

**EL BICENTENARIO DE CHARLES LYELL (1797-1875).
CONSIDERACIONES DIDÁCTICAS PARA EDUCACIÓN SECUNDARIA.
Charles Lyell (1797-1875) bicentenary: Teaching considerations for Secondary School.**

Leandro Sequeiros, Emilio Pedrinaci, Pedro Berjillos y Enrique García. ()*

RESUMEN:

El bicentenario del nacimiento de Charles Lyell coincide en el tiempo con el fallecimiento de James Hutton. Ambas figuras, consideradas clave para el desarrollo de la moderna Geología, ofrecen facetas y problemas que tienen significativas implicaciones en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. En este trabajo se ofrece una panorámica del itinerario intelectual de Lyell (sobre todo en los Principios de Geología, 1830-1833) y se sugieren pistas para su utilización en el aula en Educación Secundaria (12-18 años).

ABSTRACT:

The bicentenary of birth of Charles Lyell coincide in the time with the death of James Hutton. Both figures, considered key for the development of modern Geology, show facets and problems with significant implications for Earth Sciences Teaching.. A general view about the intellectual evolution of Lyell (contained specially in the Principles of Geology, 1830-1833) is presented in this paper; some orientations for teachers in Secondary Education School (12-18 years) are also suggested.

Palabras clave: Charles Lyell, Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, Historia de la Geología, Educación Secundaria, Problemas, Uniformitarismo, Paradigmas en Geología.

Key Words: Charles Lyell, Earth Science Teaching, History of Geology, Secondary School, Problem Solving, Uniformitarianism, Paradigms in Geology.

INTRODUCCIÓN

Sir Charles Lyell, nacido hace dos siglos en Kinnordy, (Forfarshire, Escocia), el 14 de noviembre de 1797 es una de las figuras más importantes de la Historia de la Geología. Lyell falleció en 1875, mientras estaba revisando los *Principles of Geology* para la 12ª edición siendo enterrado en la Abadía de Westminster.

La celebración en 1997 del bicentenario de Hutton y Lyell tiene una importancia científica y también didáctica. Ambas figuras pueden ser empleadas como recurso didáctico en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. El presente trabajo pretende dar unas pistas para incorporar de forma transversal la figura de Lyell en la Educación Secundaria. De James Hutton se ocupa otro trabajo en este mismo número de *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. El itinerario intelectual de Lyell muestra cómo la construcción de un paradigma científico (Kuhn, 1975) puede guardar un cierto isomorfismo con el aprendizaje de las Ciencias de la Tierra (Sequeiros, 1996). La fundamentación científica de un modelo didáctico se ha descrito más arriba (Sequeiros et al. en este mismo volumen; también en Pedrinaci, 1993a y 1994; Yus y Sequeiros, 1995).

LAS IDEAS GEOLÓGICAS DE CHARLES LYELL.

A Charles Lyell se le suele considerar, junto con Hutton (Ruse, 1975; Boladeras, 1982; Hallam, 1985; Rudwick, 1986; Pelayo, 1991; Ellenberger, 1994) como padre de la moderna Geología. Su aportación más importante a las Ciencias de la Tierra, a juicio de sus historiadores (Bartholomew, 1979; Porter, 1976; Ruse, 1979) es la propuesta según la cual todos los hechos geológicos que se desarrollan en la superficie de la Tierra se producen por procesos físicos, químicos y biológicos que actúan de forma lenta, gradual y continua a lo largo de los tiempos geológicos. Este concepto fue denominado por Lyell como **uniformitarianism** (siendo la traducción española más aceptada la de **uniformitarismo**) (Hooykaas, 1966; Hallam, 1985). Con este principio, Lyell puso algunas de las bases para el desarrollo de las ideas evolucionistas de Darwin, aunque él mismo nunca las aceptó del todo (Gould, 1974; Sequeiros, 1996).

¿Cómo Lyell construyó a lo largo de los años una manera de ver e interpretar la naturaleza geológica del planeta, que cristalizó en los *Principles of Geology* (1830-1833)? . Será necesario hacer un seguimiento del proceso personal de Lyell (fig. 1).

(*) Equipo Terra de Investigación Didáctica en Geología. Apartado 5003. 14080 Córdoba. L.S. y E.P. son Miembros de INHIGEO (Comisión Internacional para la Historia de las Ciencias Geológicas)

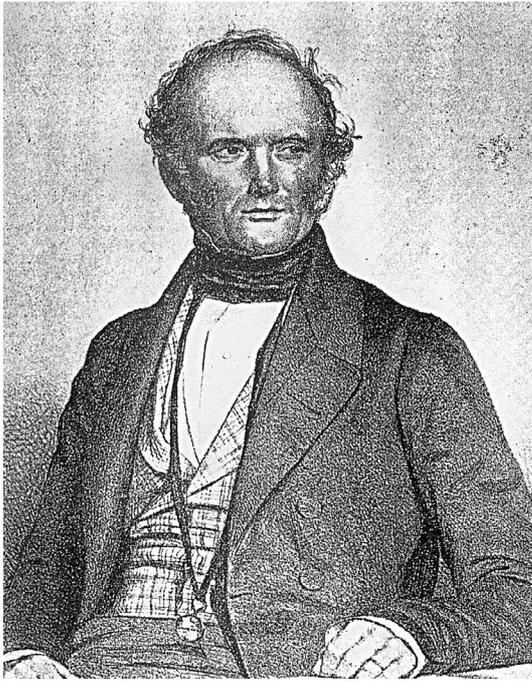


Figura 1: el retrato más difundido de Charles Lyell.

El padre de Charles Lyell era un naturalista aficionado que inculcó a su hijo el aprecio por las ciencias y en particular por la Geología. El mayor de diez hermanos, Charles asistió a buenos colegios privados donde no fue un buen estudiante. Su primera afición científica fue la de coleccionar mariposas e insectos acuáticos, una actividad que mantuvo durante muchos años. Esta afición le hizo desarrollar las dotes de observación minuciosa de los datos, lo que contribuyó a sus importantes descubrimientos.

En 1816, a los 19 años de edad, Lyell ingresó en la Universidad de Oxford, donde se interesó por los autores clásicos y las matemáticas. La afición a la geología le fue estimulada por la asistencia a las conferencias que impartía William Buckland, bien conocido por sus interpretaciones fundamentalistas de la Biblia y la aceptación del Diluvio Universal así como de los fósiles de las grutas (Ruse, 1979; Hallam, 1985; Rudwick, 1986; Pelayo, 1991).

Lyell aprovechó las vacaciones escolares para viajar y hacer observaciones geológicas. Algunas notas redactadas en 1817 (cuando contaba 20 años) sobre el origen de la región de Yarmouth parecen ser sus primeras investigaciones (Wilson, 1975; Hallam, 1985). Las agudas observaciones geológicas y culturales realizadas durante un viaje por el continente con su familia en 1818 fueron tan notables “como el número de millas que era capaz de hacer por día” según sus mismas palabras. En diciembre de 1819 consigue su título de Bachiller en Artes (B.A.) con honores y viaja a Londres para estudiar la carrera de derecho.

