 Septiembre.
- García Cruz, C.M. (1993). La edad de la Tierra: una introducción a la Geología desde la Historia de la Ciencia. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 1 (2), 109-112.
- García Cruz, C.M. (1994). Simulación del proceso de deriva polar e inversión magnética. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 2 (1), 271-272.
- García Cruz, C.M. (1996). El Simposio de la Asociación Americana de Geólogos del Petróleo (Nueva York, 1926) y la deriva continental. *Llull* 19 (36) (en prensa).
- Hallam, A. (1973). *De la deriva de los continentes a la tectónica de placas*. Ed. Labor, Barcelona (trad. española 1976).
- Hallam, A. (1975). Alfred Wegener and the hypothesis of continental drift. *Sci. Am.* 232 (2), 88-97.
- Hallam, A. (1983). *Grandes controversias geológicas*. Ed. Labor, Barcelona (trad. española 1985).
- IBM (ed.) (1990). *La máquina viviente*. Serie "Planeta Tierra", episodio 1. Materiales educativos IBM (manual del profesor y folletos del estudiante).
- Kuhn, T. S. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica, México (trad. española 1971).
- Lakatos, I. (1971). *La historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Ed. Técnos, Madrid, 2ª ed. (trad. española 1972).
- Le Grand, H.E. (1988). *Drifting continents and shifting theories*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Leite, A., Futuro, A., Silva, R., Marques, L., Praia, J. y Trindade, V. (1994). Tectónica global e trabalho práctico: Contribuição para um sentido inovador do ensino. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 2 (2-3), 354-360.
- Le Pichon, X. (1984). La naissance de la tectonique des plaques. *La Recherche* 153, 414-423. (Incomprensiblemente, este artículo no apareció en la versión española. ¡No es la única vez que *Mundo Científico* ha marginado a las Ciencias de la Tierra!).
- Le Pichon, X. y Pautot, G. (1978). *El fondo de los océanos*. Oikos-Tau Eds., Barcelona (trad. esp. 1978).
- López Hernández, M., Rodríguez Palmero, M^oL., Macau Fábrega, M^oD., Afonso López, R. y Bazo González, C. (1994). *Cambios en la litosfera. Cambios lentos: tectónica de placas*. Materiales Curriculares Innova, Consejería de Educación, Cultura y Deportes, Gobierno de Canarias, S/C de Tenerife.
- Manuel, D.E. (1982). Reflections on the role of History and Philosophy of Science in school science education. *School Sci. Rev.* 62 (221), 769-771.
- Matthews, M.R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias* 12 (2), 255-277.
- Moffat, I. (1982). Paradigmas en geología: del catastrofismo a la tectónica de placas. *Geo-Crítica*, nº 42.
- Navarro Brotons, V. (1980). La historia de las ciencias y la enseñanza. *Simposio sobre Historia de la Ciencia y Enseñanza*, S.E.H.C., Valencia, 18-19 Abril. Publicado en *Enseñanza de las Ciencias* 1 (1), 50-53 (1983).
- Pedrinaci, E. (1993). Utilidad didáctica de la historia de la geología. *Aspectos didácticos de las Ciencias Naturales (Geología)* 5. I.C.E. Universidad de Zaragoza. En: *Educación Abierta* 105, 111-145.
- Pedrinaci, E. (1994). La Historia de la Geología como herramienta didáctica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 2 (2-3), 332-339.
- Pedrinaci, E. y Berjillos, P. (1994). El concepto de tiempo geológico: orientaciones para su tratamiento en la Educación Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 2 (1), 240-251.
- Romm, J. (1994). A new forerunner for continental drift. *Nature* 367, 407-408.
- Rupke, N. A. (1970). Continental drift before 1900. *Nature* 227, 349-350.
- Sequeiros, L., García de la Torre, E. y Pedrinaci Martínez, E. (1995). Tectónica de placas y evolución biológica: construcción de un paradigma e implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 3 (1), 14-22.
- Tarling, D. H. y Tarling, M. P. (1971). *Derivas continentales*. Ed. Alhambra, Madrid (trad. española 1975).
- Van der Gracht, W.A.J.M. van W. (ed.) (1928). *Theory of continental drift. A symposium on the origin and movement of land masses both inter-continental and intra-continental, as proposed by Alfred Wegener* (Nueva York, 1926). American Association of Petroleum Geologists, Chicago University Press, Londres.
- Wegener, A. (1929). *El origen de los continentes y océanos*. Ed. Pirámide, Madrid (trad. española 1983).
- Wood, R.M. (1985). *The dark side of the earth*. G. Allen & Unwin Ltd., Londres. Zealand, P.D. (1993). A plate tectonic model. *School Sci. Rev.* 75 (271), 93-94.

