

# HISTORIA



## Y EPISTEMOLOGIA DE LAS CIENCIAS

---

### LA CONSTRUCCIÓN HISTÓRICA DEL CONCEPTO DE TIEMPO GEOLÓGICO

PEDRINACI, E.  
Instituto Andaluz de Formación del Profesorado. Sevilla.

---

#### SUMMARY

In this work different subconcepts that integrate the concept of geological time are analyzed from a historical and epistemological point of view. Some of the obstacles that they have historically had in their construction and their didactic implications are shown.

---

#### INTRODUCCIÓN

La geología, en la medida en que es una ciencia histórica, tiene en el «tiempo» uno de sus conceptos básicos. Su presencia se halla, más o menos explícita, en el tratamiento de todos los procesos geológicos. Podría decirse que tener unas nociones básicas de esta ciencia exige haber construido el concepto de tiempo geológico. Si, como señala Sequeiros (1991) y Sequeiros y Martínez Urbano (1992), de los contenidos que integran los currículos de Ciencias de la Naturaleza para la enseñan-

za obligatoria, el concepto de tiempo geológico probablemente sea uno de los que ofrece mayores dificultades de aprendizaje, resulta sorprendente la escasa relevancia que se le otorga en dichos currículos. Ello podemos tomarlo como un indicador del tratamiento que merece en el aula.

No debe extrañarnos pues que, como señala Gallegos (1992) en un estudio referido a alumnos de escuelas de

magisterio, la enseñanza de la geología que habitualmente se realiza no modifique sensiblemente la percepción del tiempo geológico que poseen.

Así pues, la importancia que, desde la lógica interna de la geología, tiene el tema objeto de este trabajo, junto con la dificultad de conceptualización que presenta, justifican su interés didáctico. Analizar el largo proceso por el que los hombres adquirieron el sentido de que el planeta Tierra tenía una historia y que esa historia era inmensamente extensa es un paso, a nuestro juicio, obligado para comprender las dificultades de conceptualización que presenta para los alumnos, sin cuya valoración es improbable que se realice una enseñanza adecuada.

En efecto, la historia de la ciencia nos alerta sobre la complejidad de determinados conocimientos, sobre la dificultad de comprensión que pueden presentar. Constituye, como señalan Gagliardi y Giordan (1986), un instrumento eficaz para determinar los obstáculos epistemológicos, y la detección de éstos es uno de los aspectos clave para la transformación de la enseñanza de las ciencias. Saltiel y Viennot (1985) subrayan la utilidad didáctica que pueden tener las semejanzas existentes entre el desarrollo histórico de los conocimientos y ciertos saberes espontáneos de nuestros alumnos.

El análisis acerca de la evolución del conocimiento geológico, además de ayudarnos a comprender las dificultades que plantea la introducción de algunos contenidos, puede aportar orientaciones relevantes sobre el modo de abordar dichas dificultades: sugiriéndonos el uso de determinados «conceptos puente», la necesidad de introducir cambios metodológicos o la relación existente entre la adquisición del conocimiento en cuestión y un cambio actitudinal. La historia de la ciencia puede ser, en consecuencia, una buena herramienta para conocer el núcleo central de un cierto campo del saber y valorar la potencialidad organizadora y reestructuradora que atesoran determinados conocimientos.

### El tiempo geológico: un concepto complejo

En la literatura científica se asignan al concepto de tiempo geológico significados no siempre coincidentes, aunque generalmente centrados en aspectos cronológicos. Así, Albritton (1984), aludiendo a esa diversidad de significados, señala que para unos corresponde al período comprendido entre la constitución de la Tierra como planeta y la aparición de las primeras civilizaciones, aunque para otros sólo llegaría hasta que se tiene noticia de la presencia del hombre. Prefiere aludir Albritton, con este término, al tiempo comprendido desde la constitución de la Tierra como planeta hasta nuestros días, dejando abierto hacia el futuro dicho período.

Entre estos conceptos existen pocas diferencias cualitativas o cuantitativas que sean relevantes desde la perspectiva de su enseñanza y aprendizaje. Todos ellos hacen referencia exclusivamente a aspectos cronológicos y se traducen en cifras con valores absolutos muy

similares. No es analizando estas diferencias como, a nuestro juicio, encontraremos los obstáculos con los que se ha tropezado en el pasado, algunos de los cuales probablemente constituyan hoy dificultades básicas para los alumnos.

Para Anguita (1988) el tiempo geológico no es más que una porción (los últimos 4.550 millones de años) del tiempo físico, careciendo de sentido hablar de aquél como si de un concepto cualitativamente diferente de éste se tratase. Por el contrario, Schneer (1989) distingue dos grandes categorías temporales: el «tiempo natural», que sería una construcción humana, y el concepto de «tiempo matemático» que tenían Kepler, Newton o Einstein. Para Schneer, el tiempo geológico es sólo uno de los diferentes tipos de tiempo natural.

Por nuestra parte, consideramos el Tiempo Geológico como un concepto de gran complejidad. Podríamos decir que hay «muchos tiempos» en el tiempo geológico y que proceder a su diferenciación conceptual resulta imprescindible para avanzar.

Responder a interrogantes tales como: ¿Por qué, hasta hace apenas dos siglos, los hombres de ciencia han considerado que la edad de la Tierra era de unos pocos miles de años?, ¿por qué han identificado historia de la Tierra e historia del hombre?, ¿por qué ha sido tan difícil establecer una secuencia ordenada que vaya más allá de la diferenciación entre fase prediluviana y postdiluviana?, etcétera, exige analizar el conjunto de subconceptos que se hallan implícitos en el concepto de tiempo geológico, con el que forman un entramado de complejas interrelaciones, que es necesario discernir para valorar los obstáculos a los que nos enfrentamos y poder orientar su tratamiento. En esta reflexión, la historia de la geología constituye una fuente de información insustituible.