Los ojos de Lyell se debilitaron con el duro estudio de las Leyes y dedica mucho tiempo al trabajo geológico en el campo, más relajante para él. Entre estas

excursiones geológicas destaca la visita a los acantilados de la costa de Sussex (sur de Inglaterra) en 1822 para persuadirse él mismo de la evidencia de lentos movimientos verticales de la corteza de la Tierra. Este problema le abrirá los ojos a un modo diferente de interpretar las rocas y sus procesos. El uso del actualismo de Hutton se irá ampliando hacia una visión más honda del ritmo de los procesos geológicos.

En 1823, movido por estas inquietudes, inicia su primera aventura europea. Durante una visita a París, tiene la suerte de contactar con los notables naturalistas Alexander von Humboldt y Georges Cuvier y examina la Cuenca de París con el geólogo francés Louis-Constant Prévost. En 1824, Lyell estudia los sedimentos formados en un lago de agua dulce en su tierra, Kinnordy.

En su estancia en Londres, Lyell participó intensamente en la vida cultural de su época, asistiendo a las tertulias de Sir Walter Scott y tomando parte activa en algunas sociedades científicas. Obligado por su padre a terminar sus estudios de Derecho, Lyell fue admitido como abogado en 1825, pero con el soporte económico familiar practicó más la geología que las leyes, publicando sus primeros trabajos científicos ese mismo año. Su mente elaboró unos principios de razonamiento geológico y llegó a concebir la idea de escribir un libro en el que buscaría explicaciones naturales para todos los fenómenos geológicos (Lyell, 1881). Su principio básico es este: *los procesos naturales ordinarios de hoy día no difieren ni en tipo ni en magnitud de los que actuaron en el pasado, y por ello la Tierra debe ser muy antigua porque hay evidencias de procesos actuales que son extraordinariamente lentos.*

LOS VIAJES POR EUROPA CON MURCHISON.

La pasión por la Geología y la suerte de tener un padre tolerante y rico, le llevan de nuevo al continente europeo en 1828. Acompañado por el joven y ambicioso geólogo Roderick Murchison, Lyell exploró áreas extensas en Francia e Italia donde encontró pruebas que confirmaban sus hipótesis de trabajo. Desde el norte de Italia viajó hasta Sicilia. En la región cercana al Etna encontró evidencias de la acción lenta y continuada de procesos naturales para explicar el relieve de la Tierra y su gran antigüedad.

Los resultados de este viaje, que tuvo lugar entre mayo de 1828 y febrero de 1829, colmó las expectativas de Lyell. Al regresar a Londres, se pone inmediatamente a la tarea de la redacción de su libro, los *Principles of Geology*. El primer volumen fue publicado en julio de 1830. En esta época, Darwin iniciaba su viaje alrededor del mundo y llevaba consigo el primer tomo a partir del cual comenzó a ver la naturaleza de otra manera (Sequeiros, 1996).

Durante el verano de 1830, Lyell, apasionado por el origen de las rocas volcánicas, viajó por los Pirineos españoles visitando, tras múltiples peripecias, los volcanes de Olot (Solé Sabarís, 1982). De

regreso a Londres, continuó entusiasmado con la redacción de los *Principles of Geology*, publicando el volumen segundo en 1831 y el tercero en 1833. En julio de 1832 se casa con Mary Horner en Bonn, y tienen una larga luna de miel con excursión geológica por Suiza e Italia. Ella acompañó siempre a Lyell en sus actividades de campo a lo largo de 40 años. Durante los últimos 5 años (1870-75), los Lyell llevaron una vida más tranquila. Dedicaban los inviernos al estudio, actividades sociales de tipo científico y revisión de los *Principles of Geology*. En las siguientes ediciones Lyell añadió datos de sus viajes a Escandinavia (1834 y 1837) y de otros países visitados.

La publicación de los *Principles* le trajo la fama y la amistad de otros científicos, como Charles Darwin y el astrónomo John Herschel. En 1838, Lyell publica los *Elements of Geology* donde describe las rocas y fósiles de Europa desde los más recientes hasta los más antiguos. Los *Elements* fueron traducidos al español por Joaquín Ezquerro del Bayo y publicados, junto con un amplio anexo relativo a las rocas españolas, en 1847. Ezquerro publicó la edición española a partir de la primera edición inglesa (1838), cuando en el año 1847 ya se habían publicado otras ediciones inglesas en las que se incluían datos de los volcanes gerundenses de Olot (Solé Sabarís, 1982).

En 1841, Lyell aceptó la invitación para impartir conferencias y trabajar en geología en Norteamérica, volviendo otra vez durante cinco meses entre 1845-1846 y para dos cortas visitas por los años 50. Durante estos viajes, los Lyell visitaron muchas regiones de Estados Unidos y el este de Canadá, contemplando casi todos los grandes monumentos geológicos naturales incluyendo las cataratas del Niágara. Lyell escribió un par de libros entusiastas en 1845 y 1849 sobre las dos visitas al Nuevo Mundo.

En esta época de gloria, Lyell contactó con otros científicos (como Faraday) y fue comisionado para la Gran Exposición de 1851-1852, ayudando al mismo tiempo a la reforma de los estudios en Oxford.

Lyell se mantuvo firme durante más de veinte años, desde la primera edición de los *Principles* en 1830 hasta su última defensa del no-progreso en un discurso de aniversario como Presidente de la Sociedad Geológica de Londres en 1851. En 1859 la publicación del *Origin of Species* de Darwin dio nuevos ímpetus al trabajo de Lyell. Aunque Darwin reconocía su inspiración en Lyell para el método científico, éste nunca aceptó las ideas darwinistas. El argumento fundamental de Lyell contra las ideas darwinistas estribaba en la imperfección del registro fósil. Lyell argumenta que en veinte años de exploraciones no se habían desenterrado mamíferos paleozoicos y su viejo argumento de que “no esperásemos nada cierto mientras nuestros conocimientos de la época paleozoica reposaran sobre los pocos sedimentos oceánicos de extensión geográfica limitada”.

Pero este argumento se hizo cada vez menos defendible a medida que los estudios de geología paleozoica se desplegaron por Europa del este y Norteamé-

rica. Lyell empezó a dudar, y eventualmente, en un doloroso proceso que se extendió a lo largo de la década de 1850, se rindió. Al final de su vida, al parecer, hay un intento en la comprensión de un cierto grado de evolución por selección natural (Gould, 1974).

En 1862, Lyell publica su trabajo *Sobre las evidencias geológicas de la antigüedad del hombre*. Y en él escribe que el progreso en la historia de la vida es “una hipótesis indispensable... que jamás se derrocará”. En 1872 se publica la undécima edición de los *Principles*. En el capítulo 9, Lyell manifiesta su nueva postura: admite que un científico puede aceptar el progreso en la historia de la vida mientras sostiene firmemente las uniformidades de las leyes y de los procesos.

CHARLES LYELL Y EL UNIFORMITARISMO.

