

¿CICLOS GEOLÓGICOS? APROXIMACIÓN A LA GEOLOGÍA EVOLUTIVA

Geological Cycles? An approach to evolutionary geology

Cándido Manuel García Cruz*

RESUMEN

Se analiza la noción de ciclo geológico como concepto unificador en el marco de la evolución de los materiales terrestres. Esta idea, muy alejada de los planteamientos que se hicieron a lo largo de la historia del pensamiento, ha desembocado en el Ciclo Tectónico de las Rocas como una de las claves de la geología evolutiva y como herramienta didáctica útil.

ABSTRACT

The concept of geological cycle is analysed as a unifying concept into the frame of the earth materials evolution. This idea, being too far from the approaches which were done over history of human thought, has led into the Tectonic Rock Cycle as one key of evolutionary geology and also as a useful didactic tool.

Palabras clave: ciclos geológicos, ciclo tectónico de las rocas, geología evolutiva, didáctica.

Keywords: geological cycles, tectonic rock cycle, evolutionary geology, didactics.

INTRODUCCIÓN

Desde los tiempos antiguos hasta prácticamente nuestros días se viene planteando la existencia de procesos cíclicos en la naturaleza. Son, sin duda, las Ciencias de la Tierra donde más arraigado se encuentra este concepto; tanto es así que, aunque los modelos de pensamiento geológico han ido evolucionando a lo largo de los siglos, la idea de ciclo, cuyos orígenes y desarrollo hemos estudiado con anterioridad (García Cruz, 2001b), se ha mantenido hasta llegar a convertirse prácticamente en una *tradición* en las Geociencias.

Junto al propiamente llamado ciclo geológico, nos vamos a encontrar en la literatura otros términos, en numerosas ocasiones sinónimos algunos incluso ya obsoletos, como *ciclo* del agua (hidrológico), atmosférico, geodinámico, sedimentario, fluvial, árido, marino, de Davis (erosivo, de erosión normal, fisiográfico, geográfico, geomorfológico), geoquímico, del metamorfismo, orogénico (geostrófico, geosinclinal-orógeno), magmático, biogeoquímico (mineral y orgánico, de nutrientes), petrológico (litológico, petrogenético, de las rocas), tectónico (teoría de los ciclos), de Wilson, del supercontinente...

A pesar de esta "sobreabundancia", sólo en contadas ocasiones ha recibido una mínima atención didáctica (Bach y Brusi, 1988; Bach *et al.*, 1988; Dove, 1997; Eves y Davis, 1988; Fichter, 1996; García Cruz, 1990; Lillo, 1993; Melero Vara, 1984; Pedrinaci, 1987; Ramos *et al.*, 2001; Sequeiros *et al.*, 1997; Singh y Bushee, 1977; Stofflet, 1994), y además, cuando se aborda este concepto, suele ha-

cerse en un marco meramente *descriptivo*, donde la crítica está por lo general ausente.

En este artículo discutiremos algunos aspectos epistemológicos en torno al ciclo geológico que deberían tenerse siempre en cuenta dentro de una concepción evolutiva de la materia. Analizaremos posteriormente el Ciclo Tectónico de las Rocas como ejemplificación general de todos los términos citados con anterioridad. Este será valorado positivamente como una *herramienta útil* para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra en un contexto evolutivo.

CONSIDERACIONES EPISTEMOLÓGICAS

Aspectos críticos

Puesto que se insistirá en ello más adelante en los aspectos evolutivos, sería redundante exponer toda una relación de las críticas que se han vertido, especialmente en las últimas décadas, y no dudamos que con una cierta razón, en contra del concepto genérico de *ciclo* aplicado a distintos campos de las Ciencias de la Tierra y con diferentes enfoques. Algunas de estas críticas se pueden encontrar en Águeda *et al.* (1977), Anguita (1986, 1988), Anguita y Moreno (1991), Chorley (1965), Chorley *et al.* (1973); Flemal (1971), Higgins (1975), Judson (1960), Judson y Richardson (1995), y Melero Vara (1984).