Refiriéndose al tiempo histórico, Jurd (1978) lo considera integrado por tres conceptos: el de secuenciación, el de agrupamiento sincrónico y el de continuidad, que conllevaría el establecimiento de relaciones causales. Asensio y otros (1989) integran en el concepto de tiempo histórico aspectos como: la cronología, la duración, el conocimiento de fechas, la representación y las nociones temporales ligadas al cambio social y a la causalidad.

En este trabajo, distinguiremos como nociones básicas integradoras del concepto de tiempo geológico las relacionadas con: el cambio geológico, la facies, la sucesión causal y la cronología.

### Tiempo geológico y concepto de cambio

Desde una perspectiva tanto histórica como epistemológica, probablemente sea el concepto de cambio el primero que se ha relacionado con el de tiempo (en sentido genérico), y su conexión ha sido tan estrecha que no siempre ha estado claro dónde acababa uno y dónde empezaba el otro. Piaget (1946) señala que, para los niños, «el tiempo es discontinuo, así como local, puesto que cada tiempo se detiene con el movimiento. Por

ejemplo, la edad sigue siendo la misma para los adultos que ya no crecen; una piedra tiene edad si crece, pero ya no tiene edad desde que deja de crecer, etc.»

Marshack (1979) considera que la primera evidencia histórica que tenemos de la construcción de una noción temporal por el hombre está relacionada con la percepción de los cambios lunares. Así, interpretó unos restos arqueológicos de 30.000 años de antigüedad, como un calendario de las fases de la Luna.

En la Grecia clásica, las concepciones dominantes del mundo eran esencialmente ahistóricas (Whitrow 1988). El objetivo de los historiadores griegos no era explicar el presente en términos de pasado sino, más bien, conseguir que no se olvidasen en el futuro hechos significativos. Tenía la historia, en consecuencia, una función conmemorativa con frecuencia muy próxima a la poesía épica. Así, aunque Homero trató con relativa fidelidad a los personajes históricos, su historia no implicaba cronología, ni sentido real del paso del tiempo, ni continuidad temporal con épocas posteriores. La perspectiva dominante en la época clásica acerca de la naturaleza tendía a desalentar una interpretación histórica de la Tierra. El mundo, en el supuesto de que hubiese tenido un origen, no había dejado ninguna huella de su proceso de formación y desarrollo; se trataba de un mundo «sin archivos».

Así, por ejemplo, Aristóteles participaba de la visión de un mundo eterno y cíclico, sin un origen temporal en el pasado ni perspectiva de fin en el futuro. En *La Física* formula su concepción del tiempo, al que considera inseparable del movimiento o del cambio. Sólo percibimos que el tiempo ha transcurrido cuando observamos que se ha producido un cambio. Al ser conscientes del «antes» y del «después» del cambio somos conscientes del tiempo. Sin embargo, considera que éste no es idéntico al cambio o al movimiento, aunque es en términos de tiempo como medimos el movimiento. Concluye que el tiempo puede ser considerado como un proceso de numeración asociado a nuestra percepción del antes y después del cambio y del movimiento.

Uno de los primeros ejemplos de crítica histórica en el pensamiento europeo (Toulmin y Goodfield 1965) es el memorándum del cardenal Nicolás de Cusa al Concilio de Basilea (1430). Durante siglos la Iglesia había reclamado su autoridad política sobre el Imperio Romano de Occidente. La base legal de esta demanda era *La Donación de Constantino*, documento, supuestamente de Constantino el Grande (siglo IV), por el cual dividía el Imperio Romano en dos, otorgando las Provincias de Occidente al Obispo de Roma y a sus sucesores. Pues bien, para Nicolás de Cusa *La Donación* era un fraude. No sabía quién la había escrito, pero sí que un ligero conocimiento de la Roma del siglo IV era suficiente para comprender que no podía ser auténtica. Los términos en que estaba escrita, el estilo y las interpretaciones que de la sociedad se hacían no se correspondían con ese momento histórico.

Para Toulmin, la argumentación de Nicolás de Cusa «utiliza un axioma esencial de la moderna crítica histórica: el de la unidad orgánica de una época, por la cual los

restos genuinos de tiempos anteriores pueden ser separados de los fraudulentos y las teorías posibles de las inconcebibles».

¿Tiene esta reflexión alguna lectura geológica? La argumentación de Cusa lleva implícita la perspectiva de una sociedad en continuo cambio. Si la sociedad cambia, cada momento histórico tendrá sus señas de identidad que lo harán diferenciable de otros. O, dicho en términos geológicos, si la Tierra está en permanente cambio, y sólo en ese supuesto, cada período geológico es susceptible de ser caracterizado, diferenciándolo de los anteriores y posteriores.

En una Tierra estática, sin procesos de cambio geológico, no sería posible la separación en edades, careciendo de sentido hablar de tiempo geológico. Desde esta perspectiva, el primer peldaño para la construcción de dicho concepto sería el paso de una concepción estática a otra dinámica.