Uno de los conceptos más debatidos e innovadores del pensamiento geológico de Lyell es el de Uniformitarismo (Hooykaas, 1966, 1970; Rudwick, 1986; Hallam, 1985; de Renzi, 1980, Gould, 1977, 1980, 1992). El uniformitarismo es a la vez un método científico y un paradigma kuhniano (Kuhn, 1975). Esa doble consideración ha favorecido cierto confusionismo. Resulta conveniente en este sentido seguir a Hooykaas (1966) que reserva el término uniformitarismo para referirse a la teoría de la Tierra, mientras que el actualismo se limitaría al método de análisis utilizado. Rudwick (1986) distingue en el tratado de Lyell cuatro significados diferentes de **uniformitarismo**:

1) La **uniformidad de la ley**: las leyes de la naturaleza son constantes en el espacio y en el tiempo. El asumir la constancia de las leyes naturales es un principio metodológico básico del empirismo: la regularidad en las relaciones causa-efecto permite establecer generalizaciones empíricas que pueden ser elevadas a la categoría de “leyes científicas”.

2) La **uniformidad de los procesos**: si se puede representar un fenómeno del pasado como el resultado de un tipo de proceso que actualmente sigue operando, no tenemos que recurrir a causas desconocidas o extinguidas para su explicación. Este principio recibe el nombre de “actualismo”. Gracias a él -de acuerdo con Hutton- el presente es la llave para explicar el pasado, puesto que serán los mismos tipos de procesos los que actuaron en el pasado. Estos dos significados coinciden con el concepto de **actualismo** de Hutton (Hooykaas, 1966, 1970; Boladeras, 1982; Hallam, 1985; Sequeiros et al.)

3) **Gradualismo o uniformidad en la proporción**: el ritmo de cambio es generalmente lento, gradual y continuo. Los fenómenos de gran envergadura (como la formación de cordilleras o profundos valles) se producen por la acumulación, paso a paso, de insensibles e incontables cambios que se suceden a lo largo de un inmenso período de tiempo, para dar lugar a un efecto grandioso.

4) La **uniformidad de estado o estado estacionario**: el cambio no solo se da de manera lenta, gra-

dual y continua a lo largo del tiempo geológico, sino que además la historia de nuestro planeta muestra que no hay una direccionalidad o vector de progreso. La apariencia y el comportamiento de nuestro planeta siempre ha sido como lo son ahora. Hay un dinámico estado estacionario (Gould, 1977). Es algo semejante al paradigma de la Reina Roja de Van Valen aplicado a la geología: todo se mueve para que nada cambie. Los indicios de progreso son mera ilusión.

En 1872 con la publicación de la edición 11ª de los *Principles of Geology* Lyell empieza a superar una concepción fundamentalista (Hooykaas, 1970; Gould, 1977; de Renzi, 1980) del uniformitarismo que, no obstante, ha dominado la geología hasta hace 25 años. Este puede ser compatible con una visión más abierta del mundo que permite aceptar un progreso en la historia geológica sin rechazar por ello la uniformidad de los procesos.

UN MODELO DE CONSTRUCCIÓN Y REESTRUCTURACIÓN DE UN PARADIGMA: CHARLES LYELL.

El itinerario intelectual de Lyell es apasionante. No sólo desde el punto de vista histórico, sino tam-

bién desde el punto de vista didáctico. El esquema siguiente es una propuesta sobre el desarrollo histórico de la construcción y reestructuración del paradigma uniformitarista de Lyell. Este esquema guarda ciertas similitudes con el proceso de aprendizaje de determinados conceptos por parte de los alumnos así como de los obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1937, 1992) que pueden presentar y que habrán de superarse:

CONSIDERACIONES DIDÁCTICAS SOBRE CHARLES LYELL

Se proponen, a modo de ejemplo, algunas actividades relacionadas con diversos temas geológicos de Lyell, que pueden ser utilizados dentro del currículo de Secundaria (12-18 años).

Actividades de iniciación (motivación e indagación de ideas previas)

Una posible actividad podría basarse en la visión de alguna versión cinematográfica de “Viaje al Centro de la Tierra” de Julio Verne, y la lectura y debate de algunos de los textos de la novela. En ella, se muestran personalizadas las diversas tendencias ge-

Cronología de Lyell	Descripción de la etapa intelectual	Obstáculos epistemológicos y/o elementos de superación de la crisis
1816-1819	Etapa clásica: Lyell es coleccionista y seguidor de Buckland.	La mente de Lyell está influida por las ideas catastrofistas y diluvistas que buscan el concordismo bíblico.
1820-1822	Crisis del paradigma clásico: la visita a lugares geológicos contribuye a cuestionar a Lyell. Se produce en su mente un conflicto cognitivo.	Percepción de la existencia de levantamientos verticales muy lentos de la costa de Sussex. Los fósiles marinos sobre tierras altas lo confirman.
1823-1824	Búsqueda de explicaciones alternativas: viajes a Europa continental. Contactos con los geólogos de su época.	Contactos con Humboldt, Georges Cuvier. Viajes geológicos por la Cuenca de París con Prévost. Contrastación en el lago antiguo de Kinnordy.
1825-1829	Primeras formulaciones del paradigma geológico uniformitarista.	Contrastación de sus ideas en el campo: viajes por Francia e Italia con Murchison.
1830-1833	Emergencia y construcción del uniformitarismo .	Publicación de los <i>Principles of Geology</i> (3 tomos, entre 1830 y 1833). Entre el primero y el segundo, viaje a Olot.
1834-1850	Consolidación y extensión del paradigma uniformitarista por el mundo: los viajes a Estados Unidos. Visitas a los lugares geológicos americanos y canadienses.	Revisión de los <i>Principles of Geology</i> . Publicación (1838) de los <i>Elements of Geology</i> , muy extendido por Europa. Traducción española de 1847.
1850-1872	Crisis del uniformitarismo más fundamentalista. El carácter “no progresivo” del registro fósil puesto en cuestión.	1859: publicación de <i>Origin of Species</i> de Charles Darwin. Muestra el carácter progresivo de la vida. 1872: publicación de <i>Sobre las evidencias geológicas de la antigüedad del hombre</i> de Lyell.
1872-1875	Reestructuración del paradigma: el uniformitarismo sustantivo.	1872: publicación de la edición 11ª de los <i>Principles</i> : se puede compaginar el carácter progresivo de la historia geológica con la uniformidad de los procesos.

ológicas de los siglos XVIII y XIX y cuyas controversias (Hallam, 1985) contribuyeron de forma importante a la superación de obstáculos epistemológicos y al avance de las ciencias de la Tierra. Los estudios sobre las ideas previas de los alumnos sobre el interior de la Tierra, los volcanes y los terremotos, suministra al profesorado una imagen de los mapas intuitivos de los alumnos (Gohau, 1995; Allain, 1995). El trabajo en el aula sobre las controversias geológicas (Álvarez Suárez, 1996) puede ser fructuosa para conocer las ideas de los alumnos y para ayudar a la superación de las no científicas.

Problema: muchos escritores y poetas (como el Dante), filósofos y naturalistas de la antigüedad, hasta bien entrado el siglo XIX pensaban que en el interior de la Tierra había fuego. Incluso esta noción está presente en ideas religiosas que ven el infierno en el interior de la Tierra. ¿Crees que dentro de la Tierra hay fuego? ¿Qué datos científicos crees que apoyan esta idea?