Aquí señalaremos, en principio, dos de los puntos más relevantes, que afectan, por un lado, a su dimensión espacio-temporal, y, por otro, a su componente energética:

(*) Dpto. Ciencias de la Naturaleza, I.E.S. Mencey Acaymo, c/ Poeta Aristides Hernández Mora, s/n, 38500 Güímar, Tenerife. E-mail: cgarcruc@gobiernodecanarias.org. Miembro de INHIGEO (International Commission on the History of Geological Sciences).

1. En tanto que la Tierra es un planeta cambiante, el ciclo geológico representa bastante más que una mera, y por otro lado supuesta, *repetición periódica*, tanto en el espacio como en el tiempo, de diferentes acontecimientos y/o situaciones.

2. El ciclo geológico no ha sido *siempre* un proceso *uniforme*. En otras palabras: desde el punto de vista termodinámico, la tierra no sólo es un sistema abierto, sino que, además, la tasa de energía que fluye entre sus diferentes sistemas no ha sido siempre la misma a lo largo de su historia como planeta.

Estas dos características (*repetición* y *uniformidad*), en correspondencia con sendos modelos del uniformitarismo sustantivo lyelliano (*estado estacionario* y *gradualismo*), se concretaron dentro de la filosofía geológica moderna (Sequeiros, 1982), y más allá incluso del simple concepto de ciclo se han configurado como un importante obstáculo epistemológico, y constituyen la base más recurrente de la crítica neocatastrofista (García Cruz, 1999, 2000, 2001a). A pesar de todo, ambas ideas se suelen reiterar sin discusión alguna, y por lo tanto irreflexivamente, en el enfoque que le dan al ciclo geológico en muchos libros. Y más que una *limitación* a este concepto, creemos que es una *aproximación imprecisa*, tanto científica como didáctica. Profundizaremos en esto con el análisis crítico de los aspectos evolutivos que se desarrollará en el apartado siguiente.

Sin embargo, como veremos a través de un breve recorrido por distintos textos, hay que dejar constancia de que este concepto ha calado profundamente en el pensamiento geológico, y ha constituido, como hemos comentado, una pieza clave en su desarrollo y concreción.

Hacia finales del s. XIX por ejemplo, en un breve manual de geología elemental, Geikie (1884?, art. 162) escribía: “Una y otra vez nos enfrentamos con pruebas de que, de una forma u otra, la tierra y el mar a menudo han cambiado de lugar. Nos encontramos antiguos fondos marinos en las cimas de las montañas, y viejos bosques enterrados en forma de vetas de carbón en las entrañas de la tierra”. Más explícito aún fue Chamberlin (1928, pp. 65-66), que no dudaba en absoluto de la naturaleza cíclica de la historia natural: “El registro geológico es rítmico, con ciclos que siguen a otros ciclos... La historia se ha repetido de manera notable”. Solé Sabarís (1938), en una breve introducción a la geología, en la que por otro lado se realiza lo que podríamos calificar de “sólida reafirmación del organicismo”, sostenía que los cambios a los que está sujeta la tierra “...no se verifican al azar ni de manera casual; obedecen al ritmo impuesto por unas leyes permanentes, como permanente es la causa eficiente que las determina” (p. 37); en este sentido consideraba el ciclo de los fenómenos geológicos como el principio fundamental de la geología, según el cual “...los respectivos grupos de fenómenos que originan las fuerzas creadoras y las destructoras se suceden con orden y ritmo inalterables... Los ciclos se suceden de un modo incesante, y siem-