Aunque desde la antigüedad clásica existen descripciones de la naturaleza realizadas desde una perspectiva más o menos dinámica, dicha perspectiva tardará en consolidarse (Pedrinaci 1992). No nos es posible, dadas las características de este trabajo, hacer una relación detallada del lento y zigzagueante proceso por el que se pasa de una concepción estática de la naturaleza a otra dinámica. Conviene no obstante considerar, de una parte, que no son históricamente excepcionales las visiones estáticas (especialmente durante los siglos XVI, XVII y, en menor medida, en el XVIII) que han negado la existencia de cambios en la superficie terrestre, los han minimizado o han considerado el Diluvio como el único agente geodinámico relevante; y, de otra, que los cambios descritos se refieren generalmente a erupciones volcánicas, terremotos o procesos erosivos, siendo mucho menos frecuentes otros aspectos de la dinámica terrestre que resultan más difíciles de evidenciar.

### Tiempo geológico y concepto de facies

Para poder reconstruir el pasado de la Tierra, no sólo es necesario que hayan ocurrido cambios sino que resulta imprescindible una segunda condición: que la dinámica terrestre debe dejar algún tipo de «huellas», restos o evidencias de esos cambios, esto es, ha de quedar constancia «documental». Dicho en otros términos, preguntarse cuál es la edad de la Tierra sólo tiene sentido, desde una perspectiva científica, cuando es posible investigarla, es decir, cuando existen restos, archivos o elementos que nos permitan hacer inferencias fundamentadas.

Esto puede parecernos hoy una obviedad, sin embargo en esta supuesta obviedad se ha encontrado, históricamente, el principal obstáculo para conocer el pasado de la Tierra y probablemente buena parte de las dificultades de los alumnos tengan aquí sus raíces.

De acuerdo con Meunier (1911), el término «facies» fue introducido por Gressly en 1838 en su obra *Observations géologiques sur le Jura Soleurois*, para designar las diferencias petrográficas o paleontológicas entre depósi-

tos de la misma edad. Aunque hoy es usual referirse a facies metamórficas o a facies tectónicas, históricamente esta noción, que como veremos es anterior a la introducción del término por Gressly, se ha desarrollado en relación con la reconstrucción de las cuencas sedimentarias.

Resulta obligado en este punto referirse a uno de los fundadores de la Geología, el danés Niels Stensen (1638-86), más conocido por su nombre latinizado Steno. Escribe con dos años de diferencia dos obras de enorme interés para esta ciencia. La primera de ellas es en realidad un estudio de anatomía sobre el tiburón, *Canis carcharie*, con una digresión acerca del problema largamente debatido del origen de los fósiles conocidos como «glosopetras». En ella plantea como hipótesis, que trata de fundamentar, un concepto de gran trascendencia en el conocimiento geológico: los estratos son antiguos depósitos de sedimentos acumulados poco a poco y en ellos se depositaron los «cuerpos parecidos a partes de animales». O, dicho en otros términos, los estratos son «documentos» o «archivos» que nos hablan del pasado.

Es conveniente destacar que en *Canis carcharie* no presenta todavía una perspectiva global que conduzca a la reconstrucción de la historia geológica de una zona. Este segundo paso lo da dos años más tarde (1669) con la publicación de el *Prodromus*. No parece casual esta secuencia en su elaboración teórica. En efecto, parte de una visión dinámica de los procesos que ocurren en la superficie terrestre para concluir, primero, que los estratos son «archivos históricos» y los fósiles que encierran son restos de seres vivos contemporáneos de dichos sedimentos y, posteriormente, que a través de la interpretación de dichos archivos puede reconstruirse la historia geológica de una zona.

Conviene subrayar la importancia que, para el conocimiento geológico, tiene la introducción del concepto de roca como «documento» testigo del pasado terrestre (Pedrinaci y Álvarez 1992). Utilizando la terminología de Gagliardi (1986), podríamos considerarlo un «concepto estructurante», en la medida en que su construcción produce la transformación de conocimientos anteriores, organizándolos y reestructurándolos. De él se deriva todo un programa de investigación. En efecto, si las rocas contienen en su interior informaciones sobre el momento en que se originaron y las condiciones en que lo hicieron, la labor del geólogo será encontrar elementos de juicio, criterios y técnicas que permitan inferir dicho momento y condiciones de formación, es decir, que hagan posible «descifrar» esos documentos. La noción de facies encierra así toda una teoría geológica.

Tardará más de un siglo en asumirse la perspectiva avanzada por Steno, que aparecerá ya en los trabajos de Werner (1787), Dolomieu (1798), etc. o, un poco antes, en la *Histoire naturelle* de Buffon (1707-1788). Buffon estaba convencido de que podía reconstruirse la historia de la Tierra; señala las fuentes que deben ser utilizadas para la reconstrucción del pasado histórico, apuntando incluso el principio «huttoniano» del actualismo: utilizar el presente como base de la interpretación del pasado.

## Tiempo geológico y sucesión causal

Para que sea posible la reconstrucción del pasado geológico, no basta sólo con que ocurran cambios y que éstos dejen huellas, es necesario que exista una lógica interna que permita secuenciar los procesos, estableciendo un orden en la sucesión temporal.

También en este apartado debemos citar a Steno, que describe la formación de los estratos como un proceso histórico en el que el orden de superposición nos indica la secuencia de formación. Es decir, una vez sentado que los estratos son antiguos sedimentos acumulados poco a poco, Steno formula una hipótesis más: si las rocas no datan del momento en que se originó la Tierra, sino que han ido formándose poco a poco, unas tendrán más antigüedad que otras y deberá ser posible secuenciarlas u ordenarlas de acuerdo con criterios espacio-temporales (los criterios de superposición, continuidad y de horizontalidad de los estratos). Steno establece así algunas de las bases para la determinación de lo que suele denominarse cronología relativa.