Conviene que los alumnos, en grupos, discutan sobre los argumentos a favor (volcanes, terremotos) y en contra del fuego interior de la Tierra (propagación de ondas sísmicas, densidad, etc.). Tras una puesta en común se les puede entregar un texto como el siguiente para su lectura y comentario:

En el último tercio del siglo XIX, Julio Verne escribió la novela "Viaje al Centro de la Tierra". El argumento de la misma es sobradamente conocido: el catedrático de Geología de Hamburgo, Otto Lidenbrok encuentra en 1863 un manuscrito islandés del siglo XVI en el que se contiene un mensaje cifrado sorprendente: muestra un camino para llegar al centro de la Tierra desde el volcán Sneffels en Islandia. Junto con su sobrino Alex y un guía nativo llamado Hans inician la aventura. Antes de la partida, discuten sobre este asunto:

TEXTO: (El narrador es el joven sobrino del profesor, llamado Alex):

Aunque veía que se reía de mí, proseguí con seriedad:

-Bien sabe usted, tío, que la temperatura aumenta progresivamente cuanto mayor es la profundidad que se alcanza bajo tierra. Las materias que están bajo la corteza terrestre se hallan en estado líquido y gaseoso debido al calor. Por lo tanto, es imposible la permanencia bajo profundidades centrales de la tierra, cuando menos a los seres humanos.

-¿Tienes miedo al calor, Alex?

-No creo que encuentre usted infundado mi recelo, tío.

-Pues a mí me parece que sí, sobrino. Hoy día hay muy autorizados geólogos que creen que en el interior de la tierra no hay gases, ni agua, ni líquido alguno. Más bien se encuentran materias rocosas muy pesadas, pues de lo contrario el peso del globo terráqueo sería dos veces menor.

-Por medio de números es muy fácil probar todo lo que se quiere...

-Ocurre también con los hechos, hijo mío. Es un hecho comprobado que los volcanes disminuyen de día en día. Esto prueba que si el calor central existe, tiende a debilitarse de día en día.

-Pues es bien sabido que la corteza terrestre ha sufrido una combustión, hoy está fría y el calor se ha refugiado en el centro del globo.

-El calor de la tierra no tiene otro origen que la combustión de su superficie. Dentro no existe tal calor.....

¿Qué ideas científicas tiene al profesor Lidenbrok? ¿Qué piensa del interior de la Tierra? ¿En qué se parecen estas ideas a las de Hutton? ¿Cómo te imaginas el interior de la Tierra? ¿Qué métodos podríamos utilizar para conocer el interior de la Tierra?

1. Lyell contra el fuego central de la Tierra.

A principio del siglo XIX seguía vigente en muchos ambientes científicos la teoría nebular de Laplace (1796) según la cual la Tierra había tenido una época de planeta ígneo que había ido enfriándose lentamente. Además en esta época, las observaciones del astrónomo Herschel construyeron una teoría global sobre el origen del universo a partir de una gran nebulosa original que explotó. El enfriamiento de la Tierra era externo y en el centro permanecía una fuente de calor. ¿Cómo planearíais una expedición para comprobar esto? ¿Sería posible ir al Centro de la Tierra?.

Un poco antes de Lyell, hacia 1828, Elie de Beaumont relacionó la formación de las montañas con el calor central (Lawrence, 1978). Éste afirmaba que a lo largo de la historia de la Tierra había habido dos etapas de formación de montañas ("orogenias" les llamaba él) que dieron lugar a dos sistemas diferentes de cordilleras. Al enfriarse la Tierra, el núcleo decrece en tamaño y la cor-

teza se arruga formando montañas. Estas orogénias coincidían con etapas en las que había grandes discontinuidades de fósiles. Lyell había hablado en París con él sobre estos temas.

“Al rechazar el progresionismo, Lyell atacaba el concepto de una Tierra que iba enfriándose paulatinamente. No existían pruebas de que la actividad ígnea y tectónica hubieran sido más intensas en épocas anteriores, o de que el clima del mundo hubiera ido enfriándose de forma sistemática. La intensa actividad volcánica de Italia, del Macizo Central y de otros puntos, era muy reciente y había sido precedida por largos períodos de tranquilidad”. (Hallam, 1985, pág. 49).

La hipótesis de la existencia de una fuente caliente en el interior de la Tierra, ha sido un argumento para medir la edad del planeta (Pedrinaci y Berjillos, 1994). Es más: esta hipótesis fue uno de los argumentos más fuertes -contra Darwin- para mostrar que el tiempo geológico era muy corto. William Thomson, más conocido como Lord Kelvin (1824-1907), intentó (Hallam, 1985, 83-112) determinar la duración del tiempo geológico basado en la termodinámica. Trabajos publicados entre 1862 y 1897 atacaron los cálculos de Darwin sobre la denudación del Weald. Esto provocó que Darwin tuviera que introducir modificaciones en sus trabajos. Darwin cita y critica a Kelvin en la 6ª edición de *El Origen de las Especies* (1871)

Problema: Kelvin parte de la hipótesis de que la Tierra es un sol en enfriamiento gradual. Para demostrarlo, construye una esfera de roca similar a la de la Tierra en composición. La caliente y deja enfriar. Si se supone un origen fundido y que aún hay materiales fundidos en el núcleo, hechos los cálculos llega a 98 millones de años para la edad de la Tierra. ¿Qué cálculos tuvo que hacer Lord Kelvin? ¿Qué debilidades tiene este argumento científico?

Los alumnos discuten este problema y deben intentar mostrar las incertidumbres del cálculo, incluso aceptando la hipótesis del “fuego central”. Con posterioridad, el descubrimiento del Radio y la radiactividad en 1895, volvió a alargar la edad de la Tierra, puesto que estos procesos radiactivos compensan en buena medida la pérdida del calor terrestre por radiación, con lo que se ralentiza el enfriamiento de la Tierra.

2. Lyell y los fósiles.

Problema: Lyell había observado que, así como los yacimientos de Sicilia contenían muchas especies que aún existían vivas en los mares, los yacimientos del subapenino de Italia contenían numerosas especies extintas y se encontraban todavía en mayor proporción en el Terciario de Niza. A su vez, el Terciario de la cuenca de París tenía significativamente muchas menos especies que viven en la actualidad que el Terciario de Niza. Debido a ello, al final de su viaje por Francia e Italia (de 1828 a 1829), supuso que el Terciario debía estar compuesto por varios períodos, suficientemente largos para permitir la acumulación de cientos de metros de sedimentos y al mismo tiempo hacer posible importantes cambios en los seres vivos. ¿Crees que los fósiles nos pueden permitir hacer un “calendario” de la historia de la Tierra? ¿Cómo se pueden usar los fósiles?

Es oportuno recordar que los *Principles of Geology* culminan con una información sobre la estratigrafía del Terciario. Lyell desarrolló, en colaboración con el paleontólogo parisino Deshayes, una subdivisión del Terciario en función de la proporción entre fósiles con representantes vivos y fósiles sin representantes vivos. De este modo, la naturaleza le suministraba un cronómetro natural para medir la antigüedad de unos materiales sedimentarios.

