

DE LA TEORÍA DE LA TIERRA A LAS ÉPOCAS DE LA NATURALEZA DE BUFFON: ANÁLISIS DE UNA MUTACIÓN CONCEPTUAL

JOSÉ ALSINA CALVÉS
IES “Galileo Galilei” (Barcelona)

RESUMEN

Entre la Historia y la Teoría de la Tierra y Las Épocas de la Naturaleza el pensamiento de Buffon sufre una auténtica mutación conceptual. De un modelo cíclico, eternalista y neptunista de la historia de la Tierra, se pasa a otro direccional, donde el enfriamiento del globo se convierte en auténtico concepto explicativo preferente. Este nuevo modelo abre el camino a una cronología de larga duración. En el presente artículo nos dedicaremos a describir y a analizar esta mutación conceptual y sus consecuencias.

ABSTRACT

Between History and Theory of the Earth and The Periods of Nature, Buffon's thought suffers an authentic conceptual mutation. From a cyclical, eternalist and neptunist approach to the history of the Earth, he moves to a more directional one, where the cooling of the Globe becomes a real explicative and preferent concept. This new point of view opens the way to a lasting chronology. In this paper we will try to describe and analyse this conceptual change and its consequences.

Palabras clave: Geología, Siglo XIX, Neptunista.

Keywords: Geology, 19th Century, Neptunist.

Introducción

En este artículo vamos a estudiar la evolución del pensamiento de Buffon, aplicando un modelo de cambio conceptual desarrollado anteriormente [ALSINA, 2006, pp. 221-257]. El modelo parte de las Tradiciones de Investigación

(TI) [LAUDAN, 1986, pp. 104-160], y de diversos modelos de selección natural [CAMPBELL, 1974, pp. 413-463; HULL, 1988, pp. 123-155].

El artículo forma parte de un trabajo de investigación más amplio (tesis doctoral) bajo el título *Génesis de conceptos geológicos a lo largo de los siglos XVII y XVIII: una perspectiva filosófica*, donde se pretende estudiar la génesis de la geología como disciplina científica, o, más exactamente, la generación de conceptos geológicos a lo largo de los siglos XVII y XVIII que van a hacer posible la emergencia de la geología como ciencia, ya en el siglo XIX.

El planteamiento no es histórico, sino filosófico, aunque tiene a la historia como objeto de estudio. No se limita a una reconstrucción de los procesos, puesto que la filosofía de la ciencia es un metadiscurso que se ocupa de la actividad científica, de la producción de conocimiento, de la estructura del mismo, así como del cambio conceptual. La filosofía de la ciencia no puede hacerse en el vacío, sino que debe referenciarse en un discurso científico completo, y por tanto la entendemos vinculada al desarrollo de la ciencia en periodos históricos determinados.

La tesis que defendemos es que el pensamiento geológico de Buffon se mueve en una Tradición de Investigación iniciada en Steno. Las Tradiciones de Investigación se caracterizan por una unidad metodológica y ontológica [LAUDAN, 1986, p. 120], pero en su seno pueden darse importantes cambios conceptuales en las teorías que contienen [LAUDAN, 1986, p. 133].

Nosotros nos centraremos en el cambio conceptual que se produce entre las dos obras de Buffon: la *Historia y Teoría de la Tierra* y *Las Épocas de la Naturaleza*, un enfoque novedoso nunca realizado hasta ahora.

La Teoría de la Tierra de Buffon

El año 1749 Georges-Louis Leclerc Buffon publicaba los tres primeros tomos de su monumental *Historia Natural*. El primero de estos tomos contenía un *Primer Discurso*, de naturaleza metodológica, y a continuación dos trabajos de gran importancia en geología: la *Historia y Teoría de la Tierra*, y las *Pruebas de la Teoría de la Tierra*¹.