Pero además, su interpretación histórica de los estratos no la reduce al momento en que se formaron, sino que la extiende a las deformaciones posteriores que sufrieron y que han dejado huellas en dichos estratos. Esto queda patente en la cuarta parte del *Prodromus*: «Las mutaciones acaecidas en Toscana». En ella realiza lo que hoy llamaríamos una historia geológica de esta zona de Etruria.

Si queremos conocer los obstáculos que pueden existir en la construcción del concepto de tiempo geológico, no podemos dejar de preguntarnos por qué algunos principios como el de superposición de los estratos, que hoy nos parecen obvios, no son expuestos hasta el siglo XVII y, lo que aún resulta más llamativo, por qué una vez que Steno los ha formulado tardan aún un siglo más en ser asumidos. Tradicionalmente, los historiadores de la Geología (Cailleux 1961) lo han explicado señalando que la obra de Steno permaneció olvidada o desconocida hasta el siglo XIX. Para Ellenberger (1988), esta afirmación no es correcta, se trata de una obra muy citada desde finales del XVII y a lo largo de todo el XVIII, pero «tan poderosamente innovadora que no podía ser comprendida y adoptada inmediatamente por la comunidad intelectual».

En efecto, resultaba difícil dar entrada a formulaciones como las de Steno en unos momentos en que las visiones dominantes sobre la Tierra oscilaban entre perspectivas estáticas y otras condicionadas por una causalidad lineal y simple en las que, si exceptuamos los volcanes y los terremotos, los procesos geodinámicos quedaban reducidos a la erosión (Pedrinaci 1992).

Un obstáculo epistemológico importante para la interpretación de los fósiles y, por ende, para la reconstrucción de la historia de la Tierra, venía siendo la existencia entre ellos de formas muy diferentes a las actuales. Muy elocuente puede ser el caso de Martin Lister (1638?-1717), naturalista de prestigio que pertenecía a la Royal Society y que había leído la traducción al inglés de la

obra de Steno. Su gran conocimiento de los moluscos vivientes le permitió afirmar que el origen orgánico de los fósiles defendido por Steno podría aceptarse para los fósiles italianos que describía (moluscos muy parecidos a los actuales que se encontraban generalmente en sedimentos poco consolidados), pero no para los ingleses que él conocía (procedentes en su mayoría del Carbonífero y del Jurásico y correspondientes a especies extinguidas).

Consideraba Lister que el argumento del origen orgánico se basaba en un análisis superficial de «ciertas similitudes. No existen, decía Lister, seres vivos con conchas como las que se pueden encontrar petrificadas en las canteras inglesas y declaraba estar dispuesto a rectificar su posición acerca de su origen si se demostraba que existían seres vivos idénticos. Su argumentación estaba basada en un sólido conocimiento de la fauna viviente. Aceptar que los fósiles a los que se refería eran restos de seres vivos implicaba suponer que en el pasado podían haber existido seres vivos diferentes a los actuales y ésta era una hipótesis que llevaba aneja una concepción del mundo muy diferente que aún no había sido contemplada por la ciencia (Pedrinaci y Álvarez 1992). Podemos constatar cómo la detección de un hecho que tendrá posteriormente una importancia crucial en geología (la existencia de fósiles característicos) supone, paradójicamente, un obstáculo conceptual de primera magnitud.

En 1787 Abraham Gottlob Werner publicó un breve folleto que había escrito 10 años antes: «Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten». En él hacía una clasificación cronoestratigráfica de las rocas a la que asignaba una validez mundial (Hallam 1983). De más antiguos a más modernos, establece los niveles siguientes: rocas primitivas, rocas de transición, floetz, terrenos aluviales y rocas volcánicas. La importancia de esta clasificación para el tema que nos ocupa se debe a que pretende ser una clasificación genética ordenada según criterios cronológicos. De tal manera que el momento en que se origina cada uno de los tipos de rocas determina sus condiciones de formación, su posición estratigráfica y sus características litológicas. Así, al exponer el proceso de formación de los diferentes niveles, Werner está construyendo su teoría sobre la historia de la Tierra.

Para Werner, la Tierra estuvo en un principio íntegramente cubierta por un océano primordial en cuyo seno se irían formando las diferentes rocas (razón esta por la que pronto comenzó a denominarse teoría «neptunista»). Las aguas de ese océano primordial contienen gran cantidad de materiales que van a ir precipitando, originándose así las «rocas primitivas». Son rocas cristalinas, sin fósiles, que incluían las que hoy denominamos ígneas y algunas metamórficas. Poco a poco el nivel del océano va descendiendo acumulándose sedimentos, en parte de precipitación química y en parte de origen mecánico, en ellas los fósiles son poco frecuentes: serían las rocas de transición. A medida que continúa el descenso del nivel del mar, comienzan a depositarse los estratos «floetz» que contienen abundantes fósiles y en los que predominarían los materiales de origen mecánico sobre los de precipitación química. Finalmente se formarían

los terrenos aluviales, constituidos por materiales poco compactados.

Queremos destacar la importancia que, desde una perspectiva epistemológica, tiene la teoría neptunista. Con independencia del mayor o menor grado de acierto que desde la visión actual pueda presentar, constituye toda una teoría de la Tierra que ofrece la explicación simultánea de un gran número de procesos geológicos. Presenta un desarrollo progresivo de la historia de la Tierra y, atendiendo a principios de causalidad, relaciona cuestiones como: características litológicas, posición estratigráfica, presencia o ausencia de fósiles y edad de las rocas (Pedrinaci y Álvarez 1992). En ella pueden reconocerse la secuencia de inferencias concatenadas que señalábamos con anterioridad: parte de una Tierra en permanente cambio, éste sería lineal (no cíclico como el de Hutton), los cambios sucesivos permiten caracterizar cada una de las fases del pasado terrestre y condiciona el tipo de materiales que se originan, de tal manera que puede identificarse y secuenciarse su proceso de formación.