3. Lyell y el uniformitarismo.

Este es un concepto básico en el pensamiento de Lyell y un método de trabajo y una paradigma básico en la geología moderna. Es el que nos permite reconstruir, a partir de lo que hoy observamos, la historia del planeta. Como se ha indicado entre actualismo, uniformismo y uniformitarismo hay una gran confusión terminológica (Hooykaas, 1970) a la que se unen las dificultades añadidas por las malas traducciones al castellano. El término anglosajón “uniformitarianismo” y el término “actualismo”, tal como se usa en el continente se consideran con frecuencia sinónimos y contrapuestos al “catastrofismo”. Sin embargo, como observa Hooykaas (1970) la mejor manera de deshacer esta confusión tan extendida es diferenciar entre *método* (es decir, técnica o principio para el análisis) y *sistema* (una teoría que lo abarca todo, un paradigma en sentido kuhniano). El **catastrofismo** es un sistema que se remonta a las cosmogonías especulativas de Burne, Whiston y Woodward a finales del siglo XVII y principios del siglo XVIII (Hallam, 1985; Gould, 1992; Pedrinaci, 1992; Ellemberger, 1994), lo que

sin duda es la principal razón por la cual los catastrofistas de una época posterior se consideraron ridículos.

El **uniformitarismo** por otra parte, tal como lo observa Lyell, es un *sistema, que utiliza un método*. Ahora bien: es perfectamente posible utilizar *métodos actualistas* y llegar a conclusiones *catastrofistas* (Pedrinaci, 1992a y b). Así, muchos de los geólogos del siglo XVIII (como Dolomieu y Pallas, y sobre todo Cuvier) pensaban que la formación de cordilleras y la excavación de profundos valles no se podían explicar según los procesos actuales. Era necesario invocar procesos extraordinarios, “catastróficos” que, de modo muy rápido, provocaban grandes convulsiones en el Globo.

Problema: en la portada del primer tomo de los Principios de Geología de 1830, Charles Lyell presenta el siguiente grabado. En él se observan las ruinas del llamado “Templo de Serapis”, cerca de la costa de Nápoles, atribuido a los romanos. ¿Qué se observa en las columnas y qué conclusiones pudo deducir Lyell?.

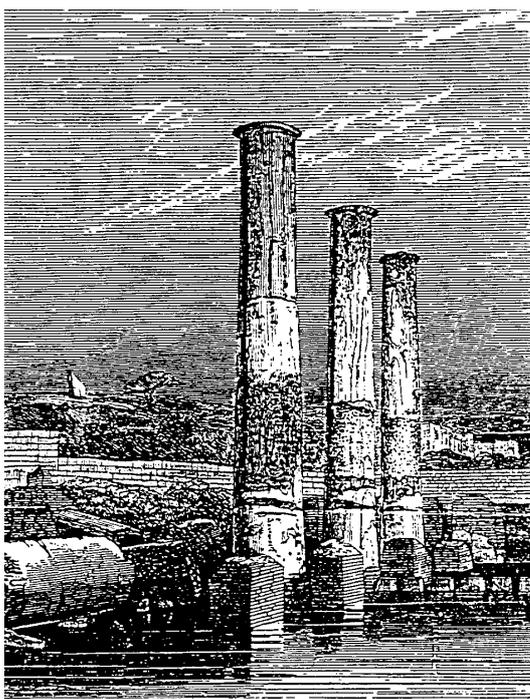


Figura 2: Portada del primer tomo de los Principios de Geología en la edición de 1836. Se observan tres columnas en Puzzoli, atribuidas al templo de Serapis.

Lyell hizo notar que la erosión afecta a las columnas sólo a partir de una distancia de unos ocho pies (dos metros) por encima del nivel del agua del mar actual. Las bandas rugosas se deben a los moluscos perforantes que vivían en el fango cuando las columnas estaban hundidas en el suelo marino. Esto muestra -concluye acertadamente Lyell- que se

construyó en un terreno que posteriormente fue hundiéndose lentamente. La erosión sólo afectó al segmento situado por encima del agua. Posteriormente, y de una forma lenta, gradual y continua, el suelo se elevó hasta la situación actual. Para Lyell era una clara prueba de la existencia de fuerzas que actúan de forma lenta, gradual y continua en la corteza terrestre.

Una vez que los alumnos han debatido este problema y propuesto alternativas y hecha una puesta en común, se les puede repartir este texto de Georges Cuvier (1825), para su lectura y debate:

“Las tierras que una vez fueron secas se han inundado varias veces, ya sea por la invasión del mar o por inundaciones esporádicas; y resulta claro para cualquiera que estudie las regiones liberadas por las aguas en su última regresión, que estas áreas, actualmente habitadas por los hombres y los animales terrestres, ya habían estado emergidas por lo menos una vez -posiblemente varias veces - y que anteriormente alimentaban cuadrúpedos, aves y plantas y productos terrestres de todo tipo. (.....)

Este proceso fue brusco y no gradual, y lo que puede demostrarse tan claramente para la última catástrofe no es menos cierto para aquellas que la precedieron. Las dislocaciones, cambios de dirección y vuelcos de los estratos más antiguos, no dejan lugar a duda de que fueron causas repentinas y violentas las que produjeron las formaciones que observamos hoy y de manera parecida, la violencia de los movimientos que sufrieron los mares está atestiguada, todavía hoy, por la acumulación de derrubios y cantos rodados que se encuentran en muchos lugares entre los estratos rocosos bien consolidados”.

¿Cuáles son las ideas más básicas de Cuvier en este texto? ¿Cómo confirmaríamos estas afirmaciones? ¿Son válidos los argumentos de Cuvier? ¿Se pueden interpretar de otra manera esos datos geológicos? ¿Conoces algún lugar (Pirineos, Guadarrama, Sierra Nevada, el Himalaya...) donde haya tales dislocaciones de la corteza? ¿Utiliza Cuvier el método actualista? ¿Cómo hubiera interpretado Lyell esos mismos datos?.

Charles Lyell se interesó por la geología gracias a las conferencias impartidas por Buckland. Sin embargo, las evidencias geológicas le mostraron que era más sencillo y coherente con las observaciones explicar lo observado desde otra perspectiva: la **uniformitarista**. Para él, la modificación de la superficie de la Tierra se realiza de forma natural, por un proceso lento, gradual y constante a lo largo de períodos enormemente largos de tiempo.

El siguiente texto de Rudwick (1987:22) resume bien el itinerario intelectual de Lyell hacia su concepción uniformitarista:

“En la zona central de Francia, Lyell descubrió que la evidencia de Scrope a favor de la lenta excavación de los valles, resultaba casi aplastantemente convincente: pero descubrió también que una rica fauna fósil recientemente descubierta por los naturalistas locales Croizet y Jobert, indicaba claramente una conclusión similar en lo referente a la historia de la vida. La fauna consistía en especies extintas de géneros aún vivientes -de hecho, era una fauna perteneciente a un clima más cálido “diluviano” de elefantes, rinocerontes, hipopótamos, hienas, tigres y así sucesivamente-. No obstante, estaba enterrada debajo de materiales volcánicos en antiguas gravas fluviales, muy por encima del lecho actual del valle. Así pues, siguiendo los criterios de Scrope, la fauna era de una antigüedad inmensa; y esto implicaba que podría haber existido el tiempo suficiente como para que la fauna presente reemplazara a aquella, tan lenta y gradualmente como habían sido excavados los valles”

¿Qué ha descubierto Lyell en los valles que ha visitado?