pre con los mismos rasgos esenciales. ...Y así, indefinidamente, en ciclos sucesivos, conforme al ritmo de las leyes impuestas por la Naturaleza, la superficie de la Tierra se transforma de continuo” (p. 37-38). También expresaba Cloos (1947), en su extraordinario *Diálogo con la tierra*, su firme adhesión al espíritu huttoniano: “...y de sus mares [la madre Tierra] ha hecho elevarse los continentes y apilarse las montañas, para luego arrojarlos de nuevo a los abismos” (p. 11), a la vez que consideraba que la belleza del paisaje residía, en parte, en el conocimiento “del ritmo de sus repeticiones” (p. 12). Ya en la segunda mitad del siglo XX, Birot (1958) declaraba que la génesis de las formas estructurales podía agruparse en tres tipos de evolución cíclica (*bicíclica*, *monocíclica* y *acíclica*), mientras que Termier y Termier (1958) planteaban la existencia de un *Pantociclo* o colección de ciclos. En cuanto al ciclo orogénico, para Brinkmann (1961, p. 319) era posible ordenar los acontecimientos geológicos mediante divisiones naturales puesto que se podía comprobar la repetición “de una determinada sucesión regular de fenómenos”. Asimismo, Holmes (1965, p. 182) contemplaba el concepto de ciclo, en referencia a Davis (1899, 1904), como “el más fecundo que se haya dado a la geomorfología”. King y Shumm (1980), en su contribución al desarrollo precisamente de la idea de ciclo geomorfológico, consideraban que éste regía la morfogénesis y se correspondía inicialmente con ciertos tipos climáticos. Por otro lado, Siever (1983, p. 40) planteó, con una visión bastante huttoniana, un aspecto interesante dentro de la evolución del planeta: “...existen geólogos especializados en buscar la evidencia de que la historia de la Tierra no es simplemente una sucesión aleatoria de fenómenos, sino la representación a largo plazo de los ciclos de una máquina imponente. Si la historia de la tierra es cíclica, ¿cada cuánto tiempo se repite un mismo proceso y cómo podemos rastrearlo?”. Volveremos sobre esta última cuestión más adelante e intentaremos darle respuesta.

Una exposición del ciclo geológico *sensu stricto* (Fig. 1) podríamos resumirla de la siguiente forma:

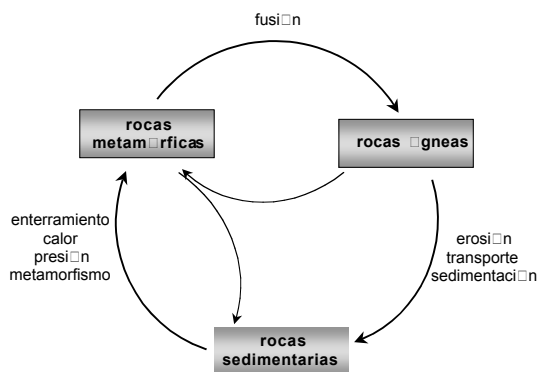


Fig. 1. Versión clásica del ciclo geológico.

Se trata de un ciclo de creación-destrucción en el que unos agentes crean y otros destruyen el paisaje mediante procesos dinámicos que actúan sobre la corteza terrestre. Por un lado, los agentes geodinámicos externos, regidos por principios químicos (capacidad de reacción, solubilidad...) y físicos (térmicos, mecánicos, gravitatorios...), atacan el relieve, provocan la fracturación y disgregación de los materiales, y así alteran y varían su composición mineralógica. Con posterioridad, o simultáneamente, son transportados y depositados en zonas deprimidas, las cuencas de sedimentación, donde se transformarán en rocas sedimentarias. Por otro lado, los agentes geodinámicos internos, bajo la influencia primordial de la presión litostática y de otras tensiones dirigidas, así como de la temperatura, inducen nuevos cambios estructurales y composicionales de los materiales, para dar lugar a rocas metamórficas, o a la formación de un magma por redistribución de elementos y creación de minerales distintos. Nuevos empujes tensionales provocarán el levantamiento de cordilleras, sobre las que, simultáneamente, actúan los agentes externos, con lo que se destruye una vez más el paisaje, y se cierra el ciclo.

