

¿CÓMO LLEGÓ A CONVERTIRSE EL ACTUALISMO EN PRÁCTICA HABITUAL DEL PROCEDER DEL GEÓLOGO?

ENCARNACIÓN CABEZAS OLMO

Profesora de Filosofía

RESUMEN

La geología de hoy en día debe mucho al trabajo efectuado por James Hutton y Charles Lyell, quienes fueron los más directos responsables del progreso que experimentó esta ciencia desde 1780 hasta 1840, dado que durante este período se fueron consolidando los fundamentos epistemológicos de las modernas ciencias de la Tierra. Así pues, gracias a la novedosa aportación de sendos geólogos vocacionales, la geología abandonó su estado precario y pudo erigirse en una ciencia independiente, empírica y moderna.

El presente trabajo trata de explicar de qué modo el actualismo se convirtió en práctica habitual de la actuación del geólogo, cuál fue su procedencia y qué debates afloraron a raíz de su implantación.

ABSTRACT

Geology nowadays owes a great deal to the research carried out by James Hutton and Charles Lyell, who were responsible for the development experienced by this science between 1780 and 1840, as it was during this period when the epistemologic fundamentals of modern geological sciences were consolidated. Therefore, due to the above mentioned vocational geologists valuable contribution, it was possible for geology to abandon its former unstable situation and develop into an independent, empirical and up-to-date science.

This paper tries to explain how actualism has become a regular procedure amongst geologists, what its origins were, and what discussions have arisen as a result of its establishment.

Palabras clave: Principio de uniformidad, Actualismo, Causas verdaderas (*vera causa*), Geología, Siglo XIX.

James Hutton y el borrador del actualismo

A pesar de que en la figura de Niels Stensen (1638-1686), más conocido por Steno, puede encontrarse una propuesta actualista, ocurre que el escocés James Hutton (1726-1797) fue el primero que la incluye como fundamento en una teoría de la Tierra. Así pues, los geólogos tienen una permanente deuda de reconocimiento y gratitud con este naturalista formado en el campo de la medicina, quien con unos amplios conocimientos de los materiales y los procesos geológicos tuvo la intuición genial de concebir los fundamentos metodológicos de la ciencia que debería articular todos ellos, así como la autoridad y la fuerza necesaria para darlos a conocer y defenderlos ante la comunidad científica. Podemos así considerar la idea o Principio de Uniformidad, enunciado por Hutton en 1780 y establecido más adelante, en 1836, por Charles Lyell (1797-1875), como el punto de arranque y fundamento de la geología como auténtica ciencia [MELÉNDEZ, 2002, p. 10].

La idea de uniformidad, que era oriunda del campo de la astronomía newtoniana y estaba especialmente relacionada con la noción de espacio infinito, fue adoptada por Hutton con el fin de incardinarla en los entresijos de una primitiva ciencia de la geología y así conseguir su total liberación del «yugo» especulativo. Como consecuencia de ello, los estudiosos incrementaron su interés por el análisis de la evidencia contenida en las mismas rocas, las cuales (y desde entonces) fueron interpretadas en términos de procesos como el clima, la erosión, el transporte y el depósito de sedimentos en el océano. Los procesos observables, por ende, pasaron a ser protagonistas de la ciencia geológica y se eliminó toda forma de sobrenaturalismo [HUBBERT, 1967, p. 35].

La justificación de este novedoso proceder parece encontrarse en el hecho de que Hutton, al igual que muchos naturalistas escoceses, fue un deísta que negó la intervención divina en los desarrollos de la Naturaleza física [SEQUEIROS, *et al.*, 1997a, p. 13]. Además, su fuerte tendencia hacia el materialismo mecanicista —a la manera de Julien-Offroy de la Mettrie (1709-1751); o de Paul Heinrich Dietrich Holbach (1723-1789)—, junto con su radical desconfianza hacia toda causalidad oculta, terminaron por condicionar significativamente la metodología que subyacía a su labor científica.

El criterio que siguió fue, como ya ha sido dicho, que los mismos procesos físicos operantes en la actualidad también lo habían hecho en el pasado. El orden o sistema del mundo no era resultado de un plan divino, sino efecto

de la naturaleza de las cosas y sus leyes inmanentes. Pero Hutton también concluyó que si las cosas presentes eran analizadas, entonces sería posible encontrar datos desde los que poder razonar aquello que había sido. En definitiva, los antiguos cambios de la corteza terrestre, así como los venideros, se explicarían recurriendo sólo y exclusivamente a la acción de los presentes agentes naturales (como el sol, la atmósfera, el viento, los ríos...), puesto que el único propósito de Hutton era evitar un sistema geológico de Sabiduría Aparente (BUSHMAN, 1983, p.45). La posterior respuesta de Lyell a este adelanto teórico de Hutton fue el siguiente comentario:

Con esta premisa, Hutton consiguió excluir todas las causas que se suponían fuera del orden actual de la Naturaleza y, en consecuencia, reivindicar la función ordenada de las leyes naturales [LYELL, 1830-1833, p. 98].

Hutton, pues, fue el primer geólogo que desvinculó toda causa hipotética o extraordinaria de los planteamientos geológicos. Ahora bien, si quería hacer viable este proyecto, entonces debía desestimar obligatoriamente a las catástrofes (o interrupciones del ritmo geológico) como causas adecuadas para explicar los cambios geológicos, puesto que en la Naturaleza todo estaba organizado de manera ordenada y armonizada, sin discontinuidades. La inducción era posible para Hutton y no importaba cuán imperfecto fuese el propósito, siempre y cuando se adscribiesen las causas naturales de las operaciones de tiempos pasados. Por consiguiente, en la constitución del mundo que ahora se examina se hallan los medios para leer los anales de una Tierra pasada [HUTTON, 1795].

Esta teoría del desarrollo geológico descansaba sobre la idea de que las fuerzas de la Naturaleza eran constantes, siempre idénticas, además de ser responsables de la sucesión histórica de los estratos rocosos. Desde el parecer de Hutton, las mismas fuerzas geológicas que en el momento actual están presentes y forman, rompen y reforman las rocas constitutivas de la superficie de la Tierra, ya habían operado en el pasado y lo harán en el futuro. Por tanto, es posible hacer afirmaciones relativas en torno a procesos muy alejados en el tiempo a partir de los observados en el campo [MASON, 1988, p.18].