En esta obra hay tres cuestiones muy importantes a destacar:

1. Se elabora un modelo cosmológico del origen de la Tierra y del Sistema Solar que va a mantenerse en las *Épocas*.
2. Se elabora una teoría del modelado del relieve terrestre de tipo neptunista, y en una concepción del tiempo cíclica o eternalista. Este aspecto del pensamiento de Buffon es el que va a sufrir un cambio más radical en las *Épocas*.

3. En cualquier caso se asimilan de forma explícita los conceptos de Steno sobre estratos y sedimentación.

El modelo cosmológico

El modelo cosmológico que va a presentar Buffon en la *Historia Natural*, y que va a mantenerse de forma invariable en las *Épocas*, presenta una gran originalidad, aunque pueden rastrearse en el mismo diversos elementos de origen newtoniano y cartesiano.

Utilizamos el término modelo en el sentido que le da Giere [1988]. Los modelos (o modelos teóricos) son entidades que forman parte del mundo imaginario, y solamente existen en la mente de los científicos. Los modelos se relacionan con el mundo real mediante las «hipótesis teóricas», que son entidades lingüísticas o enunciados que afirman algún tipo de relación entre un modelo y un sistema real determinado².

En el caso que nos ocupa, el modelo cosmológico permaneció invariable, mientras que el modelo geológico o de dinámica del globo terrestre sufrió una importante mutación conceptual. En cualquier caso, esta idea de modelo teórico es mucho más laxa que la de teoría, y no exige una axiomatización [ESTANY, 2006, pp. 196-197].

Buffon no filosofa sobre el «origen» en la misma medida que Descartes, pero si en el mismo sentido [BELTRAN, 1997, p. 69]. No intenta reconstruir la génesis del conjunto del universo, pero tampoco se reduce al planeta Tierra, sino que elabora un modelo explicativo del conjunto del sistema solar. Pero el modelo de Buffon es cartesiano especialmente en relación al lugar que reserva a Dios. No es el Dios relojero de Newton que construye el Universo en sus detalles más íntimos, sino el Dios que genera unas leyes que actúan y generan el Universo. Buffon, pues, hace lo que Newton consideraba «no filosófico»: expone la génesis del sistema solar, y lo hace de acuerdo a las leyes de la mecánica.

El punto inicial de Buffon será el Sol rodeado por un sistema de cometas, cuyo origen hay que buscarlo en explosiones exteriores a nuestro sistema solar. A diferencia de los planetas actuales, que orbitan en un mismo plano y dirección, los cometas giran en torno al Sol en todas direcciones.

Uno de estos cometas, desviado de su órbita, chocó oblicuamente con el Sol, arrancándole un 650 avo parte de su materia, que estaba en estado líquido. Este torrente de materia en rotación se dividió debido a la oblicuidad del choque y formó una serie de globos esféricos que dieron lugar a los planetas, los cuales a su vez, por efecto de su propia rotación, perdieron parte de su materia para dar lugar a los satélites. Debido a su rotación y a su estado fluido, planetas y satélites se achataron por los polos y se hincharon por el ecuador.

El esferoide de materias en fusión que constituye la Tierra está rodeado de vapores que, al condensarse, se precipitan sobre su superficie que debido a su alta temperatura vuelve a vaporizarlos una u muchas veces. Pero a partir de un determinado momento del proceso de enfriamiento y solidificación, el globo terráqueo ya no los vaporiza de nuevo, y así aparecen las grandes extensiones de agua líquida.

Hasta aquí tenemos el modelo cosmológico de Buffon, que permanece idéntico en la *Teoría de la Tierra* y en *Las Épocas de la Naturaleza*. El proceso de enfriamiento de la Tierra será el «marcador de tiempo» en las *Épocas*, y el concepto explicativo preferente para la totalidad de los fenómenos geológicos. Sin embargo, al escribir la *Teoría de la Tierra*, Buffon todavía no ha entendido las posibilidades de su propio modelo: en el momento en que se consolidan los océanos se entra en una fase de tiempo cíclico o eternalista, en que la rotación de las aguas oceánicas sobre la superficie del globo es el principal agente de modelado.