La obra de Georges Cuvier (1769-1832) ha sido a veces poco valorada por su planteamiento «catastrofista». Sin embargo en 1796 publica *Memoire sur les espèces d'Elephants tant vivantes que fossiles*, en donde por primera vez se ofrecían datos casi irrefutables sobre la extinción de especies. Se comenzaba a superar así uno de los obstáculos epistemológicos que venía presentando la reconstrucción histórica del pasado.

Tres años después William Smith realiza una contribución importante a la elaboración de una cronología relativa fundamentada: la introducción del concepto de fósil característico. En efecto, publicó una columna estratigráfica de las rocas de los alrededores de Bath con informaciones acerca de la presencia en ellas de fósiles. La importancia de este trabajo residía en que llamaba la atención sobre el hecho de que cada uno de los niveles presentaba algunos fósiles diferentes de los demás. Eran, en consecuencia elementos que permitían la caracterización de dichos niveles. Posteriormente sugirió el modo en que podían usarse para realizar correlaciones estratigráficas (Albritton 1984), haciendo posible estimar la antigüedad relativa de formaciones geológicas de diferentes países.

### Tiempo geológico y cronología

Los aspectos cronológicos son los significados que presentan una relación más evidente con el concepto de tiempo geológico. Nuestra intención en este trabajo no es tanto señalar los momentos en que han ocurrido avances significativos en la determinación de la cronología terrestre (puede verse al respecto una buena síntesis en Albritton 1984 o en Anguita 1988), cuanto intentar detectar las razones por las que dicho avance ha resultado tan dificultoso y referir a éstas algunas de las aportaciones que históricamente se han realizado.

Suele ridiculizarse, no sin cierta razón, la datación que el arzobispo James Ussher publicó (1650) en sus *Annals of*

*the old covenant from the first origin of the world*, situando la creación del mundo a las 9 horas del 23 de octubre del año 4004 aC. Sin embargo, si se deja al margen la precisión sobre el día y la hora (que realmente fueron una aportación de John Lightfoot, vicescanciller de la Universidad de Cambridge), la fecha se consideró plausible en el momento de su publicación, levantando, entre los científicos, tan sólo disputas en aspectos menores (Rudwick 1976). Por otra parte, no fue el primero en ubicar la creación de la Tierra en el año 4004 aC; cifras similares a ésta se venían considerando desde muchos siglos atrás.

En efecto, a finales del siglo IV se habían construido ya las bases de la visión cristiana de la historia del mundo y su cronología (Toulmin y Goodfield 1965), que van a mantenerse sin grandes modificaciones hasta el siglo XVIII. Dos son las obras que establecerán este marco temporal: *La Cronología* de Eusebio y *la Cronografía* de Julio Africano.

Julio Africano interpretó la cronología del Antiguo Testamento utilizando diversas referencias de la literatura judía. Así, tomó como idea central de su obra, que alcanzó una gran difusión durante el medioevo, la correspondencia de toda la historia con la Semana Cósmica, en la que cada uno de sus días tiene una duración de mil años. Dado que el último día sería el del reinado de los mil años del Mesías, quedaban un total de seis mil años. Desde este momento, y hasta el siglo XVIII, esa cifra será la referencia más habitual para la edad de la Tierra.

La Biblia, que al final de la Edad Media había comenzado a ser interpretada de una manera menos literal, con la llegada de la Reforma Protestante vuelve de nuevo a ser considerada como el registro histórico más autorizado. De esta manera, *El Génesis* se convierte en la clave para la interpretación del pasado terrestre y el Diluvio en la causa más importante, cuando no la única importante, de los cambios en la superficie terrestre. Así, para Lutero la Creación había tenido lugar en el año 4000 aC. El astrónomo Johann Kepler, estudiando los ciclos de los eclipses solares observó un error de cuatro años en la fecha de la Crucifixión. En consecuencia, dado que no parecía razonable situar el nacimiento de Cristo en el año 4 aC, quedó como fecha más aceptada, si bien no la única, de la Creación el 4004 aC, como vemos, la misma que posteriormente adoptó James Ussher.

Se han escrito muchas páginas acerca de la influencia de la Iglesia y de su papel coercitivo —por otra parte innegable— como la razón que explica el mantenimiento durante tanto tiempo de la llamada «cronología bíblica», marco que encorsetaba toda interpretación del pasado terrestre. No nos parece suficiente este argumento para explicar, por ejemplo, que heterodoxos como Thomas Hobbes o científicos de la talla de Isaac Newton y Steno compartieran estas posiciones.

Por nuestra parte, señalaremos dos obstáculos epistemológicos cuya consideración estimamos necesaria para comprender algunas de las dificultades que presentaba la reconstrucción del pasado terrestre: *la perspectiva de una Tierra sin «archivos»*, a la que se ha hecho ya refe-

rencia, y *la concepción de ésta como morada del hombre*. En efecto, la Biblia no sólo era considerada como un texto sagrado para la doctrina cristiana, sino que se aceptaba generalmente como el documento histórico más fiable para los periodos más antiguos. Recurrir al *Génesis* era tanto más necesario cuanto que se carecía de alternativa. Si, como ya Aristóteles defendía, no existen en la naturaleza elementos que nos permitan inferir la antigüedad de la Tierra, sólo restaba interpretar los documentos históricos.