Una descripción como ésta, o con muy pocas variantes, la podemos encontrar en diversos textos que han tenido, y algunos siguen teniendo, gran difusión y aceptación. Entre ellos, Longwell y Flint (1955, pp. 48-49) tratan el ciclo geológico de una forma muy simple y sin análisis crítico alguno, mientras que Meléndez y Meléndez (1978, pp. 102-113), realizan un análisis evolutivo muy superficial; Strahler (1988, pp. 17-19, 99-100), y otros autores más recientes, como Tarbuck y Lutgens (1999, pp. 22-25), aun en el marco en la Tectónica de Placas, carecen de dicho análisis.

Por otro lado, y especialmente en educación secundaria, suele obviarse la relación del ciclo geológico, o de alguno de los fenómenos implicados, con los procesos ambientales, aun cuando ésta ha sido bien considerada por diversos autores (entre otros, Emiliani, 1992; Fichter y Poché, 1979; Skinner y Porter, 1995; y White *et al.*, 1992; Zimbelman y Gregg, 2000).

Aspectos evolutivos

Desde su origen, la Tierra ha estado en continuo cambio por interacción de sus diferentes sistemas como ha resaltado Sequeiros (2002). Sin duda, una de las ideas más relevantes sobre este carácter evolutivo se la debemos al geólogo movi- lista Reginald A. Daly (1871-1957). Al analizar la evolución de la faz de la tierra en su obra *Our mobile earth* (1926), comparaba el océano con el dios griego Proteo en el sentido de *haber cambiado continuamente de forma*. Algunos de estos cambios los relacionaba con *distorsiones rítmicas de las profundidades*, y aunque no planteaba explícitamente una alternancia cíclica, sostenía que

la corteza terrestre se había movido “*en todas direcciones*”, por lo que también la parte sólida del planeta era “*proteica*” (p. 292). En otras palabras: “*Nuestra tierra sólida, aparentemente tan estable, inerte y acabada, cambia, es mutable y sigue evolucionando*” (p. 320).

Cualquier aproximación didáctica a los caracteres geológicos debería tener en consideración precisamente esta característica sobre la *mutabilidad*. Este enfoque nos va a permitir analizar el ciclo geológico en el contexto de la *historia evolutiva* de nuestro planeta. Destacaremos a este respecto los siguientes puntos:

1. El ciclo geológico está inmerso en la *flecha del tiempo*. Por lo tanto, no representa una repetición de las *mismas* características geológicas ni en el espacio ni en el tiempo. Esto se va a traducir en algo muy significativo: *jamás se retorna a las condiciones iniciales*. Si esto fuese así, al analizar el resultado final de cada ciclo estaríamos ante una Tierra en *estado estacionario*, y por lo tanto carente de evolución. En otras palabras, esto nos conduciría, como de hecho le ocurrió a Hutton a finales del s. XVIII, a una situación de “*sin vestigio de un principio ni perspectiva de un final*”.

2. La evolución de la Tierra no implica una *alternancia cíclica de mundos* que se constituyen, decaen y vuelven a reconstruirse. Se trata más bien de una redistribución y transformación de los componentes fundamentales de las rocas a lo largo de enormes períodos de tiempo, así como de los grandes caracteres geológicos (continentes, océanos, cordilleras, etc.).

3. Los procesos que constituyen el ciclo geológico no son meras etapas que se suceden en el tiempo. Por el contrario, son estadios *simultáneos*, algunos de los cuales pueden *no existir* o *perderser* en un determinado ciclo, cuya dimensión espacial y distribución temporal están en función de las condiciones materiales y energéticas de partida.

4. La dependencia energética del ciclo hace que éste sea *irreversible*, y que, además, se pueda *acelerar*, *ralentizar* o *detener*, toda vez que los aportes de energía aumenten, disminuyan, cesen o se agoten. Por lo tanto, no tiene por qué haber sido a lo largo de la historia geológica un fenómeno uniforme y gradual.