Gracias a Hutton, y a partir de entonces, la geología empezó a asentarse sobre los principios sólidos de las causas verdaderas (*vera causa*) que Isaac Newton (1642-1727) estableció previamente para la astronomía. Se trataba, en definitiva, de no inventar ninguna causa desconocida, fantasiosa

o extraordinaria por muy lógica que pareciera, si los procedimientos habitualmente disponibles podían ser suficientes [GOULD, 1992, p. 139].

La obstinación que Hutton manifestó por demostrar el acierto de aplicar las causas verdaderas (*vera causa*) le aportó una doble ventaja: por un lado, le permitió ser el primero en delimitar cuál debía ser el verdadero ámbito de la geología; por el otro, al tomar como punto de partida una interpretación uniformitaria y cíclica de los procesos geológicos, pudo ofrecer una visión aristotélica del tiempo geológico que, en su particular caso, se conoció como *tiempo profundo* [ÁLVAREZ SUÁREZ, 1996, p. 65]. Esta noción, aunque privada de la necesaria esencia de progreso, facilitaría el paulatino declive de la cronología mosaica (o bíblica), así como la futura asunción de la *inmensidad del tiempo geológico* [CABEZAS, 1997, p. 32]. Hutton dijo:

«En la economía del mundo yo no puedo encontrar huellas de un comienzo ni la perspectiva de un fin» [HUTTON, 1788].

Ciertamente la figura de Hutton significó el peldaño imprescindible para que Charles Lyell pudiera desarrollar el Principio de Uniformidad de un modo amplio y fructífero.

Charles Lyell y el remate del cuadro actualista

El concepto de uniformitarismo (*Uniformitarianism*) adquirió una gran complejidad al convertirse en un importante método de trabajo y transformarse con el paso del tiempo en un paradigma básico de la geología moderna [SEQUEIROS *et al.*, 1997b, 26]. Dicha doctrina destacaba principalmente por su carácter bicéfalo, puesto que presentaba una vertiente metodológica de cariz actualista, que se correspondía con los significados de *uniformidad de ley* y *uniformidad de procesos*, así como una vertiente sustantiva, que se convertiría en un elemento explicativo del acontecer empírico tanto en su dimensión geológica (referente al significado de *uniformidad de intensidad*) como en su dimensión orgánica (referente al significado de *uniformidad de estado o estado estacionario*). Conviene aclarar que estos dos últimos significados de uniformidad resultaron ser muy polémicos y generaron consecuencias sumamente conflictivas e inquietantes para la ciencia general del momento. No obstante, el presente trabajo obviará tales asuntos con el fin de ofrecer una explicación más detallada y exhaustiva acerca del papel que desempeñó el principio del actualismo dentro del sistema uniformitario de Lyell, así como de todas sus implicaciones.

El primer significado de uniformidad (*uniformidad de ley*) hacía referencia a un principio metodológicamente universal para todas las ciencias y su enunciado venía a decir que las leyes naturales actualmente en vigor están siempre operando, es decir, son invariables espacio-temporalmente [HOOYKAAS, 1970, p. 122]. Tal como hizo saber John Stuart Mill (1806-1873) se trataba de una afirmación apriorística acerca del método que deben utilizar los científicos para seguir adelante con el análisis del pasado —lo que explicaría el completo asentimiento de la comunidad científica, incluidos sus más directos adversarios, es decir, los catastrofistas—.

Lyell formuló este principio metodológico en una carta dirigida en 1829 a Roderick Impey Murchison (1792-1871), en la cual subrayó que las causas de los primeros tiempos han estado actuando hasta el presente y están ahora mismo actuando en idénticos grados de energía. Con estas palabras, Lyell enunció un *actualismo extremo*, el cual era un método que se subdividía. Por una parte, sostenía que si todo el cambio geológico del pasado era producto de idénticas causas —en tipo y energía— a las que actúan hoy en día, entonces el cambio debió acontecer gradualmente y, por la otra parte, contemplaba la posibilidad de que si las causas continúan actuando con la misma intensidad, tal vez se pueda inferir que la energía del sistema posiblemente no disminuye con el paso del tiempo [OSPOVAT, 1977, p. 328].

Es conveniente precisar que el actualismo era concebido como un método de análisis que no exigía un ritmo idéntico de los procesos naturales para todo el pasado geológico. Únicamente defendía que la forma en que podemos reconstruir el pasado es analizando las causas que intervienen en la actualidad. Se puede decir, en consecuencia, que todo uniformitarista es actualista, pero no a la inversa [PEDRINACI, 1992, p. 217].

El segundo significado de uniformidad (*uniformidad de procesos*) hacía referencia a la naturaleza de las causas y fundamentalmente era un *principio metodológico de simplicidad*, o sea, una versión adaptada de la primera de las reglas para filosofar que Newton había establecido en sus *Principia*. Esta norma de razonamiento en filosofía natural era un principio de sencillez y establecía que no debía admitirse más causas de cosas naturales que las que sean verdaderas y suficientes para explicar sus fenómenos [NEWTON, 1687, p. 657].

Los catastrofistas, acérrimos oponentes del sistema uniformitario de Lyell, parecieron estar de acuerdo en este punto, aunque con una ligera salvedad.

Lyell había creído en conformidad con Hutton que los procesos actuales bastaban para explicar el pasado, en cambio, los catastrofistas afirmaron que algunos sucesos del pasado requerían (para su correcta explicación) de la inferencia de causas que ya no estaban en acción, puesto que habían actuado a ritmos marcadamente superiores a los actuales [GOULD, 1983, p. 169].

Lo dicho hasta el momento incide en lo que se vendría a llamar *actualismo metodológico*, el cual hacía referencia al hecho de que las mismas causas que actúan en el presente ya actuaron en el pasado [DE RENZI, 1988]. Este significado se apoyaba en la invarianza de las leyes naturales, asociada a los principios metodológicos de inducción y simplicidad. Inducción, por cuanto se infieren las causas actuantes en procesos actuales para aplicarlas a sucesos antiguos. Simplicidad, puesto que se eliminan las posibles alternativas que dependen de proposiciones hipotéticas inobservables [GOULD, 1967]. Sin embargo, a pesar de encontrar en Lyell un *actualismo riguroso*, su posición en este particular punto no difería cualitativamente de la de sus oponentes científicos [RUDWICK, 1970, 7].