Mucho se ha escrito en la historia de la ciencia acerca de la revolución copernicana, entendida como un cambio radical que supone el desplazamiento del hombre desde una posición central hasta relegarlo a los márgenes del universo. No se ha puesto el mismo énfasis en otro cambio, a nuestro juicio, de igual magnitud pero referido no a la dimensión espacial sino a la temporal.

Desde una posición teleológica y antropocéntrica la Tierra era considerada como la morada de la humanidad, de tal manera que no parecía tener mucho sentido la existencia de una Tierra sin hombres que la poblasen. Por ello, edad de la Tierra y edad del hombre eran consideradas una misma cuestión. Así, por ejemplo Leibniz en su ensayo *Protogea* (1690) integra en su narración la historia del Planeta y la de la humanidad. La concepción de una Tierra sin hombres supuso un cambio epistemológico muy importante que no resultó fácil de realizar (Pedinaci y García 1992).

A pesar de ello, durante el siglo XVIII hubo ya algunas excepciones; es el caso de Benoit de Maillet, de Kant o de Buffon. El caso de éste último es interesante no tanto por la antigüedad que propone para la Tierra, cuanto por considerar la necesidad de ofrecer unas bases físicas que sustentasen el tratamiento cronológico. Su hipótesis de partida, inspirada en la teoría de Leibniz, es la de una Tierra originariamente fundida que sufre un proceso de enfriamiento hasta alcanzar la situación actual.

Buffon experimentó en el laboratorio con esferas de diferentes composiciones para poder establecer una estimación cuantitativa de la edad de la Tierra. De esta forma calculó que el globo terrestre tardaría en solidificarse 2.905 años, 33.911 años en alcanzar una temperatura que permitiera tocarlo y 74.047 años en tener la temperatura actual (*Époques de la Nature*). Posteriormente introdujo correcciones para dar entrada a los efectos producidos en el ritmo de enfriamiento, derivados de la toma en consideración de la radiación solar. Gohau (1987) considera que Buffon se autocensuró, dado que en un manuscrito suyo calcula el tiempo necesario para la consolidación del Planeta en 117.000 años, mientras que la duración total sería de tres millones de años.

Estas cifras (tanto las publicadas como las del manuscrito) pueden parecernos ridículas en la actualidad, pero en su momento significaron una apuesta arriesgada que rompía la barrera establecida por la cronología bíblica aún dominante y, sobre todo, implicaban que podía ser calculada científicamente la edad de la Tierra.

Aunque a comienzos del siglo XIX quedaban aún impor-

tantes sectores que defendían la cronología bíblica, va extendiéndose la idea de la necesidad de ampliar extraordinariamente los límites temporales. Sin embargo ni el Hutton de *Theory of the Earth* (1788) ni el Lyell de *Principles of Geology* (1830-1833) creen posible datar una Tierra que consideran inimaginablemente antigua. Lyell estaba más interesado en superar la barrera temporal, como obstáculo que había conducido a la suposición de que las causas que habían intervenido en el pasado terrestre eran diferentes a las actuales.

En la segunda mitad del siglo XIX se suceden diversas propuestas que tienen como objetivo poner cifras a la edad de la Tierra. Algunas de ellas tienen un gran interés no sólo histórico sino también epistemológico y consideramos que su tratamiento en el aula pueden contribuir a otorgar significado al concepto de tiempo geológico.

Una de ellas se debe a Darwin, que, siguiendo las tesis uniformitaristas de Lyell, propuso un método para calcular la edad mínima de una región. Bastaba con determinar el índice de denudación que tiene lugar en dicha región para, conociendo el volumen de materiales erosionados y suponiendo un proceso de denudación uniforme, calcular aproximadamente su antigüedad. De esta manera atribuyó al sureste de Inglaterra la edad de 300 millones de años, que fue tomada por otros autores como la «nueva referencia» sobre la edad de la Tierra. En 1860 John Phillips propuso un método diferente pero igualmente interesante: si se determina el índice medio de sedimentación y se considera una velocidad de sedimentación constante, conocer la potencia total de los estratos debería ofrecernos un método directo para calcular la edad de la Tierra. De esta forma, partiendo de las cifras tomadas en la cuenca del Ganges, calculó que la corteza terrestre había necesitado para su formación 96 millones de años.

Pero la datación más influyente de las realizadas en la segunda mitad del siglo XIX se debe a William Thomson (1824-1907), más conocido como Lord Kelvin. Partió de la hipótesis de una Tierra formada por el choque de meteoritos que, como consecuencia de esos impactos, debería haberse encontrado fundida en su totalidad. Desde ese momento hasta la actualidad, el Planeta habría ido perdiendo continuamente calor. La cuestión consistía en determinar cuánto tiempo había necesitado para pasar del estado inicial al actual.

Como hemos constatado, la teoría no era nueva, había sido expuesta con anterioridad por Leibniz y Descartes, y utilizada por Buffon. Sin embargo Kelvin se apoyará en sus sólidos conocimientos físicos y en sus investigaciones sobre termodinámica para hacer unos cálculos mucho más fundamentados que los anteriores. Así, en 1868, tras algunas propuestas menos precisas, estableció para la Tierra una edad aproximada de 100 millones de años. Esta cifra permaneció como referencia obligada durante el resto del siglo (Hallam 1983), hasta que, tras el descubrimiento de la radiactividad, Ernest Rutherford señaló en 1904 que la desintegración de los elementos radiactivos suponía una fuente de calor adicional, al calor interno terrestre residual, que obligaba a corregir al alza los cálculos realizados por Kelvin.

## Síntesis final

Las aportaciones didácticas que permite realizar el análisis del proceso histórico de construcción del concepto de tiempo geológico podemos sintetizarlas como sigue.