5. El *diseño geométrico* de los ciclos como *estructuras cerradas* significa tan sólo la posibilidad de *relación genética* entre dos situaciones consecutivas y no una repetición de estas últimas. El ciclo geológico en realidad no es un conjunto de procesos cerrados. Su continuidad en el tiempo, de hecho, implica una forma *abierto* con un desarrollo lineal, y por tanto una *direccionalidad*, en función del flujo energético, al que está supeditada, por otro lado y en gran medida, su *duración*.

6. Respecto de esta direccionalidad, los cambios que configuran un ciclo *sólo* se van a traducir en

unas nuevas condiciones materiales en el marco de la evolución de la materia. Pero en ellas *no* es posible vislumbrar *progreso* o *mejora*, y mucho menos una *finalidad* determinada.

7. Algunos de estos fenómenos que configuran el ciclo, como el vulcanismo por ejemplo, están en relación no sólo con procesos tectónicos, sino también con *fenómenos ambientales* de los que dependen íntimamente, y sobre los que habría que insistir de una forma más adecuada.

Una vez efectuadas estas consideraciones críticas, estamos en disposición de poder responder a los planteamientos de Siever mencionados con anterioridad. La primera parte de su pregunta, relativa a la *duración* de cada ciclo, no puede tener una respuesta adecuada; no porque la ciencia geológica actual no posea los conocimientos precisos y concretos para contestarla, sino porque tal pregunta resulta *improcedente*. La consideración de todos los aspectos apuntados anteriormente, en especial el carácter de simultaneidad y la dependencia energética de los procesos que conforman el ciclo geológico, hacen que tal cuestión carezca de sentido: existen marcos espaciales diferentes, con materiales diferentes, sobre los que actúan determinados procesos y fenómenos geológicos con duraciones diferentes... Y todos estos parámetros son imposibles de conjugar de una forma adecuada tal que nos permita una generalización temporal precisa. Por otro lado, podemos rastrear el ciclo geológico con la metodología propia *actual* de las Ciencias de la Tierra, a tra-

vés del *análisis del presente como clave del pasado*, pero sin perder de vista la coherencia del marco neocatastrofista.

EL CICLO TECTÓNICO DE LAS ROCAS

De la historia que nos cuentan las rocas (Pedrinaci, 1992, 1993) es posible deducir, entre otras cosas, que todos los materiales corticales se generan a partir de otros preexistentes (Gregor, 1992). Los componentes básicos de una roca determinada son transformados y redistribuidos conforme se modifican las condiciones bajo las que se formó, por lo que cambia y se convierte en otra distinta. Así, y de acuerdo con Fichter y Poché (1979), podemos resumir la evolución de los materiales corticales a través de una idea sencilla: *Ninguna roca es accidental*. Dicha evolución está ligada, pues, a la transformación de los grandes caracteres terrestres y supeditada a las características, por un lado, de cada régimen tectónico (definidas por el Ciclo de Wilson), y, por otro, a las imperantes en un ambiente dado en un contexto espacio-temporal concreto.

Además, sus emplazamientos, y los procesos o fenómenos geológicos con los que están vinculados estos cambios, tienen un marco de referencia claro, la Tectónica de Placas, fuera del cual actualmente es muy *difícil* hallar una explicación coherente para la evolución del planeta. La conjunción de materiales, procesos y regímenes (Tabla 1) en este marco evolutivo terrestre constituye el Ciclo Tectónico de las Rocas.