El modelado terrestre

En el modelo de modelado terrestre (no es una redundancia) que propone Buffon, las aguas de los océanos son el agente causal principal. Los océanos siguen un movimiento de traslación cíclico, de esta manera puede suponer que han actuado sobre toda la superficie de la Tierra, sin el problema de tener que hacer aparecer y desaparecer grandes cantidades de agua, tal como ocurre en las hipótesis diluviales. Así nos lo describe:

...sin embargo, las vemos agitadas (las aguas) por una fuerza poderosa, que, oponiéndose a la tranquilidad de aquel elemento, le imprime un movimiento periódico y reglado, eleva y abate alternativamente olas y hace un balance de toda la masa de las mareas moviéndolas hasta su mayor profundidad; y sabemos que este movimiento es en todos los tiempos, y durará tanto como el Sol y la Luna que lo causan³.

Las aguas están pues sometidas a un movimiento cíclico, causado por la atracción de la Luna y del Sol. Estas aguas actuarán sobre el modelado de la siguiente manera:

Supuestas las pruebas que hemos dado (art. VII y VIII), parece cierto que los continentes terrestres estuvieron en otros tiempos cubiertos por las aguas del mar; también parece cierto (art. XII) que el flujo y reflujó, y demás movimientos de las aguas desprenden continuamente de las costas y del fondo del mar materias de toda especie, y cierto es que después se depositan en algún paraje, cayendo al fondo del agua como sedimentos, y que éste es el origen de las capas horizontales y paralelas que se encuentran en todas partes⁴.

Es decir, el agua, a través de sus movimientos, arranca materiales de un lugar y los deposita en otro, y éste es el principal agente de modelado. Los océanos, por otra parte, van cubriendo y descubriendo los continentes, a través de un movi-

miento cíclico producido por la atracción del Sol y de la Luna. Las zonas emergidas se secan, y esto acaba de completar los fenómenos de modelado:

La disminución de volumen, causada por la desecación, es la causa única de estas grietas perpendiculares⁵.

Buffon distingue claramente entre dos periodos en el desarrollo de la Tierra: el periodo inicial, cuando los materiales en fusión se consolidan, y el periodo posterior cuando se va esculpiendo el modelado por la acción de las aguas. Este segundo periodo es de duración indeterminada. Esto le lleva a cierto catastrofismo, o al menos un no-actualismo. En las *Épocas* esta separación desaparece, las leyes de la historia de la Tierra se unifican y se va hacia un actualismo.

Las alteraciones acaecidas en el globo terrestre de dos, y aun de tres mil años a esta parte, son de poquísima consideración, comparadas con las revoluciones que debió haber en los primeros tiempos consecutivos a la Creación, siendo fácil demostrar que, no habiendo adquirido su solidez todos los materiales terrestres sino por acción continua de la gravedad y otras fuerzas que acercan y reúnen las partículas de materia, debió ser al principio la superficie de la Tierra mucho menos sólida de lo que después se ha hecho, y que, por consiguiente, las mismas causas que actualmente no producen más que alteraciones casi imperceptibles en el discurrir de muchos siglos, debieron causar entonces grandísimas revoluciones en muy pocos años⁶.

Obsérvese la utilización del término «revolución», muy utilizado después por Cuvier, autor muy representativo del pensamiento catastrofista.

Presencia de las ideas de Steno

La *Teoría de la Tierra* está llena de referencias implícitas y explícitas a la obra de Steno. La asimilación de conceptos como sedimentación, estrato, formación de los fósiles en el sedimento y los principios de superposición y de continuidad de los estratos se ponen en evidencia en múltiples pasajes. En el cambio conceptual que se produce en Buffon al escribir las *Épocas* se mantienen la mayoría de estos conceptos, readaptándolos al nuevo modelo teórico.