Las razones coadyuvantes a la adopción del compromiso actualístico

Si bien es cierto que se ha conseguido ahondar en la problemática uniformitaria, ciertas preguntas todavía no han sido respondidas como, por ejemplo: ¿cuáles fueron las razones que llevaron a Lyell a cimentar la ciencia geológica sobre el principio newtoniano de las causas verdaderas (*vera causa*)? ¿obedecía esta actitud a un interés por parte de Lyell de seguir los pasos iniciados por su antecesor James Hutton? O tal vez... ¿Lyell quiso elevar la geología al prestigioso status científico del que ya disfrutaba la astronomía, pero del que ella todavía carecía?

Lyell argumentó que su proposición metodológica actualística debía ser aceptada, puesto que de lo contrario se reviviría el antiguo espíritu de la especulación y se manifestaría el deseo de cortar (en lugar de desentrañar) el nudo gordiano [GOULD, 1983, p. 168]. Lyell era consciente de que la geología del siglo XIX todavía estaba dominada por la «especulación vacía y de salón», teñida de teología natural. El sobrenaturalismo, entendido como las interferencias de la Creación divina en los fenómenos post-creacionales, era el eje que todavía guiaba las explicaciones de los geólogos (principalmente de algunos catastrofistas) acerca del pasado de la Tierra.

La aportación más importante que Lyell hizo a las ciencias de la Tierra fue la de explicar todos los hechos geológicos acaecidos sin tener que recurrir a las intervenciones divinas. Tales acontecimientos (desde su punto de vista) se habían desencadenado de forma natural y por la actuación lenta, gradual y continua de los procesos físico-químicos, así como de los biológicos. Este geólogo vocacional consiguió destronar a la geología bíblica —una tendencia liderada por William Buckland (1784-1856)— con el fin de construir una nueva ciencia geológica, heredera de los aires emancipadores de la Razón Ilustrada [SEQUEIROS, 1997, p. 138].

Recordemos que el libro del Génesis constituyó por sí mismo una fuente inagotable de obstáculos para la moderna geología. Durante siglos, numerosas concepciones científicas pretendieron acomodar la realidad natural a las revelaciones divinas, puesto que la historia de la Tierra estaba literalmente relatada en la Biblia [GARCÍA CRUZ, 1998, p. 325]. El deseo más profundo de Lyell era convertir la geología en una ciencia moderna, basada en la más pura razón y observación empírica que brindaba el terreno, además de desligarla de todas las representaciones mítico-religiosas.

Los catastrofistas, liderados por Georges (Leopold Chretien Frederic Dagobert) Cuvier (1769-1832), fueron herederos de la tradición teísta y recurrieron a las Sagradas Escrituras para sustentar sobre una firme base algunas de sus teorías geológicas como, por ejemplo, la que afirmaba la juventud de la Tierra o la que atestiguaba una historia de la Tierra punteada por una serie de acontecimientos dramáticos. En opinión de ellos, el presente podía ser lento y gradual, pero los sucesos del pasado, debidos al Creador y revelados por la estratigrafía, fueron abruptos y cataclísmicos [RUDWICK, 1970, p. 11]. Desde dicho marco interpretativo resultaba insostenible el actualismo extremo de Lyell, puesto que las causas geológicas y físicas que operaban en el momento presente eran inadecuadas para explicar tan repentinos sucesos [PELAYO, 1984, p. 49].

Ante tal tesitura, Lyell apuntó que su propósito era liberar a la ciencia de las ataduras de Moisés, vía sistema geológico [PORTER, 1982, p. 38] con el fin de doblegar al viejo sistema catastrofista diluvista y ubicarlo en el ámbito que realmente le correspondía [SEQUEIROS, 1997, p. 135]. Los *Principles of Geology* (obra por la que Lyell fue premiado en 1834 con la *Royal Medal*), evidencian el interés de su autor por demarcar el ámbito geológico de las Escrituras, por encontrar razones naturales para los fenómenos geológicos más

sorprendentes, así como por interpretar la historia de la Tierra como una serie de acontecimientos comparables a los que todavía estaban ocurriendo. Esta obra lyelliana resultó ser intensamente controvertida en la formulación de argumentos y contraargumentos que finalmente concluyeron en un transitorio éxito del sistema uniformitarista [CABEZAS, 2002, p. 53]. En efecto, en los últimos tiempos se han presentando sólidos trabajos reivindicativos de que en el pasado acontecieron indistintamente tanto procesos graduales y continuos como procesos esporádicos responsables de grandes efectos —cambios climáticos de gran envergadura, cambios en la polaridad del campo magnético, impactos de meteoritos o grandes terremotos—, contribuyendo de esta manera al desgaste de las tesis uniformitarias. Esta nueva concepción se ha denominado *catastrofismo actualista*, o *neocatastrofismo*, y defiende la tesis de que las catástrofes deben entenderse como sucesos normales ocurridos en el pasado, lo cual es un claro ejemplo de la aplicación del Principio de Uniformidad en la Naturaleza [PEDRINACI, 1992, p.220]

El actualismo o la mejor opción metodológica

El mapa metodológico vigente en la ciencia británica del siglo XIX estaba compuesto por procedimientos incapaces de colmar las necesidades de Lyell, quien estuvo obligado a indagar vías más apropiadas para la consecución de sus propios objetivos, no sin antes proceder a desmitificar algunas de las metodologías vigentes en aquel momento.

La primera de ellas fue el *método de inducción por simple enumeración*, que era un tipo de inducción incompleta y que constituía el método oficial de la Geological Society of London (Sociedad Geológica de Londres). Dicha institución se fue fraguando a medida que las reuniones proliferaron y adquirieron carácter oficial en 1807. Sus primeros componentes tuvieron una formación ecléctica —unos eran grandes conocedores e investigadores del campo (*practical men*), otros procedían de la Sociedad Mineralógica Británica (creada en 1799)—, y favorecieron el progreso y desarrollo de la ciencia geológica decimonónica.

La línea de investigación de esta agrupación pionera en su especialidad la marcó Georges Bellas Greenough (1778-1855), quien fue su presidente desde 1807 hasta 1813. En 1808 apareció su primera publicación después surgieron las *Transactions y Proceedings* conocida como *Geological Inquiries*, la cual contribuyó a demarcar el ámbito de la geología y a clarificar los términos

adecuados en los que debía quedar establecida su relación con la mineralogía y la química. Tras superar las diferencias sufridas con la Royal Society of London y su presidente, Sir Joseph Banks (1743-1820), la Sociedad Geológica de Londres disfrutó de un período altamente fructífero entre 1820 y 1850. A partir de entonces, sus geólogos y monógrafos fueron considerados los mejores del mundo. Hombres ilustres como Adam Sedgwick (1785-1873) en 1818; Lyell en 1819 o, finalmente, Sir Henry Thomas de la Bèche (1796-1855) en 1849 fueron sus presidentes [RUDWICK, 1963, p. 327]. Especial mención merece el joven Charles Darwin (1809-1882), quien fue nombrado su secretario honorífico poco tiempo después de regresar del largo periplo por las islas Galápagos y las costas sudamericanas.