TABLA 1 COMPONENTES DEL CICLO TECTÓNICO DE LAS ROCAS			
Agente	Proceso	Régimen	Materiales
energía solar (condiciones ambientales) energía gravitatoria	erosión transporte sedimentación	cratón continental orógeno batolito	sedimentos líticos rocas sedimentarias rocas ígneas rocas metamórficas
		sistema de arco volcánico basamento continental	
presión temperatura	metamorfismo	orógeno de colisión sistema de arco volcánico falla transformante sistema de fosa zona de subducción dorsal oceánica	
		dorsal oceánica sistema de arco volcánico sistema de fosa zona de subducción zona de intraplaca	
	magmatismo		

de roca a partir de otra preexistente, y por otro, todas estas transformaciones con el marco tectónico en el que tienen lugar. Así, más que una *idea anacrónica* en el desarrollo de las geociencias, se trata de un *concepto unificador*, y, como tal, viene a representar un esquema *didácticamente útil* en todo proceso de *modelización crítica* sobre la evolución de la Tierra.

Hace ya unas cuantas décadas, en un excelente análisis del Ciclo Geográfico, Termier y Termier (1960, p. 6) expresaban que dicho ciclo “*permite exponer de una manera pedagógica y clara los diversos fenómenos relativos a la evolución de un cierto tipo de paisaje... Con todo rigor, el ciclo geográfico perfecto es una noción límite que prácticamente nunca ha tenido lugar. Pero esta noción, si se aplica con espíritu crítico, resulta válida y cómoda*”.

Creemos que es posible sostener esta misma afirmación respecto del Ciclo Geológico, y esto se hace especialmente más relevante en el Ciclo Tectónico de las Rocas. Su exclusión de los currículos, o, en su caso, obviando las consideraciones críticas que se han hecho, significaría desaprovechar un marco teórico que nos permite definir la Geología como la ciencia que estudia la *evolución de los materiales terrestres*, mucho más allá de los métodos y modelos meramente descriptivos imperantes en la gran mayoría de los textos, tanto de Educación Secundaria como de niveles superiores.