...y noto que estas capas están siempre puestas unas sobre otras, y cada capa tiene el mismo grosor en toda su extensión; advierto que en las colinas contiguas se hallan los mismos materiales a igual nivel⁷.

... (las capas) nuevas y más extensas, (las formaron) los materiales transportados y depositados como sedimentos por el movimiento de las aguas⁸.

El mecanismo de sedimentación se describe con mayor detalle en el siguiente pasaje:

Estas partículas de piedra o de tierra serán transportadas necesariamente por las aguas hasta cierta distancia y a ciertos parajes en que el movimiento del agua, hallándose

mitigado, las abandonará a su propio peso, y entonces se precipitarán ellas mismas al fondo del agua en forma de sedimento, y formarán allí una primera capa horizontal o inclinada según la posición de la superficie del terreno⁹.

Buffon se refiere únicamente a la sedimentación mecánica. No hay alusión a la química ni a la transformación «de agua en tierra» a las que alude Steno. Por otra parte los fósiles se conciben como parte del sedimento:

...y que no solamente (las conchas petrificadas) se hallan encerradas en todos estos materiales, sino también incorporadas con ellos, petrificadas y llenas con la misma sustancia que las rodea¹⁰.

Los mecanismos de formación de modelado por hundimiento de los estratos, descritos por Steno, se asumen en el siguiente párrafo:

Las capas calizas se encuentran horizontales así en los llanos como en las montañas a donde han sido llevadas por los temblores de tierra o por otras causas accidentales, y cuando están inclinadas consiste en que las montañas se han inclinado también hacia algún lado por la fuerza de alguna explosión subterránea o por algún hundimiento del terreno que les servía de base¹¹.

Así pues Buffon, en su *Teoría de la Tierra*, asume la mayor parte del aparato conceptual desarrollado por Steno, aunque subordinándolo a su modelo nepetunista de modelado. Esto demuestra nuestra tesis de la continuidad de esta tradición de investigación. En el posterior modelo desarrollado por Buffon se seguirá conservando buena parte de este aparato conceptual. En el siguiente pasaje Buffon explicita su deuda con Steno:

Estenon (Steno) y otros autores que le sucedieron (¿Hooke, Leibnitz?) atribuye las desigualdades que se advierten en la superficie de la Tierra a inundaciones particulares, temblores de tierra, conmociones, hundimientos, etc., sin reflexionar que los efectos de estas causas secundarias no pudieron producir sino ligeras alteraciones. Nosotros admitimos estas mismas causas, pero subordinadas a la causa primitiva, que es el movimiento del flujo y reflujo y el movimiento del mar de Oriente a Occidente. Por lo demás, ni Estenon ni los otros autores han dado teoría¹².

Maticemos la cuestión de la continuidad. Recordemos que una Tradición de investigación (TI) impone a las teorías que la componen un nexo de relación más laxo que otros modelos teóricos. Pero se dan las condiciones de hablar de continuidad, pues hay una misma ontología (el concepto de estrato con todo lo que significa) y una misma metodología: un método deductivo de cuño cartesiano.

La flecha del tiempo en las *Épocas*

Las Épocas de la Naturaleza se publicó en 1778. La obra consta de ocho capítulos más unas notas justificativas. El primer capítulo (o introducción) lleva el

nombre de *Primer Discurso*, y los siete restantes se dedican a cada una de las siete «épocas» que Buffon postula.

La expresión «flecha del tiempo» la debemos al paleontólogo S.J. Gould¹³, y es altamente expresiva para referirnos a algún tipo de proceso natural que sirva para medir el tiempo al ser constante e introducir cambios irreversibles en la naturaleza. La termodinámica introdujo el concepto de entropía (o mejor dicho, de su incremento) que juega una papel de «flecha del tiempo», pues es un incremento continuo e irreversible.