La segunda de las metodologías que Lyell puso en entredicho fue la *inducción eliminativa*, que también fue catalogada como incompleta y que respondía perfectamente a ciertos objetivos trazados por la Royal Society of London como, por ejemplo, el ahínco por fomentar el conocimiento de las cosas naturales y las artes sin inmiscuir cuestiones teológicas, metafísicas, morales, políticas, o gramaticales. Se pretendía, así, edificar un sistema completo de sólida filosofía capaz de explicar mediante la justificación racional de las causas todos los fenómenos producidos por la Naturaleza. Este novedoso proceder diseñado por Francis Bacon (1561-1626) experimentó un amplio despliegue en los albores de la citada sociedad e incluso impregnó los estatutos propuestos en 1663 por Robert Hooke (1635-1703). En respuesta a la ineficacia que había demostrado el decadente método aristotélico a la hora de descubrir nuevas verdades, Bacon estableció los fundamentos de una «nueva filosofía», o lo que durante mucho se conoció como «filosofía experimental». No obstante, su influencia decreció hacia la década de los ochenta y fue sustituido por el *método experimental* de Galileo Galilei (1564-1642); el cual ejerció un importante papel en la fundación de la ciencia moderna [CABEZAS, 1997, p. 37].

Francis Bacon se apresuró a criticar a la *inducción por simple enumeración* porque la consideró una seria rival de su propia metodología. Él dijo:

«Pues aquella de la que hablan los dialécticos que procede por enumeración simple, es algo pueril y saca la conclusión en precario y peligra por la presencia de un hecho contradictorio; además, contempla sólo lo habitual y no halla la salida [...]» [BACON, 1620, p. 54].

La seguridad de las conclusiones de la *inducción por simple enumeración* era muy relativa, puesto que podía comprobarse la existencia de una cualidad

en un número muy grande de fenómenos y objetos constituyentes de una clase y, sin embargo, no corresponderse a la totalidad de la misma. Bacon subrayó esta deficiencia e intentó subsanarla al exigir de la vía creada por él que la observación de los casos negativos funcionase como contraprueba de la conclusión extraída de los casos positivos. Así pues, este fue el papel que ejerció la «tabla de ausencia» en el método baconiano, uno de los grandes aportes al desarrollo de la investigación científica [FRONDIZI, 1949, p. 25].

Mientras que la *inducción* que ha de ser útil para el descubrimiento y demostración de las ciencias y de las artes, debe analizar la naturaleza por las debidas eliminaciones y exclusiones; y luego, tras un número suficiente de negativas, concluir sobre hechos afirmativos, lo cual no se ha hecho hasta ahora, ni siquiera intentado, con la sola excepción de Platón, que a la verdad, emplea en cierta medida esta forma de inducción para discutir definiciones e ideas [BACON, 1620, p. 145].

En suma, la *inducción por simple enumeración* únicamente tenía en cuenta los casos positivos; en cambio, la *inducción eliminativa* o *baconiana* también contemplaba los casos negativos registrados en la mencionada «tabla de ausencia».

Pero si la *inducción por simple enumeración* había ido perdiendo posiciones en el campo de la geología (sobre todo después de las críticas de Bacon), algo similar ocurriría con la *inducción eliminativa*. En efecto, la dificultad de producir una verdadera lista exhaustiva de todas las posibles hipótesis rivales se convirtió en el talón de Aquiles del método baconiano. La objeción que se le hizo fue la siguiente: si el propósito del geólogo es descubrir las causas productoras de los efectos geológicos observables, entonces esta inducción ayuda bien poco. Por este motivo, Lyell animó a la comunidad de geólogos a que desestimase la tan en boga influencia baconiana.

El tercer método en discordia fue el de la *hipótesis*, el cual gozaba de gran aceptación entre aquellos geólogos que mostraron debilidad por la construcción de sistemas y entre aquellos cosmologistas defensores del enfriamiento lento de la Tierra desde un estado incandescente. Según este procedimiento, cualquier hipótesis compatible con la evidencia empírica sería catalogada de (como mínimo) probable y, en consecuencia, una de sus mayores ventajas resultaría ser la derivación de ciertas conclusiones a partir de un número mucho más pequeño de datos. Paladín de esta postura fue John Woodward (1665-1722), quien obtuvo importantes elogios tras la publicación de su *Essay toward*

a natural history of the Earth (1695). Sin embargo, Lyell le juzgó duramente por inducir a los investigadores a perder el tiempo en vanas especulaciones, en especial en torno a las causas de los fenómenos. El problema de la *hipótesis* era su carácter sin resultado, pues la mera compatibilidad entre una hipótesis y un número limitado de efectos observados no era guía sólida para la verdad de una hipótesis. De todas las metodologías vigentes, el *método de la hipótesis* era el menos fiable para Lyell [LAUDAN, 1982, p. 220].

La construcción de la «genuina geología»

Una vez que Lyell hubo analizado de un modo concienzudo y crítico el elenco metodológico, entonces estuvo en condiciones de proponer el suyo propio. La maestría de su jugada estribó en articular el *método de la analogía* con el mejor procedimiento científico disponible en aquel entonces, es decir, la *metodología newtoniana*. El resultado de tal adopción fue la constitución de una «genuina geología» que, en opinión de Lyell, debía ser una ciencia causal alejada de la pura especulación e imaginación [ALBERTO, 1988, p. 128].

Así pues, una vez demostrada la no-viabilidad de las metodologías operantes, Lyell optó por introducir el principio newtoniano de las causas verdaderas (*vera causa*) como soporte epistemológico de su teoría uniformitarista.

La vía newtoniana era oriunda del ámbito de la mecánica y simbolizaba un gran paso adelante respecto del *método resolutivo-compositivo* galileano, el cual, tal como hizo saber René Descartes (1596-1650) en una carta dirigida en 1638 a su íntimo amigo Marin Mersenne (1588-1648) [KOYRÉ, 1990, p. 135], presentaba ciertos contratiempos a la hora de resolver los problemas físicos. Por tanto, a pesar de que Descartes se mostró conforme con el examen matemático llevado a cabo por Galileo en torno a los problemas físicos, apostilló que el sabio italiano incurría en disgresiones continuas al desatender las primeras causas de la Naturaleza y construir el saber sin fundamento [CROMBIE, 1996, p. 148].