Lyell ataca en sus textos, tanto las ideas bíblicas sobre la geología como las catastrofistas. Su metodología está firmemente arraigada en un **actualismo** que pide la aceptación de la constancia de las leyes naturales a lo largo del tiempo. Este texto puede trabajarse con los alumnos:

“Realmente, nuestros cálculos del valor de todas las pruebas geológicas y el interés que se deriva del estudio de la Historia de la Tierra, deben depender por completo del grado de confianza que tenemos en la permanencia de las leyes de la naturaleza”.

Esta convicción del valor del método actualista se deriva directamente de James Hutton, pero al proponer un “sistema” uniformitarista estable y uniforme (la Tierra está en un estado estacionario), Lyell va mucho más lejos que Hutton:

“No cabe duda de que las épocas de intranquilidad y reposo se han seguido unas a otras en todas las regiones del planeta, pero puede ser igualmente cierto que la energía de los movimientos subterráneos haya sido siempre uniforme respecto al conjunto de la Tierra. La fuerza de los terremotos puede haber estado limitada, como ocurre hoy en día, a regiones amplias pero determinadas, y pueden haber variado su situación, de manera que otra región, que había permanecido durante años en tranquilidad, se convierte a su vez en el teatro de la actividad”

¿Cómo definiríamos el método uniformitarista de Lyell? ¿Qué elementos tiene? Posiblemente habrá que suministrar a los alumnos informaciones adicionales que se encuentran más arriba. De todas formas, acompañar a los alumnos al campo y trabajar estos conceptos como metodología, serán el mejor modo de conocer y valorar las ideas uniformitaristas.

4. Lyell, el gradualismo y el Tiempo geológico.

Lyell publicó once ediciones de los *Principles of Geology* entre 1830 y 1872. Toda su vida la pasó revisando detalles para rebatir a sus críticos. Como escribe Gould (1992: 162-163) “los *Principles of Geology* son un escrito de una visión del mundo: el majestuoso ciclo del tiempo como una encarnación de la racionalidad. Y más adelante: “*El majestuoso ciclo del tiempo es el hilo conductor de la coherencia, pues los Principles de Lyell son un tratado sobre el método, dedicado a defender esta concepción en el sentido de un registro geológico que requiere una interpretación profunda, no una lectura literal, para producir su fundamentación secreta*” (sic en la traducción).

Algunas actividades provechosas pueden encontrarse en Pedrinaci y Berjillos (1994) y Sequeiros, Pedrinaci y Berjillos (1996). A continuación sugerimos otras:

Buscando un “reloj” para medir el tiempo geológico

Conocer la edad de la Tierra ha sido uno de los quebraderos de cabeza de los geólogos antiguos. En 1758 el suizo Juan Gesner compara el levantamiento actual de las tierras de Finlandia y Suecia (un metro por siglo) con el de los Apeninos. A ese ritmo, esta cordillera hubiera tardado 80.000 años en emerger. Estas cifras contrastaban con los 4.000 años que las cronologías bíblicas atribuían al planeta iniciándose grandes controversias.

Desde el punto de vista de la construcción del concepto de tiempo geológico es conveniente que los alumnos conozcan y utilicen algunos métodos sencillos de cálculos de la edad de la Tierra. Muchos de los intentos llevados a cabo en el siglo XIX unen a su interés histórico la gran potencialidad de didáctica de algunas de las técnicas que se usaron. Se trata de investigaciones que, si bien no permiten aproximarse a la edad que se le atribuye hoy a la Tierra, sí que ayudan a extender el tiempo geológico mucho más allá de lo que la ciencia oficial le atribuía a finales del siglo XVIII.

a) Comparación de la velocidad actual de depósito con la del pasado.

Problema: En 1854 se descubre la base de la colosal estatua de Ramsés en Egipto, entre los sedimentos del río Nilo, a una profundidad de 2.75 metros. Como por otras fuentes se sabía que la estatua tenía 3.200 años, se deduce que se depositaron 8.9 cm de sedimento por siglo. Conociendo ya ese método para datar: ¿qué edad tendrán los ladrillos de Menfis que están sepultados a 12.20 m de profundidad?

Con este “reloj” se pueden calcular diversos materiales enterrados bajo condiciones similares. Así, los ladrillos de Menfis, encontrados a 12.20 m de profundidad, podrían tener 13.500 años.

b) Medidas del contenido de sal de los océanos.

Problema: en 1899, Joly (según la Memoria del Smithsonian) establece calibrados del tiempo geológico en función de los depósitos de sal. Se apoya en tres hipótesis: a) los océanos primitivos no eran salados. b) la sal procede de los continentes y es llevada al mar por los ríos. c) el aporte de sal ha sido constante a lo largo del tiempo geológico.

Colocando estaciones de aforo, se puede calcular cuánta sal aportan los ríos al mar cada año. Si se divide la cantidad de sal disuelta en todos los mares por la que se aporta cada año, se obtienen unos valores, según los cuales la edad de la Tierra podría estimarse en 100 millones de años.

¿Qué juicio te merecen estos cálculos? ¿Qué es lo que está midiendo en realidad Joly? ¿Crees que sirven para calcular la edad de la Tierra?.

c) El Gran Cañón del Colorado.

En un documental titulado “El Tiempo Geológico” se presentan estos datos: El Gran Cañón del Colorado ha dejado al descubierto casi 2.000 millones de años de historia del planeta. La depresión es de 1.500 metros de desnivel vertical. Si la sedimentación fuera un proceso continuo, ¿cuántos metros de sedimentos se habrían depositado cada millón de años en el Gran Cañón?. El río Colorado desciende lentamente por el fondo del Gran Cañón y arrastra muchos sedimentos. Si cada mil años el río se adentra 15 cm en el fondo, y si se supone una velocidad uniforme, cuánto tiempo lleva el río Colorado erosionado el Cañón?.

¿Qué métodos de datación utiliza Lyell? Se propone este problema:

Problema: Entre 1817 y 1823 Charles Lyell visita muchos puntos de interés geológico de Gran Bretaña. Entre estas excursiones geológicas destaca la visita a los acantilados de la costa de Sussex (sur de Inglaterra) en 1822. La disposición de las capas sedimentarias y la presencia de fósiles marinos en la cima de los acantilados (Figura 2), le persuaden de la existencia de lentos movimientos verticales de la corteza de la Tierra y de la lentitud del paso del tiempo. Este problema abrirá los ojos de Lyell a un modo diferente de interpretar las rocas y sus procesos. ¿Por qué llegó Lyell a esta conclusión?

Seguidamente se les entrega a los alumnos una copia del dibujo de la figura 3:

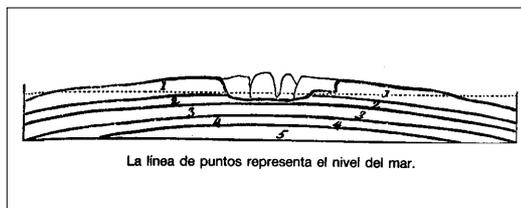


Figura 3: Un ejemplo clásico del gradualismo de Lyell -la denudación del Weald (en Gould, 1992, pg.141).

Problema: Sabiendo que esos materiales con el nº 1 son de edad Cretácica y de facies Weald (lacustre) depositado - tal como hoy sabemos - hace unos 70 millones de años), ¿qué procesos han actuado ahí? ¿Cómo ha evolucionado la costa hasta la actualidad?