### *a) Relacionadas con los obstáculos en la construcción de las nociones acerca del tiempo geológico*

Los obstáculos epistemológicos, de acuerdo con el significado que atribuye a este término Bachelard (1938), históricamente más relevantes para el tema que nos ocupa pueden ser:

El «fijismo», término, que habitualmente se utiliza por oposición al evolucionismo para aludir a una determinada interpretación de la historia de los seres vivos; encierra toda una teoría de la naturaleza y, consecuentemente, tiene implicaciones geológicas (Pedrinaci 1992). En efecto, la visión estática de la Tierra ha sido quizá el primero y más importante y persistente obstáculo para el desarrollo del concepto de tiempo geológico.

El «creacionismo», relacionado con el fijismo pero con perfiles propios. La creencia en que los materiales terrestres proceden del «acto» de la Creación ha funcionado como inhibidor de cualquier explicación, científicamente fundamentada, sobre las condiciones de formación de las rocas y los procesos que posteriormente han sufrido.

Se ha señalado en las páginas anteriores el cambio epistemológico que supuso la consideración de los materiales terrestres como «archivos» o documentos que contenían información de su pasado y de la Historia de la Tierra; pues bien, el fijismo y el creacionismo han constituido modelos interpretativos inhibidores de dicho cambio.

La visión teleológica, propia de la fase precientífica, al atribuir los cambios a una «causa final», ha inhibido igualmente la búsqueda de causas previas o, dicho en términos aristotélicos, de «causas eficientes».

El antropocentrismo y la perspectiva teleológica han favorecido la identificación de la historia de la humanidad con la historia de la Tierra, lo cual supuso un importante obstáculo para la reconstrucción del pasado terrestre.

Conviene reseñar otras dificultades conceptuales o procedimentales «objetivas» (no propiamente obstáculos epistemológicos en el sentido bachelardiano) que complejizan u obstaculizan la construcción del concepto de Tiempo Geológico (Pedrinaci y García 1992):

– La «barrera imaginativa» o dificultad de representar mentalmente cifras de tan enorme magnitud.

– La lentitud, considerada desde la escala temporal humana, con que ocurren la mayor parte de los procesos geológicos.

- Las enormes escalas espaciales (no sólo temporales) implicadas en muchos de los procesos geológicos.
- La profundidad e inaccesibilidad a la que dichos procesos ocurren con frecuencia.
- La imposibilidad/dificultad que existe de reproducirlos en el laboratorio.
- La singularidad de los acontecimientos geológicos: no son nunca exactamente iguales, son individuales e irrepetibles.
- La existencia de diversas dificultades relacionadas con la utilización del principio de causalidad, como son la lejanía temporal entre causa y efecto, o la intervención de varias causas que interaccionan, añadiendo complejidad a la realización de inferencias.

## **b) Relacionadas con las semejanzas entre el desarrollo histórico y ciertos conocimientos espontáneos de los alumnos**

Posner y otros (1982) señalan la existencia de un cierto paralelismo entre el cambio de paradigma en la comunidad científica y el cambio en las ideas de los alumnos. En el mismo sentido interviene Hewson (1981): «una cuestión central en los últimos tiempos es la comprensión de cómo cambian los conceptos cuando se los confronta con nuevas ideas o nueva información. Este proceso es análogo al que tiene lugar cuando una persona aprende ciencias».

Coincidimos con Jiménez Aleixandre (1989) en que en estos planteamientos se ha querido ver, quizá con excesivo simplismo, una trasposición al ámbito educativo de la conocida frase de Haeckel de que la ontogenia repite la filogenia: «igual que parece explicable que los primeros estadios de los embriones de mamífero guarden semejanza con los peces y anfibios, también podemos esperar que las ideas de los estudiantes sobre un tema reproduzcan los estadios por los que pasaron estas ideas a lo largo de la Historia de la Ciencia».

En el tema que nos ocupa, existen algunos paralelismos de gran interés. Es el caso de la concepción estática de la

parte sólida del planeta, tan frecuente en los alumnos de niveles no universitarios (Pedrinaci 1987), sin cuya dinamización no parece posible la construcción del concepto de tiempo geológico. Convendría investigar otras similitudes, no sólo en la existencia de obstáculos para la comprensión, sino en la potencialidad estructuradora de ciertos conceptos, como por ejemplo el concepto de facies.

## **c) Relacionadas con la categorización de los diversos conceptos que subyacen e integran el concepto de tiempo geológico**

El concepto de tiempo geológico, como señala Pozo (1985) refiriéndose al tiempo histórico, no parece adquirirse ni de una sola vez ni siguiendo un proceso lineal. El desarrollo de las nociones temporales ha seguido históricamente un proceso lento y complejo de adquisiciones parciales. Hemos reseñado la existencia de un conjunto de subconceptos relacionados entre sí y, a su vez, con el tiempo geológico como concepto inclusor: cambio, facies, sucesión causal y cronología.

El interés didáctico de esta distinción es triple. De una parte porque se trata de conceptos que no se sitúan a un mismo nivel, siendo algunos de ellos previos a otros (como se ha señalado en el concepto de cambio). De otra, porque el establecimiento de relaciones entre ellos favorece su mutuo desarrollo y, finalmente, porque cada uno de ellos exige unas operaciones intelectuales determinadas, no siempre coincidentes cuyos ritmos específicos de adquisición conviene considerar (Pedrinaci y García 1992).