Ante los ojos de Lyell el método de Newton parecía más fiable porque arrancaba de un sólido conocimiento de los hechos particulares obtenido por la experiencia y el ejercicio de la razón. Newton dibujó cuatro principios o reglas para el razonamiento en filosofía experimental. En conformidad con el cuarto principio, las proposiciones inferidas de los fenómenos por inducción general debían considerarse total o prácticamente verdaderas. A partir de este enunciado, Newton derivó la famosa máxima *hypotheses non fingo*, la cual expresaba la

orientación que pretendía dar a la investigación física, o sea, ignorar las hipótesis gratuitas, las no-verificadas, las cuales eran las cualidades ocultas de las que había hablado la física aristotélica y funcionaban como un muro de contención para el pleno desarrollo de la filosofía natural [NEWTON, 1704, 346]. Pero, además, la mencionada divisa ponía de manifiesto la resolución de apartar del camino de la investigación a todo tipo de hipótesis especulativas, o sea, conjeturas no susceptibles de verificación empírica directa e indirecta, lo cual no implicaba prescindir de las hipótesis en el sentido factual de la palabra.

Durante el siglo XIX se discutió ampliamente acerca de la conveniencia o no-conveniencia de introducir el método de las causas verdaderas (*vera causa*) en el campo de la geología. *Essays on the intellectual powers of man* (1785) de Thomas Reid (1710-1796) fue un claro ejemplo de ello. En este trabajo se presentó como *primer requisito* de la causa verdadera el hecho de que debía ser conocida como teniendo existencia real; y como *segundo requisito* el que debía ser adecuada para producir el efecto. Es altamente probable que Lyell llegase a conocer el principio newtoniano por mediación de los trabajos del citado Reid o los de John Fleming (1785-1857) y Sir John Frederick William Herschel (1791-1871). Este último declaró que las causas newtonianas no eran meras hipótesis de la mente. Más tarde, y refiriéndose al campo específico de la geología, Herschel arguyó que si acontecía una gran semejanza entre dos fenómenos y, al mismo tiempo, la causa de uno era conocida, entonces era absurdo no reconocer la acción de una causa análoga en el otro fenómeno, aunque su percepción fuese menos clara [HERSCHEL, 1830].

Este análisis epistemológico de Herschel equiparaba a la *vera causa* con un concepto paradigmático-empirista que recordaba a los planteamientos de Lyell. En definitiva, podría decirse que las preferencias que Lyell mostró por el actualismo se asemejaban a las manifestadas por Herschel respecto de las causas verdaderas, aunque con la particularidad de estar traducidas al lenguaje de la geología [RUSE, 1983, 87].

Pero la comunidad de geólogos de aquel entonces expresó su desconfianza ante tales argumentaciones defensoras de la incardinación de un principio «extraño y ajeno» en el seno de la geología. No obstante, y a pesar de este contratiempo, Lyell siguió adelante con esta nueva forma de hacer ciencia.

El filósofo se ha convencido de la uniformidad constante de las causas secundarias y, guiado por la confianza en este principio, determina la probabilidad

de los relatos que le han sido transmitidos de sucesos pasados... [LYELL, 1830-1833, p. 116].

Las causas secundarias eran las causas segundas y la causa primera era la divinidad actuante a través de las leyes de la Naturaleza, las cuales funcionaban como causas verdaderas que el científico debía desvelar. Gracias a esta actitud, Lyell cosechó una doble ventaja. En primer lugar, eliminó las explicaciones sobrenaturalistas de la geología, pues Dios era visto como fundamento de las existencias de este mundo. En segundo lugar, constató que las leyes naturales, así como los acontecimientos del pasado geológico, habían sucedido de manera uniforme y habían incidido en los mismos procesos que los actuales. Esto explica el porqué tan a menudo se ha presentado el Principio de Uniformidad como ejemplo geológico de ley, de importancia comparable a las leyes más relevantes de la física.

Al adoptar esta posición, Lyell consiguió engarzar la geología con una epistemología de corte empirista, la cual, con el paso del tiempo, se constituyó en hábito común de todos los geólogos que ejecutaban inferencias del pasado al presente, y viceversa. Lyell (muy meritoriamente) situó a la geología en aquella parte de la filosofía natural interesada por las causas de las cosas (*causalismo*); bien distinta de aquella parte de la filosofía natural que explica los fines de las cosas (*teleologismo*) un vocablo acuñado por Christian Freiherr von Wolff (1679-1754) [WOLFF, 1728].

Si remontamos nuestro discurso causal hasta los tiempos de Aristóteles (384a.C. - 322a.C.) apreciaremos que el Estagirita asignaba a cada suceso una causa eficiente responsable del movimiento y una causa final (o propósito) favorecida por ser el «Bien por excelencia» [GOULD, 1984, p. 84]. A partir de Galileo Galilei, y su diferenciación entre cualidades primarias y cualidades secundarias, la causa eficiente eclipsó definitivamente a la causa final aristotélica [GALILEI, 1623]. Así pues, la *nuova scienza* aparecida con el sabio italiano (y continuada por Newton) fue primordialmente el resultado de una mutación teórica y no, precisamente, un proceso acumulativo de cambio. Por consiguiente, no solamente las respectivas ontologías y epistemologías de la ciencia antigua y la nueva ciencia eran absolutamente distintas, sino que también lo eran sus experiencias, así como sus criterios de control experimental. Para la ciencia antigua, pues, conocer la Naturaleza era tener conciencia de sus modificaciones cualitativas (finalismo); para la ciencia moderna, la

Naturaleza es interpretada desde parámetros mecanicistas (causalismo) [BELTRÁN, 1995, p. 134].

En suma, el punto de vista mecanicista triunfó sobre las especulaciones metafísicas. Esta recién inaugurada línea de pensamiento ofreció al mundo científico una ventaja hasta entonces insospechada: la capacidad de predecir, la cual dependía del conocimiento especial de las uniformidades o regularidades de la Naturaleza. Al principio, hubo una fuerte reticencia a aceptar esta inédita perspectiva metodológica porque se subestimó el peso de la escrupulosa atención a los detalles y se tuvo un cierto regusto por las pretensiones cartesianas, aspirantes a deducir el concepto de sustancia extensa a partir de un mundo mecánico. Poco a poco se fue comprendiendo que los objetivos de la ciencia (aunque limitados) eran alcanzables y provechosos; a diferencia de los de la filosofía especulativa que, aunque profundos y muy deseables, estaban por el momento fuera de toda posibilidad humana. En definitiva, el método científico de Newton inició el crepúsculo de la especulación y aceleró el desarrollo del conocimiento de las regularidades del mundo físico, bien distinto del conocimiento del objeto último (o esencia) de la Naturaleza [HULL, 1984, p. 226].