BIBLIOGRAFÍA

- Águeda, J., Anguita, F., Araña, V., López, J. y Sánchez, L. (1977). *Geología*. Ed. Rueda, Madrid (2ª ed. 1983).
- Anguita, F. (1986). Reflexiones sobre la polémica en torno al Ciclo de Davis. *Actas IV Simp. Nac. Enseñ. Geol.*, Vitoria-Gasteiz, Septiembre/1986, pp. 319-325.
- Anguita, F. (1988). *Origen e historia de la tierra*. Ed. Rueda, Madrid.
- Anguita, F. y Moreno, F. (1991). *Procesos geológicos internos*. Ed. Rueda, Madrid.
- Bach, J. y Brusi, D. (1988). Reflexiones y recursos sobre la didáctica del ciclo del agua. *Hena-res, Rev. Geol.*, 2, 223-232.
- Bach, J., Brusi, D. y Domingo, M. (1988). Consideraciones en torno a la didáctica de los procesos geológicos. *Hena-res, Rev. Geol.*, 2, 213-221.
- Biro, P. (1958). *Morphologie structurale*. Preses Universitaires de France, París, tomo I.
- Brinkmann, R. (1961). *Compendio de geología general*. Ed. Labor, Barcelona (trad. castellana 1964).
- Chamberlin, R.T. (1928). Algunas de las objeciones a la teoría de Wegener. En: W.A.J.M. van W. van der Gracht (ed.). *La teoría de la deriva continental. Simposio sobre el origen y movimiento de las masas terrestres intercontinentales e intracontinentales tal como propone Alfred Wegener*. Servicio de Publicaciones, Consejería de Educación, Gobierno de Canarias, S/C Tenerife (trad. castellana 1998), pp. 65-68.
- Chorley, R.J. (1965). A re-evaluation of the geomorphic system of W.M. Davis. En: R.J. Chorley y P. Haggett (eds.). *Frontiers in geographical teaching*. Methuen, Londres, pp. 21-38.
- Chorley, R.J., Beckisdale, R.P. y Dunn, A.J. (1973). *History of the study of landforms or the development of geomorphology. Vol. 2: The life and work of William Morris Davis*. Methuen, Londres.
- Cloos, H. (1947). *Diálogo con la tierra. Peregrinaciones de un geólogo por el mundo y por la vida*. Ed. Labor, Barcelona (trad. castellana 1955).
- Daly, R.A. (1926). *Our mobile earth*. Ch. Scribner's Sons, Nueva York-Londres, (2ª ed. 1929).
- Davis, W.M. (1899). The geographical cycle. *Geograph. J.*, 14, 481-504. [Reimpreso en: *Geographical Essays*. Dover Publ., Nueva York, pp. 249-278 (1954)].
- Davis, W.M. (1904). Complications of the geographical cycle. *Geograph. J.*, 14, 150-163. [Reimpreso en: *Geographical Essays*. Dover Publ., Nueva York, pp. 279-295 (1954)].
- Dove, J. (1997). Student ideas about weathering and erosion. *Int. J. Sci. Edu.*, 19(8), 971-980.
- Emiliani, C. (1992). *Planet Earth: cosmology, geology, and the evolution of life and environment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Eves, R.L. y Davis, L.E. (1988). Is the rock cycle an outdated idea, or a unifying concept? *J. Geol. Edu.*, 36(2), 108-110.
- Fichter, L.S. (1996). Tectonic rock cycles. *J. Geosci. Edu.*, 44, 134-148.
- Fichter, L.S. y Poché, D.J. (1979). *Ancient environment and the interpretation of geologic history*. Macmillan, Nueva York (2ª ed. 1993).
- Flemal, R.C. (1971). The attack on the Davisian system of geomorphology. A symposium. *J. Geol. Edu.*, 19, 1-13.
- García Cruz, C.M. (1990). Modelos geométrico-didácticos de los ciclos geológicos. *Actas VI Simposio sobre Enseñanza de la Geología*, Puerto de la Cruz (Tenerife), 17-22 septiembre, pp. 202-209.
- García Cruz, C.M. (1999). El principio de uniformidad (II). Un obstáculo epistemológico entre el pasado y el presente. *Enseñ. Cienc. Tierra*, 7(1), 16-20.
- García Cruz, C.M. (2000). El principio de uniformidad (III). El presente: Una aproximación al neocatastrofismo. *Enseñ. Cienc. Tierra*, 8(2), 99-107.
- García Cruz, C.M. (2001a). El actualismo-uniformitarismo como obstáculo epistemológico. *Cadernos IG/UNICAMP*, 9(1), 22-32.
- García Cruz, C.M. (2001b). Origen y desarrollo histórico del concepto de ciclo geológico. *Enseñ. Cienc. Tierra*, 9(3), 222-234.