Se pretende que los alumnos intenten reconstruir la historia geológica desde el Weald (Cretácico) hasta hoy: *¿Qué materiales se depositaron primero? Si tienen fósiles marinos ¿dónde se depositaron? ¿Qué pasó después del depósito de los materiales señalados con el nº 1? ¿Cuánto tiempo calculas que tardó en depositarse ese material?*

Después de que los alumnos plantean las hipótesis correspondientes, se presenta el esquema completo (Figura 4):

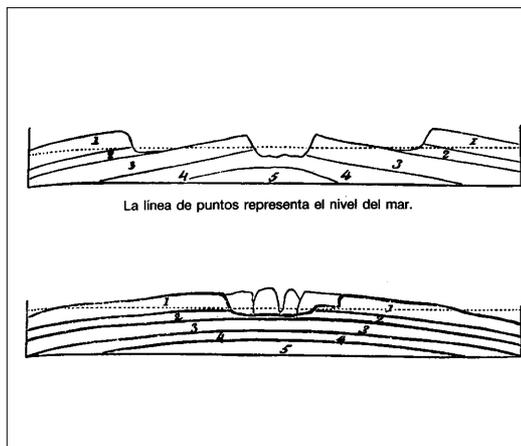


Figura 4: Interpretación de Lyell a la denudación del Weald.

La interpretación dada por Lyell a estos esquemas es la siguiente: como la serie estratigráfica es normal, primero se deposita el 5, luego el 4 y así hasta el 1. Todos ellos en medio marino menos el 1 que es lacustre (el Weald). Posteriormente, hay una elevación de la costa (que ya se inicia en el Weald), hasta quedar varios metros por encima del nivel del mar, un abombamiento general (forma un cierto anticlinal) y la denudación del Weald debido a los arroyos que se forman en el acantilado. La estructura geológica de la cuenca de erosión (arriba) es una gran colina, hundida tras el depósito de la “creta” durante el período Cretácico (el número 1 en ambas figuras).

La figura inferior representa la interpretación gradualista: es la colina inmediatamente después de su formación, con zonas de erosión y fragmentación que se inician en los depósitos de creta de la cumbre. En la figura superior se muestra cómo, por la erosión gradual de la creta y de sus capas subyacentes, se formó la cuenca actual, con una sustancial separación (por denudación) entre los montes del norte y del sur (lo que permanece de la capa superior de la colina original, etiquetada con el número 1).

Como señala Gould (1992), el primer ejemplo que propuso Lyell para el gradualismo condujo a Darwin a uno de sus errores más famosos. En la primera edición del *Origen de las Especies*, utilizó la denudación del Weald para ilustrar la insensible lentitud de los cambios en geología. Darwin estimó que esta denudación requirió un período de tiempo de 300 millones de años. Actualmente se calcula, a partir de los depósitos de creta, un período de 60 millones de años. En posteriores ediciones de *El Origen de las Especies*, Darwin, tras recibir severas críticas, retiró esos cálculos. Esta actividad, de gran interés didáctico, puede encontrarse desarrollada en Sequeiros, Pedrinaci y Berjillos (1996).

5. Lyell y Darwin: unas relaciones polémicas.

Lyell y Darwin tenían puntos de vista diferentes sobre muchas cosas (Sequeiros, 1983; Gould, 1977; Bowler, 1995). Lyell, once años mayor que Darwin, y más tarde uno de sus mejores amigos, era como éste un burgués rico, liberal y deísta, original y prudente, apasionado por la ciencia y dotado de una gran buena fe. En un trabajo anterior (Sequeiros, 1996) se ha abundado en las relaciones entre Lyell y Darwin. La lectura de Lyell en la expedición del Beagle fue su gran aliada Darwin, 1860, 1982). Aunque las circunstancias no están demasiado claras, el hecho es que Darwin (según escribe en la *Autobiografía*) embarca en el Beagle llevando el primer tomo de un libro recién publicado: “Había llevado conmigo el primer volumen de los *Principios de Geología* de Charles Lyell, que estudié atentamente y me resultó de gran utilidad en muchos aspectos”. Parece ser que fué Henslow quien se lo recomendó aunque reconocía que no estaba de acuerdo con sus contenidos.

Problema: por lo que ya sabemos de Lyell y de Darwin, ¿en qué estaban las diferencias entre ellos?.

Escribe Darwin: “Por mi parte, siguiendo la metáfora de Lyell, veo el registro geológico natural como una historia del mundo imperfectamente conservada y escrita en un dialecto cambiante; de esta historia solo poseemos el último volumen, concerniente sólo a dos o tres países. De este volumen sólo aquí y allá se ha conservado un breve capítulo; y de cada página, sólo aquí y allá unas pocas líneas”. (*Origin*, 1859).

¿Se pueden detectar ahora los puntos de vista diferentes entre Lyell y Darwin?

Completar el cuadro siguiente:

Puntos de acuerdo entre ambos:	
Charles Lyell	Charles Darwin
Puntos de desacuerdo entre ambos:	
Charles Lyell	Charles Darwin

Pero ¿hay algún cambio en las ideas de Lyell sobre el uniformitarismo?. Lyell se mantuvo firme durante más de veinte años en su concepción del uniformitarismo. Este se constata desde la primera edición de los *Principios* en 1830 hasta 1862, en que Lyell publica un trabajo *Sobre las evidencias geológicas de la antigüedad del hombre*. En él leemos que el progreso en la historia de la vida es “una hipótesis indispensable... que jamás se derrocará”.

Sin embargo, en 1872 parece haber un cambio en su apreciación cuando se publica la undécima edición de los *Principios*. En el capítulo 9, Lyell manifiesta una nueva postura: admite que un científico puede aceptar el progreso en la historia de la vida mientras sostiene firmemente las uniformidades de las leyes y de los procesos:

“Pero su confianza no necesita ser debilitada en la constancia invariable de las leyes de la naturaleza, o en su poder explicativo desde el presente hacia el pasado al considerar los cambios del sistema terrestre, en el mundo orgánico e inorgánico, con tal de que no se niegue, al menos en el mundo orgánico, la posibilidad de una ley de evolución y progreso”. (1872, I, 171).

¿Qué quiere decir Lyell en este texto? ¿Hay un cambio en la mente de Lyell? ¿Abandona la idea del “estado estacionario”? ¿Coincide con Darwin? ¿Se puede hablar de un uniformitarismo sustantivo en Lyell, que puede madurar y aceptar un cierto progreso histórico?.

Estas y otras actividades pueden ser incorporadas en el currículo de Ciencias de la Naturaleza de la Educación Secundaria Obligatoria (12-16 años) y que, con motivo del bicentenario de Hutton y Lyell permiten construir nuevos conocimientos básicos en Ciencias de la Tierra.

CONCLUSIÓN

Las figuras de James Hutton y Charles Lyell, considerados los fundadores de la geología moderna, son merecedoras de una atención especial. La importancia de las contribuciones que realizaron a la comprensión del Planeta son, a nuestro juicio, comparables a la potencialidad didáctica de algunas de sus aportaciones. Es el caso del actualismo, como método de análisis, de la dura crítica al catastrofismo precientífico, así como de la extensión de los límites del tiempo o del descubrimiento del "tiempo profundo".