La primera disciplina que quedó impregnada de este espíritu de reconstrucción científica fue, como ya se ha dicho, la mecánica. La Naturaleza debía ser adecuadamente interrogada para que pudiese brindar las leyes y modelos científicos; y las causas eficientes serían el punto de partida que, en manos de Newton, tendrían la particularidad de ser causas verdaderas y actuales.

Sin embargo, la geología tuvo que esperar algún tiempo más que la mecánica para iniciar su propia renovación. Por eso se suele decir que la obra lyelliana fue un trabajo con fuertes implicaciones revolucionarias para la comunidad geológica de principios del siglo XIX. En definitiva, los *Principles of Geology* de Lyell marcaron el final de la *era heroica de la geología*, una época transcurrida desde 1775 (año de la publicación fundamental de Hutton) hasta el inicio de la moderna geología en 1830.

Así pues, la era moderna de la geología se inició al más puro estilo actualista y asumió, como esencial, la constancia de las leyes de la Naturaleza. Únicamente su inmutabilidad podía permitir llegar a conocer los principios generales de la organización del sistema terrestre. Lyell apeló a las causas operantes en el momento que le tocó vivir con el fin de poder explicar los fenómenos geológicos del pasado, presente y futuro. En consecuencia, el motivo por el que las

grandes catástrofes no fueron reconocidas como agentes legítimos de la geología científica se encontraba en el hecho de que nunca habían sido observadas y pertenecían consustancialmente a la esfera de las causas imaginarias, ficticias o ilegítimas de la geología causal científica [ALBERTO, 1988, p.129].

En cuanto al victoriano William Whewell (1794-1866) diremos que fue el máximo responsable de una ciencia de «geología dinámica», cuyo primordial objetivo consistió en identificar las causas de los cambios geológicos. No convino con Lyell en la creencia de que todos los acontecimientos del pasado de la Tierra pudiesen ser explicados mediante causas presentes. Si se tienen en cuenta las limitaciones de nuestro conocimiento en el tiempo, espacio y en su naturaleza —dijo Whewell—, no resulta extraño que se desconozcan algunos de los principios más importantes que han regido el mundo desde sus comienzos [WHEWELL, 1840].

Whewell consideró como totalmente arbitrario y carente de fundamento atribuir a las causas conocidas una actividad similar en intensidad a aquellas que habían actuado en tiempos históricos. Whewell quiso ir al corazón de la geología de Lyell y apostar a favor de *tipos* de causa desconocidos para esta disciplina, lo cual ponía en entredicho el *actualismo* a ultranza de Lyell.

Por consiguiente, Whewell restringió el papel científico del principio de las causas verdaderas (*vera causa*) y advirtió de la ventajosa conveniencia de ofrecer explicaciones utilizando el concepto de «coligación o vinculación de los hechos» (*consilience of inductions*). Tal vinculación no resultaba de la observación, sino que requería una interpretación atenta de los mismos por parte del científico. Así pues, la actividad de coligar ocurría en la simple percepción, donde se relacionaban grupos de impresiones. El examen que Whewell hizo de la historia de la ciencia le convenció finalmente de que la «coligación de los hechos» (*consilience*) se conseguía a través de la intuición creadora de los científicos, y no mediante la aplicación de reglas inductivas específicas. La inducción, en definitiva, era un proceso de invención y ensayo que no podía ser reducido a reglas [LOSEE, 1997, p. 133].

Esta polémica emergió a colación de que Whewell abrazara el punto de vista racionalista. El principio newtoniano de las causas verdaderas (*vera causa*) fue asumido por Whewell como un concepto paradigmático-racionalista que precisaba de la captación de un acto privado de pensamiento denominado «percepción» (o actividad integradora y significante de esta información exterior) y

que era, además, bien diferente de la interpretación que Lyell dio a este mismo principio newtoniano. Para este último, el principio de la *vera causa* requería inexcusablemente de la actualización espacio-temporal y era de carácter empirista [RUSE, 1976, p. 130].

En páginas anteriores se ha comentado que la infraestructura del sistema uniformitarista de Lyell se había alzado sobre un doble pilar metodológico, o sea, el principio newtoniano de *vera causa* y el método de la analogía. Este último se aplicó ampliamente en geología al garantizar una acertada reconstrucción de las condiciones ambientales que en el pasado imperaron en la Tierra, así como una correcta inferencia de los eventos conocidos a los desconocidos. La analogía, pues, se fundamentaba en la semejanza, pero no en la igualdad de dos sucesos. Un factor que Lyell valoró extraordinariamente.

Ahora bien, ¿en qué términos la nombrada analogía funcionó como soporte de la doctrina uniformitarista? Lyell opinó que:

«Las mismas causas generales habían bastado para dar origen, por sus combinaciones múltiples, a la diversidad infinita de efectos donde la corteza ha conservado los recuerdos [...] se debía esperar en el futuro cambios análogos a aquéllos del pasado» [LYELL, 1830-1833, p. 116].

Así pues, esta particular y personalizada organización metodológica permitió a Lyell concluir que un cambio geológico actual era a la causa presente como un cambio geológico antiguo era a la causa entonces activa. En consecuencia, si los cambios eran los mismos, entonces las causas eran idénticas [HOOYKAAS, 1970, p. 247].

Los impactos del actualismo lyelliano en la geología española y francesa

En 1836 fueron presentadas en la península ibérica, y con carácter inédito, las ideas que Lyell expuso en su discurso presidencial de la Sociedad Geológica de Londres. Una década después, el ingeniero de minas Joaquín Ezquerro del Bayo (1793-1859) se convirtió en un gran conocedor del pensamiento lyelliano y acérrimo defensor del actualismo. Fue él quien tradujo al castellano los *Elementos de Geología* [EZQUERRA DEL BAYO, 1847] y dicha obra lyelliana fue utilizada por Rafael Amar de la Torre (1802-1874) en el curso escolar 1847-1848 para explicar la disciplina de geología en la Escuela de Minas.