- Geikie, A. (1884?). *Geology (Science Primers V)*. American Book Co., Nueva York.
- Gregor, B. (1992). Rock cycle. En: W.A. Nierenberg (ed.). *Encyclopedia of Earth System Science*. Academic Press, San Diego, vol. 4, pp. 21-30.
- Higgins, C.G. (1975). Theories of landform development – a perspective. En: W.N. Melhorn y R.C. Flemal (eds.). *Theories of landforms development*. Publ. Geomorphology, State University of New York, pp. 1-28.
- Holmes, A. (1965). *Geología física*. Ed. Omega, Barcelona. (trad. castellana 1971, 6ª ed.).
- Judson, S. (1960). William Morris Davis; an appraisal. *Zeit. Geomorph.*, 4, 193-201.
- Judson, S. y Richardson, S.M. (1995). *Earth: An introduction to geologic change*. Prentice Hall, Englewood Cliffs (N.J.).
- King, P.B. y Schumm, S.A. (1980). *The physical geography (Geomorphology) of William Morris Davis*. GeoBooks, Norwich.
- Lillo, J. (1993). Representaciones de los alumnos de EGB sobre algunos procesos geológicos externos. *Bol. Cienc.*, 16, 179-193.
- Longwell, C.R. y Flint, R.F. (1955). *Geología física*. Ed. Limusa, México (trad. castellana 1965 de la ed. americana de 1963).
- Meléndez, A. y Meléndez, F. (1978). *Geología*. Ed. Paraninfo, Madrid.
- Melero Vara, J. (1984). Didáctica del concepto de ciclo geológico. La síntesis en la enseñanza de la Geología. *Mem. III Simp. Enseñ. Geol.*, Barcelona, pp. 165-179.
- Pedrinaci, E. (1987). Representaciones de los alumnos sobre los cambios geológicos. *Investig. Escuela*, 2, 65-74.
- Pedrinaci, E. (1992). Las rocas tienen una historia que contarnos. *Aula, Didáct. Cienc. Nat.*, 4-5, 33-35.
- Pedrinaci, E. (1993). Concepciones acerca del origen de las rocas: una perspectiva histórica. *Investig. Escuela*, 19, 89-103.
- Ramos, R., Praia, J., Marqués, L. y Gama Pereira, L. (2001). Ideas alternativas sobre el ciclo litológico en alumnos portugueses de enseñanza secundaria. *Enseñ. Cienc. Tierra*, 9(3), 252-260.
- Sequeiros, L. (1982). Acercamiento pedagógico a las ideas de modernidad en Geología: trasfondo ideológico de Charles Lyell y Charles Darwin. *Actas II Simp. Nac. Enseñ. Geol.*, Gijón, pp. 260-267.
- Sequeiros, L. (2002). De la ira de los dioses a la Tectónica de Placas. Un enfoque histórico de las energías de la Tierra. En: *Interacciones entre las energías internas y externas de la Tierra*. Curso de Verano, Universidad Internacional Melendez Pelayo, Santander, 9-12/Septiembre.
- Sequeiros, L., Pedrinaci, E., Álvarez, J.Mª y Valdivia, J. (1997). James Hutton y su Teoría de la Tierra (1795). Consideraciones didácticas para educación secundaria. *Enseñ. Cienc. Tierra*, 5(1), 11-20.
- Siever, R. (1983). The dynamic earth. *Sci. Am.*, 249(3), 46-55. [Trad. castellana: Dinámica terrestre. *Invest. y Cien.*, 86, 14-24 (1983); reproducido en: *Temas (Invest. y Cien.)*, 20, 2-13 (2000)].
- Singh, R.J. y Bushee, J. (1977). The rock cycle. *J. Geol. Edu.*, 25, 146-147.
- Skinner, B.J. y Porter, S.C. (1995). *The Dynamic Earth*. Wiley & Sons, Chichester (3ª ed.).
- Solé Sabarís, L. (1938). *Introducción a la Geología*. Ed. Apolo, Barcelona.
- Stofflett, R. (1994). Conceptual change in elementary school teacher candidate knowledge of rock cycle processes. *J. Geol. Edu.*, 42, 494-500.
- Strahler, A.N. (1981). *Geología física*. Ed. Omega, Barcelona (trad. castellana 1987).
- Tarback, E.J. y Lutgens, F.K. (1999). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Prentice-Hall, Madrid (trad. castellana 2000).
- Termier, H. y Termier, G. (1958). Les grandes phases arides de temps géologiques. Leur place dans l'histoire de la terre et leurs répercussions sur l'histoire de la vie: exemple du Permien. *Rev. gén. Sciences*, LXV(3-4), 83-91.
- Termier, H. y Termier, G. (1960). *Érosion et sédimentation*. Masson & Cie., París.
- White, I.D., Mottershead, D.N. y Harrison, S.J. (1992). *Environmental Systems: An introductory text*. Chapman & Hall, Londres (2ª ed.).
- Zimbelman, J.R. y Gregg, R.K.P. (2000). *Environmental effects on volcanic eruptions: From deep oceans to deep space*. Kluwer Academic/Plenum Publ., Nueva York [caps. 1-3].■