ANEXO: material complementario

- Belousov, V.V. (1970). Against the hypothesis of ocean floor spreading. *Tectonophysics* 9, 489-511.
- Belousov, V.V. (1979). Why do I not accept plate tectonics? *EOS Trans., Am. Geophys. Union* 60 (17), 207-211.
- Chase, C.G., Herron, E.M. y Normark, W.R. (1975). Plate tectonics: commotion in the ocean and continental consequences. *Annu. Rev. Earth & Planet. Sci.* 3, 271-297.
- Cox, A. (1969). Geomagnetic reversals. *Science* 163, 237-245.
- Cox, A. y Hart, R. B. (1986). *Plate tectonics: how it works*. Blackwell Sci.Publ., Oxford.
- Dercourt, J. (1973). Dérive des continents. Expansion océanique. Conséquences géologiques. *Rev. Quest. Sci.* 144 (1), 61-92.
- Dietz, R.S. (1961). Ocean evolution by sea floor spreading. *Nature* 190, 854-857.
- Ewin, J. y Ewin, M. (1967). Sediments distribution on the mid-ocean ridges with respect to spreading of the sea floor. *Science* 156, 1590-1592.
- Gregory, J.W. (1925). Continental drift. *Nature* 115, 255-257.
- Hess, H. H. (1960). Evolution, ocean basins. Preprint, 38 pp.
- Hess, H. H. (1962). History of ocean basins. En: A. E. J. Engel, H. L. James y B. F. Leonard (eds.): *Petrologic Studies: A Volume in Honor of A.F. Buddington*, Geological Society of America, pp. 599-620.
- Holmes, A. (1931). Radioactivity and earth movements. *Trans. Geol. Soc. Glasgow* 18 (2), 559-606.
- Holmes, A. (1953). The South Atlantic: land bridges or continental drift? *Nature* 171, 669-671.
- Jeffreys, H. (1923). Hypothesis of continental drift. *Nature* 111, 495-496.
- Jeffreys, H. (1970). Imperfections of elasticity and continental drift. *Nature* 225, 1007-1008.

- Le Pichon, X. (1968). Sea-floor spreading and continental drift. *J. Geophys. Res.* 72 (12), 3661-3695.
- McKenzie, D.P. y Parker, R.L. (1967). The north Pacific: An example of tectonics on a sphere. *Nature* 216, 1276-1280.
- Meyerhoff, A.A. (1968). Arthur Holmes: Originator of spreading ocean floor hypothesis. *J. Geophys. Res.* 73 (20), 6563-6565.
- Morgan, W. J. (1968). Rises, trenches, great faults, and crustal blocks. *J. Geophys. Res.* 73 (6), 1959-1982.
- Runcorn, S.K. (1955). The permanent magnetization of rocks. *Endeavour* 14 (55), 152-159.
- Taylor, F.B. (1910). Bearing of the Tertiary Mountain Belt on the Origin of the Earth's Plan. *Bull. Geol. Soc. Am.* 21, 179-226.
- Valet, J.P. y Courtillot, V. (1992). Les inversions du champ magnétique terrestre. *La Recherche* 236: 1002-1013. [Trad. española: Las inversiones del campo magnético terrestre. *Mundo Científico* 12 (129), 938-951].
- Van der Voo, R. (1975). Paleomagnetism, continental drift and plate tectonics. *Rev. Geophys. & Space Phys.* 13 (3), 195-197.
- Vine, F. J. y Matthews, D. H. (1963). Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature* 199, 947-949.
- Wesson, P.S. (1970). The position against continental drift. *Q. J. R. astr. Soc.* 11, 312-340.
- Wilson, J.T. (1963). Hypothesis of Earth's behaviour. *Nature* 198, 925-929.
- Wilson, J. T. (1965). A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature* 207, 343-347.
- Wilson, J.T. (1966). Did the Atlantic close and then re-open? *Nature* 211, 676-681.
- Wilson, J.T. (1972) (coord.). *Deriva continental y tectónica de placas*. Selecciones de *Scientific American*. Ed. Blume, Madrid (trad. española 1974, 2ª ed. 1976).
- Wilson, J.T. y Burke, K. (1972). Two types of mountain building. *Nature* 239, 448-449.
- Wood, R.M. (1980). Geology versus dogma: the Russian rift. *New Scientist* 86, 234-237.
- Wright, W.B. (1923). The Wegener hypothesis. Discussion at the British Association. *Nature* 111, 30-31.
- Yoder, H.S. jr. (1971). Petrologic implications of plate tectonics. *Science* 173, 464-466. ■