Ezquerria del Bayo apuntó que no había necesidad de aludir a la existencia de grandes cataclismos, períodos de muerte o aniquilación repentina para justificar todo cuanto existía sobre la superficie de la Tierra. La totalidad de los fenómenos que se observan en la corteza del globo se explicaban, en su opinión, por la marcha natural (y no traumática) de las mismas causas que están obrando en la actualidad; lo mismo que pasa ahora, ha estado pasando hace muchísimo tiempo. Una posición más moderada mantuvo Francisco Luxán (1798-1867), para quien idénticas causas físicas habían actuado en todas las épocas, a pesar de haber acontecido diferentes circunstancias del medio. Por su parte, Casiano de Prado y Vallo (1797-1866) y el antedicho Rafael Amar de la Torre fueron los máximos protectores del sistema catastrofista en España.

Pero si en la península ibérica se defendía primordialmente la postura actualista de Lyell, en cambio, en Francia se propugnaba el catastrofismo no actualista de Georges Cuvier. En 1800, y ante sus colegas del Instituto de Ciencias y Artes de París, Cuvier expuso y demostró el principio de la anatomía comparada, describiendo y comparando estructuras de animales diversos que tenía a su disposición [CUVIER, 1799]. A partir de estos estudios, Cuvier fue reconocido como el fundador de la paleontología de vertebrados y como el que subrayó de un modo novedoso la importancia de las catástrofes en la comprensión de la historia de la vida en la Tierra. La manera brillante con la que habló de tales épocas pretéritas sorprendió a sus contemporáneos, quienes le dieron el estatus de *héroe popular*.

La posición adoptada por Cuvier, no exenta de romanticismo, tuvo una gran influencia en la sociedad y reconfortó a los partidarios de la Biblia que estaban predispuestos a dejarse impresionar por una «doctrina de truenos y relámpagos», y no por la racionalidad del anti-catastrofismo [LAURENT, 1987, p. 142]. Así pues, Cuvier presentó un sistema geológico catastrofista plagado de inundaciones periódicas marítimas responsables de la extinción de faunas existentes. Para hacer defendible este orden, exigió que las pruebas geológicas fueran contrastadas por los datos obtenidos del estudio de fósiles de cuadrúpedos.

Ahora bien, esta diferente manera de interpretar la Naturaleza física conllevaba necesariamente la utilización de una nueva noción de causalidad. En el famoso *Discours sur les Révolutions de la Surface du Globe et sur les changements qu'elles on produits dans le règne animal* (1825), Cuvier afianzó sus ideas:

«Examinemos ahora lo que acontece sobre la Tierra; analizamos las causas que actúan todavía en su superficie y determinamos, en la medida de lo posible, sus efectos.

Es una parte de la historia de la Tierra que se ha creído durante largo tiempo poder explicar mediante esas causas actuales [...]. Pero nosotros tenemos que ver que desgraciadamente no acontece así en la historia física. El hilo de las operaciones es roto, la marcha de la Naturaleza es cambiada y alguno de los agentes que ella emplea hoy no sería suficiente para producir esas antiguas obras» [CUVIER, 1825, p. 28].

En este párrafo, Cuvier desestimó el principio newtoniano de las causas verdaderas (*vera causa*) como base metodológica legítima y adecuada para interpretar la historia de una Tierra punteada por acontecimientos únicos y violentos (*teoría de las revoluciones del globo*) [RUDWICK, 1967, p. 272]. En su opinión, las causas verdaderas no explicaban nada porque ninguna causa lenta y todavía menos causas actuantes bajo nuestros ojos podían haber producido efectos súbitos [CUVIER, 1825, p. 42]. Entonces ¿de qué índole eran las causas cuvierianas responsables de eventos tan repentinos? Las causas de las grandes revoluciones geológicas eran causas históricas comparables a las «causas de las intrigas y pasiones» de los hombres, puesto que la historia natural y la civil estaban íntimamente ligadas. La noción de causa propuesta por Cuvier era antagónica a tres elementos. Primero, a la causa lyelliana responsable del carácter a-histórico del sistema uniformitarista; segundo, a la noción de *flujo unidireccional de la Naturaleza* mantenida por la filosofía idealista de la Naturaleza de Lorenz Oken (1779-1851); y tercero, al carácter metafísico de causalidad de la filosofía idealista alemana. Así pues, Cuvier pensó que no solamente la historia del hombre y de la Naturaleza eran inseparables (sustantivamente hablando), sino que el mismo hombre podía conseguir, vía geología, una amplitud mental que durante mucho tiempo había estado reservada para la religión. Cuvier, en consecuencia, presentó una nueva e innovadora imagen del naturalista como explorador del orden de la Naturaleza animada y de los nuevos mundos del tiempo [OUTRAM, 1984, p. 97].

Por consiguiente, el sistema catastrofista triunfó mayoritariamente en Francia de la mano de Cuvier, y de otras importantes figuras como Élie de Beaumont (1798-1874) o Alcide Dessalines d'Orbigny (1802-1857), aunque también hubo algún que otro defensor de la tesis actualista como Pierre Marcel Serres de Mesplès (1780-1864) y Ami Boué (1794-1881).

BIBLIOGRAFÍA

- ALBERTO, E. (1988) «The imaginary Lyellian Revolution». *Earth Sciences History*, 7(2), 126-133.