Tras casi siglo y medio de dominio uniformitarista, la Geología es hoy neocatastrofista o, si se prefiere, neouniformitarista, y ha sabido integrar los procesos lyellianos (graduales y continuos) con las catástrofes (esporádicas e intensas).

BIBLIOGRAFÍA:

- Allain, J.-Ch. (1995). Séismes, éruptions volcaniques et intérieur de la Terre: conceptions d'élevés de huit à dix ans. *Aster*, París, 20, 43-60.
- Alvarez Suárez, R.M. (1996). Las controversias científicas. Sus implicaciones didácticas y su utilidad mediante un ejemplo: la controversia sobre la edad de la Tierra. *Alambique*, Edit. Graó, Barcelona, 8, 63-69.
- Bachelard, G. (1937). *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin, París (trad.español.: (1992) *La formación del Espíritu Científico*. Editorial Siglo XXI, México).
- Bartholomew, W. (1979). The singularity of Lyell. *History of Science*, XII, 276-293.
- Boladeras, M. (1982). *Metodologia de la Ciència. Materials per a una metateoria de la Geologia*. ICE, Col·lecció Documents, A-60, 153 páginas.
- Bowler, P. J. (1995). *Charles Darwin: el hombre y su influencia*. Alianza Universidad, Madrid, nº 832, 271 pág.
- Darwin, Ch.R. (1859). *The Origin of Species by means of Natural Selection*. Londres. (Hay numerosas traducciones al castellano: Bruguera, 1978; Edaf, Madrid, 1979, 1984; Akal, 1985; Espasa Calpe, 1987).
- Darwin, Ch.R. (1882). *Viaje de un Naturalista alrededor del mundo*. Editorial Aljara, Madrid, 457 pág. (traducción de la edición de 1860).
- de Renzi, M. (1980). Some Philosophical questions about palaeontology and their practical consequences. En: The Concept and Method in Paleontology. *Acta Geologica Hispanica*, CSIC, Barcelona, 16(1-2), 7-23.
- Ellenberger, F. (1994). *Histoire de la Géologie. 2: La grande éclostion et ses prémices, 1660-1810*. Tec&Doc (Edit.Lavoisier), 318 páginas.
- Gohau, G. (1995). Traquer les obstacles épistémologiques à travers les lapsus d'élevés et d'écrivains. *Aster*, París, 20, 21-42.
- Gould, S.J. (1977). Eternals metaphors in Palaeontology. In: Hallam, A. edit. *Patterns of Evolution*. Elsevier, Amsterdam, pág. 1-26.
- Gould, S.J. (1980). *Ever since Darwin. Reflections in Natural History*. Penguin Books, 283 páginas.
- Gould, S.J. (1992). *La flecha del Tiempo. Mitos y metáforas en el descubrimiento del Tiempo Geológico*. Alianza Universidad, Madrid, 736, 232 páginas.
- Hallam, A. (1985). *Grandes Controversias Geológicas*. Edit.Labor, Barcelona, 180 páginas.
- Hooykaas, R. (1963). *The principle of Uniformity in Geology, Biology and Theology*. E.J.Brill, Leiden.
- Hooykaas, R. (1966). *Geological uniformitarianism and Evolution*. Arch. Internat. History of Sciences, Lieja, 3-19.
- Hooykaas, R. (1970). Catastrophism in Geology, its scientific character in relation to actualism and uniformitarianism. *Nieuwe Reeks*, vol. 33 (7), 267-316.
- Kuhn, T.S. (1975). *Estructura de las Revoluciones Científicas*. (Con la postdata de 1969). Fondo de Cultura Económica, México, 319 páginas.
- Lawrence, Ph. (1978). Charles Lyell, versus theory of Central Heat: a reappraisal of Lyell's place in the History of Geology. *Journal of History of Biology*, 11(1), 101-128.
- Lyell, Ch. (1830-1833). *Principles of Geology, first edition*. 1990-1991. University of Chicago Press, 584+330 páginas.
- Lyell, Ch. (1847). *Elementos de Geología, traducidos por J.Ezquerria del Bayo, con adiciones sobre los terrenos de España*. Madrid.
- Lyell, K.M. (1881). *Life, Letters and Journals of Sir Charles Lyell*. 2 vol, John Murray edit, Londres.
- Pedrinaci, E. (1992a) Catastrofismo versus actualismo. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 216-222.
- Pedrinaci, E. (1992b). *Construcción histórica de los conceptos de cambio geológico, tiempo geológico y origen de las rocas. Aportaciones para su enseñanza y aprendizaje*. Memoria Investigación curso doctorado, Universidad de Sevilla, 160 pp.(inéd.).
- Pedrinaci, E. (1993a). Utilidad de la historia de la Geología. En: Aldaba et al. *Educ.Abierta*, ICE Zaragoza, 105, 111-146.
- Pedrinaci, E. (1993b). La construcción histórica del concepto de tiempo geológico. *Enseñ.de las Ciencias*, 11 (3), 315-323.
- Pedrinaci, E. (1994). La Historia de la Ciencia como herramienta didáctica. *Enseñ.Ciencias de la Tierra*, 2(2-3), 332-339.
- Pedrinaci, E. y Alvarez,R.M. (1992). Obstáculos en la construcción de las nociones acerca del origen de las rocas. *VII Simposio de Enseñanza de la Geología*. Santiago. pp. 173-184.
- 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.
- Pelayo, F. (1991). *Las teorías geológicas y paleontológicas durante el siglo XIX*. Historia de la Ciencia AKAL, nº 40, 55 pág.
- Porter, R. (1976). Charles Lyell and the principles of the History of Geology. *British Journal of History of Science*, 22, 91-103.
- Rudwick, M.J.S. (1986). *El significado de los fósiles. Episodios de la historia de la Paleontología*. Hermann Blume, Madrid, 347 pág. (traducción del original de 1972).
- Ruse, M. (1979). *La revolución darwinista: la ciencia al rojo vivo*. Alianza Universidad, Madrid, 355 pág.
- Sequeiros, L. (1983). Acercamiento pedagógico a las ideas de "modernidad" en Geología: trasfondo ideológico de Ch.Lyell y Ch.Darwin. *Memorias del II Simposio sobre Enseñanza de la Geología*. Gijón, 260-273.
- Sequeiros, L. (1996). Darwin como geólogo: sugerencias para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, AEPECT, 4,1, 21-29.
- Sequeiros, L., Pedrinaci, E., Berjillos, P. (1996). Cómo enseñar y aprender significados del tiempo geológico: algunos ejemplos. *Enseñ.Ciencias de la Tierra*, AEPECT, 4,2, 113-119.
- Solé Sabarís, L.I. (1982). Lyell a Catalunya i el volcanisme Olotí. *Revista de Girona*, 100, 209-216.
- Yus, R. y Sequeiros, L. (1995). Los cambios en los sistemas biológicos. En Hierrezuelo J. coord. *Educación Secundaria. Ciencias de la Naturaleza*. Edit. Edelvives, Zaragoza, tomo 4, 331-565.
- Wilson, L.G. (1975). Lyell et la naissance de la Géologie. *La Recherche*, 61, 940-949. ■