En las *Épocas* Buffon introduce un modelo de «flecha del tiempo» a partir de un enfriamiento paulatino del globo terrestre. Esto significa un importante cambio conceptual, no solamente con respecto a otros autores, sino también en relación con las propias ideas de Buffon expuestas en la *Historia y Teoría de la Tierra*. El modelo del enfriamiento tiene una doble importancia:

1. Proporciona argumentos cuantitativos a favor de un incremento notable de la edad de la Tierra.
2. Proporciona un *concepto explicativo preferente* [ESTANY, 1990, p. 150; 1993, pp. 208-209] para la mayoría de los fenómenos geológicos y para algunos fenómenos biológicos.

En el presente artículo nos ocuparemos del análisis filosófico de estos dos aspectos del cambio conceptual, pero antes rastreamos el origen de estos cambios, buscando las influencias sincrónicas en el medio intelectual en que vivió y trabajó Buffon, y las influencias diacrónicas en el seno de la tradición de investigación en la cual opera.

El tiempo direccional en Geología

Según el modelo teórico que hemos adoptado, el pensamiento geológico de Buffon hay que enmarcarlo en una tradición de investigación que se inicia en Steno. Esta tradición tiene una importante influencia filosófica cartesiana, en tanto que se caracteriza desde el punto de vista ontológico por adoptar una concepción mecanicista o particulada de la materia, y desde el punto de vista metodológico utiliza la deducción, o el método hipotético deductivo.

Steno, iniciador de esta tradición, va a generar una serie de elementos conceptuales que van a permanecer, pero cambiando su importancia relativa dentro del conjunto: sedimento, estratos, las rocas como archivo, el fósil como parte de la roca, etc. En la obra de Steno se adivina ya un proceso de desarrollo temporal direccional, pero su intento de incluirlo en una cronología de corta duración, que

coincida con la cronología bíblica, frustra en parte las posibilidades de sus innovaciones conceptuales.

Buffon ve claro desde el principio que es imprescindible ampliar la cronología para poder explicar los fenómenos geológicos sin necesidad de recurrir a las escrituras o a cualquier otra explicación milagrosa o sobrenatural. En la *Historia y Teoría de la Tierra* imagina un tiempo cíclico o eternalista. En las *Épocas* introduce un tiempo direccional. Pero este cambio va acompañado de otro muy importante: el paso de la concepción cíclica del tiempo a una direccional va acompañada de un cambio en la idea del factor físico fundamental en el modelado de la Tierra: de la acción del agua en el primer modelo, al enfriamiento paulatino de la Tierra en el segundo.

Este paso no es la consecuencia de un supuesto transformismo biológico, que se aplica a la interpretación de los problemas geológicos. Es la consecuencia del desarrollo de una tradición de investigación iniciada el siglo anterior, que va incorporando ideas diversas de un medio intelectual que en cien años ha evolucionado notablemente, y que ha ido superando diversos obstáculos epistemológicos.

En puridad, ninguna de las etapas del desarrollo de la Tierra que presentó Buffon en las *Épocas*, tomada por separado era totalmente nueva. Descartes había sugerido que los planetas se formaron a partir de estrellas incandescentes; Leibnitz había desarrollado esta idea en su *Protogea*, y hasta Newton había utilizado esta idea para explicar el achatamiento de la Tierra en los polos [TOULMIN y GOODFIELD, 1968, p. 143].

Asimismo la idea de interpretar los días de la Creación como épocas geológicas había surgido en la década de 1690, durante la discusión que desencadenó la *Historia Sagrada de la Tierra* de Burnet. También Benoit de Maillet, en su diálogo *Telliamed*, había anunciado la extensión de la escala del tiempo.

La auténtica originalidad de Buffon está en la síntesis conceptual de todas estas ideas, en el seno de una tradición de investigación y a la luz de unas ideas generales sobre el cambio y la historia que proceden del medio intelectual en el que opera.