- ÁLVAREZ 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*, 8, 63-69.
- BACON, F. (1620) *Novum Organum*. [Edición manejada: Buenos Aires, Losada, 1949].
- BELTRÁN, A. (1995) *Revolución científica, Renacimiento e Historia de la Ciencia*. Madrid, Siglo XXI.
- BUSHMAN, J.R. (1983) «Hutton's Uniformitarianism». *Brigham Young U. Studies*, 23(1), 41-48.
- CABEZAS, E. (1997) *Gradualidad o Interrupción: ¿Dos modos alternativos de entender la Evolución de las Especies?* Valencia, Universidad de Valencia. Tesis doctoral (inédita).
- CABEZAS, E. (2002) *La Tierra, un debate interminable*. Colección 'El Aleph', 2. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza.
- CROMBIE, A.C. (1996) *Historia de la ciencia: De San Agustín a Galileo. Siglos XIII-XVII*. Madrid, Alianza Universidad.
- CUVIER, G. (1799) *Leçons d'Anatomie Comparé*. [Edición manejada: París, Editeur Hipolyte Tiliard-Terzuelo, 1835-1840].
- CUVIER, G. (1825) *Discours sur les Révolutions de la Surface du Globe, et sur les changements qu'elles ont produits dans le règne animal*. [Edición manejada: París, Schubart et Heideloff, Libraires, 1828].
- DE RENZI, M. (1988) «Actualismo, Uniformismo y Paleontología: Hacia un mejor entendimiento entre paleontólogos y sedimentólogos». *Congreso Geológico de España, Comunicaciones, vol.1.*, 228-232.
- EZQUERRA DEL BAYO, J. (Traductor) (1847) *Elementos de Geología de Charles Lyell, con adición para los terrenos de España*. [Edición manejada: Edición facsímil, Sociedad Geológica de España, 1998].
- FRONDIZI, R. (1949) «Significado y Contenido del Novum Organum». En: F. Romero (ed.), *Prólogo del Novum Organum*. Buenos Aires, Losada, 9-36.
- GALILEI, G. (1623) *Il Saggiatore [El Ensayador]*. [Edición manejada: Buenos Aires, Aguilar, 1981].
- GARCÍA CRUZ, C.M. (1998) «De los obstáculos epistemológicos a los conceptos estructurantes: una aproximación a la enseñanza-aprendizaje de la Geología». *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 323-330.
- GOULD, S.J. (1967) «Is Uniformitarianism Useful?». En: P. Cloud (ed.), *Adventures in Earth History*. San Francisco, W. H. Freeman and Co., 51-53.
- GOULD, S.J. (1983) *Desde Darwin*. Madrid, Hermann Blume.
- GOULD, S.J. (1984) *Dientes de gallina y dedos de caballo: más reflexiones acerca de la Historia Natural*. Madrid, Hermann Blume.
- GOULD, S.J. (1992) *La flecha del tiempo*. Madrid, Alianza Universidad.
- HERSCHEL, J.F.W. (1830) *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*. [Edición manejada: London, Johnson Reprint Corporation, 1966].

- HOOYKAAS, R. (1970) *Continuité et discontinuité en Géologie et Biologie*. París, Éditions du Seuil.
- HUBBERT, M.K. (1967) «Critique of Principle of Uniformity». En: P. Cloud (ed.), *Adventures in Earth History*. San Francisco, W.H. Freeman and Co., 33-50.
- HULL, L.W.H. (1984) *Historia y Filosofía de la Ciencia*. Barcelona, Ariel.
- HUTTON, J. (1788) «Theory of the Earth; or an Investigation of the Laws Observable in the Composition, Dissolution and Restoration of Land upon the Globe». *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 1, 209-305.
- HUTTON, J. (1795) *Theory of the Earth with Proofs and Illustrations*. Edimburgo, William Creech, edit.
- KOYRÉ, A. (1990) *Estudios galileanos*. Madrid, Siglo XXI.
- LAUDAN, R. (1982) «The Role of methodology in Lyell's Science». *Studies in History and Philosophy of Science*, 13(3), 215-249.
- LAURENT, G. (1987) «Cuvier y Lamarck: La querrela del Catastrofismo». *Mundo Científico*, 7(66), 136-144.
- LOSEE, J. (1997) *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*. Madrid, Alianza Universidad.
- LYELL, C. (1830-1833) *Principles of Geology, first edition, 1990-1991*. University of Chicago Press. [Edición manejada: París, Garnier Frères, Libraires-Éditeurs, 1873. Traducción de la undécima edición inglesa de 1872].
- MASON, S.F. (1988) *Historia de las Ciencias*. Madrid, Alianza Editorial.
- MELÉNDEZ, G. (2002) «Prólogo de *La Tierra, un debate interminable*». En: Manuel Asorey (ed.), *La Tierra, un debate interminable*. Colección 'El Aleph', 2. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza, 9-12.
- NEWTON, I. (1687) *Principia Mathematica (De la Filosofía Natural y su Sistema del Mundo)*. [Edición manejada: Madrid, Editora Nacional, 1982].
- NEWTON, I. (1704) *Optica o un Tratado de las Reflexiones. Refracciones, Inflexiones y Colores de la luz*. [Edición manejada: Madrid, Alfaguara, 1977].
- OSPOVAT, D. (1977) «Lyell's Theory of Climate». *Journal of History of Biology*, 10(2), 317-339.
- OUTRAM, D. (1984) «Science and Religion: Georges Cuvier and the problems of belief in Restoration France». *Proceedings of the Huguenot Society of London*, 24(2), 92-102.
- PEDRINACI, E. (1992) «Catastrofismo versus Actualismo. Implicaciones didácticas». *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 216-222.
- PELAYO, F. (1984) «El catastrofismo y Actualismo en España». *Llull*, 7(12), 47-68.
- PORTER, R. (1982) «Charles Lyell: the public and private faces of Science». *Janus*, 69(1-2), 29-50.
- RUDWICK, M.J.S. (1963) «The Foundation of the Geological Society of London: Its Scheme for co-operative research and its struggle for independence». *The British Journal for the History of Science*, 1(4), 325-355.

- RUDWICK, M.J.S. (1967) «A critique of Uniformitarian Geology: A Letter from W. D. Conybeare to Charles Lyell, 1841». *Proceedings of the American Philosophical Society*, 111(5), 272-287.
- RUDWICK, M.J.S. (1970) «The Strategy of Lyell's *Principles of Geology*». *Isis*, 61(206), 5-33.
- RUSE, M. (1976) «Charles Lyell and the Philosophers of Science». *The British Journal for the History of Science*, 9, 121-131.
- RUSE, M. (1983) *La Revolución darwinista: la ciencia al rojo vivo*. Madrid, Alianza Universidad.
- SEQUEIROS, L. (1997) «Charles Lyell (1797-1875) y el conflicto entre la nueva geología y la religión». *Proyección*, 44, 127-138.
- SEQUEIROS, L., y PEDRINACI, E., y ÁLVAREZ SUÁREZ, R.M., y VALDIVIA, J. (1997a) «James Hutton y su Teoría de la Tierra [1795]: Consideraciones didácticas para Educación Secundaria». *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 5(1), 11-20.
- SEQUEIROS, L., y PEDRINACI, E., y BERJILLOS, P., y GARCÍA, E. (1997b) «El Bicentenario de Charles Lyell (1797-1875). Consideraciones didácticas para Educación Secundaria». *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 5(1), 21-31.
- WHEWELL, W. (1840) *Philosophy of the inductive sciences*. [Edición manejada: London, New Edition, 2 vols.,; reprinted with an introduction by J.W. Herivel, New York, Johnson Reprint Corporation].
- WOLFF, C. (1728) *Philosophia Rationalis Sive Logica*. [Edición manejada: Veronae, Terti Emendatior, 1735].