El tratamiento didáctico del tiempo geológico, con frecuencia se limita a abordar la dificultad, por otro lado evidente, que ofrece la representación mental de tiempos tan inimaginablemente grandes. Para ello suele recurrirse al uso de analogías que permitan al alumno disponer de una referencia comparativa. Asumiendo la oportunidad de este tipo de actividades (Carrillo 1990), hemos pretendido mostrar que el análisis histórico y epistemológico avalan el uso de estrategias didácticas más complejas que faciliten la construcción de las diferentes nociones integradoras del concepto de tiempo geológico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRITTON, C., 1984. Geologic Time, *Journal of Geological Education*, Vol. 32, pp. 29-37.
- ANGUITA, F., 1988. *Origen e Historia de la Tierra*. (Rueda: Madrid).
- ARISTÓTELES. *La Física*. Trad.: 1935, E. González. (Bergua: Madrid).

- ASENSIO, M., CARRETERO, M. y POZO, J.I., 1989. La comprensión del tiempo histórico, en *La enseñanza de las Ciencias Sociales*, M. Carretero, J.I. Pozo y M. Asensio. (Visor: Madrid).
- BACHELARD, G., 1938. *La formación de l'esprit scientifique*. (Vrin: París).



- BUFFON. *Les Époques de la Nature*. Edition critique par J. Roger, Memoires du Muséum National D'Histoire Naturelle, 1988, París.
- CAILLEUX, A., 1961. *Histoire de la Géologie*. (Presses Universitaires de France: París). Trad.: 1964, N. Bastard, *Historia de la Geología* Eudeba: Rivadavia).
- CARRILLO, L., 1990. Introducción al concepto de «Tiempo» en Geología y Biología, *Investigación en la Escuela*, 11, pp. 93-94.
- ELLENBERGER, F., 1988. *Histoire de la Geologie*. Trad.: 1989, M. Rubió, *Historia de la Geología* (Labor: Madrid).
- GAGLIARDI, R., 1986. Los conceptos estructurantes en el aprendizaje por investigación, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), pp. 30-35.
- GAGLIARDI, R. y GIORDAN, A., 1986. La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3), pp. 253-258.
- GALLEGOS, J.A., 1992. La percepción del tiempo geológico. *VII Simposio sobre enseñanza de la Geología*, Santiago de Compostela, pp. 185-202.
- GOHAU, G., 1987. *Histoire de la Géologie*. (La Decouverte: París).
- HALLAM, A., 1983. *Great Geological Controversies*. (Oxford: University Press). Trad.: J.M. Fontboté, *Grandes controversias geológicas*. (Labor: Barcelona).
- HEWSON, P.W., 1981. A conceptual change a approach to learning science, *European Journal of Science Education*, 3, pp. 383-396.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P., 1989. *Los esquemas conceptuales sobre la selección natural*: análisis y propuestas para un cambio conceptual. Tesis doctoral. (Universidad Complutense: Madrid).
- JURD, M. F., 1978. *Concrete and formal operational thinking in history*. (Wiley: Nueva York).
- MARSHACK, A., 1979. *Ice age art*. (Academy of Sciences: San Francisco).
- MEUNIER, S., 1911. *Evolución de las Teorías Geológicas*. (Librería Gutemberg de José Ruiz: Madrid).
- PEDRINACI, E., 1987. Representaciones de los alumnos sobre los cambios geológicos, *Investigación en la Escuela*, 2, pp. 65-74.
- PEDRINACI, E., 1992. Catastrofismo versus actualismo. Implicaciones didácticas, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), pp. 216-222.
- PEDRINACI, E. y ÁLVAREZ, R., 1992. Obstáculos en la construcción de las nociones acerca del origen de las rocas. *VII Simposio sobre enseñanza de la Geología*, Santiago de Compostela, pp. 173-184.
- PEDRINACI, E. y GARCÍA, E., 1992. El concepto de tiempo geológico: Una perspectiva histórica. *III Congreso Geológico de España*. Salamanca. Simposios, Vol. 1, pp. 450-459.
- PIAGET, J., 1946. *Le développement de la notion du temps chez l'enfant*. (PUF: París). Trad.: 1978, V. M. Suárez y J. Utrilla, *El desarrollo de la noción de tiempo en el niño*. (FCE: México).
- POSNER, G.J., STRIKE, HEWSON y GERTZOD., 1982. Accomodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change, *Science Education*, 66, pp. 211-227.
- POZO, J.I., *El niño y la Historia*. (Servicio de Publicaciones del MEC: Madrid).
- RUDWICK, M., 1976. *The meaning of fossils: episodes in the History of Paleontology*. (University of Chicago: Illinois).
- SALTIEL, E. y VIENNOT, L., 1985. ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?, *Enseñanza de las Ciencias*, 3, pp. 137-144.
- SEQUEIROS, L., 1991. Desarrollo de las representaciones mentales sobre la evolución, *Alminar*, 20, pp. 39-45.
- SEQUEIROS, L. y MARINEZ URBANO, M., 1992. Evolución y persistencia de las representaciones mentales: la creación del mundo y el origen del hombre, *Investigación en la Escuela*, 16, pp. 39-48.
- STENO, N., 1799. *Canis carcharie dissectum caput in Nicolai Stenonis Elementorum myologiae specimen*, en *La nascita della paleontologia nel seicento*. (N. Morello, F. Angeli: Milán).
- TOULMIN, S. y GOODFIELD, J., 1965. *The Discovery of Time*. (Hutchinson and Co.: Londres).
- WHITROW, G. J., 1988. *Time in history. The evolution of our general awareness of time and temporal perspective* (Oxford University Press: Oxford). Trad.: 1990, T. Camprodón, *El tiempo en la historia*. (Crítica: Barcelona).