El escoger el enfriamiento paulatino del globo terrestre como mecanismo fundamental de su geología Buffon escogió unas opciones filosóficas y metodológicas muy concretas. El enfriamiento es un proceso continuo en el tiempo, lo cual nos va a permitir medirlo: tenemos ya sentadas las bases para una cronología absoluta, al menos teóricamente. A partir de estas premisas, y de sus experimentos sobre enfriamiento de esferas de distintos materiales, Buffon realizó sus cálculos cronológicos, cuyo resultado fue una ampliación notable de la edad de la Tierra.

Pero hay más. Al ser el enfriamiento el concepto explicativo preferente en la geología de Buffon, a partir del cual explicó la aparición de los océanos por condensación del vapor de agua, el modelado del relieve por contracción, el origen de las rocas, los elementos químicos, los minerales y las menas metálicas, los fenómenos volcánicos, e incluso la aparición y desaparición de seres vivos, nos encontramos con una causa constante que opera a lo largo del tiempo. La conclusión es que las causas de los fenómenos geológicos en la actualidad y en el pasado remoto de la Tierra fueron las mismas, y reducibles a una sola: el enfriamiento. La geología que presentó Buffon en las *Épocas* es una geología actualista, pues considera que las mismas causas actuaron en el pasado y en la actualidad.

La cronología de las *Épocas*

El proceso de enfriamiento es la causa única de todo el proceso de cambio geológico. Pero a medida que el proceso va teniendo lugar se suceden en la Tierra una serie de acontecimientos que permiten dividir el tiempo en unos periodos determinados o *Épocas*. Pero Buffon no se limita a describir estas *Épocas*, sino que pretende determinar su duración y, por tanto, establecer una cronología absoluta de la historia de la Tierra.

Para sus cálculos Buffon se fundamentó en experimentos realizados con esferas de distintos materiales, que eran calentadas y posteriormente se media el tiempo de enfriamiento. En sus cálculos supuso Buffon que si la Tierra estuviera formada únicamente de hierro o materias ferrosas se habría solidificado hasta el centro en 4.026 años, se habría enfriado hasta poder tocarla en 46.991 años, y habría llegado a la temperatura actual en 100.696 años. Pero en realidad la Tierra está formada de materiales fundibles y calcáreos que se enfrían en un tiempo menor que los materiales ferrosos, y ello obligó a introducir unas correcciones: se habría solidificado hasta el centro en 2.905 años; se podría tocar sin quemarse en 33.911 años y habría llegado a la temperatura actual en 74.047 años. Una posterior corrección, que tiene en cuenta los efectos del Sol, dejó la cifra final de 74.832 años.

*Acabamos de ver que, según nuestra hipótesis, debieron transcurrir dos mil novecientos treinta y seis años antes que el globo terrestre pudiera adquirir toda su consistencia y que toda su masa se hubiera consolidado hasta el centro*¹⁴.

*El momento del asentamiento de las aguas sobre la superficie del globo precedió sólo en pocos siglos al momento en que habría podido tocársela sin quemarse. De modo que contando setenta y cinco mil años desde la formación de la Tierra, y la mitad de este tiempo para su enfriamiento hasta el punto de poder tocarla, quizás pasaran veinticinco mil de esos primeros años antes de que el agua [...] pudiera asentarse de modo fijo sobre la superficie del globo*¹⁵.

A los treinta mil o treinta y cinco mil años después de la formación de los planetas, la Tierra se hallaba lo suficientemente templada para recibir las aguas sin rechazarlas vaporizándolas¹⁶.

No vamos a discutir aquí los errores técnicos en los cálculos de Buffon. Queremos resaltar dos cuestiones: en primer lugar la enorme ampliación del tiempo geológico que significa esta cronología, teniendo en cuenta que algunos contemporáneos suyos situaban todavía la edad de la Tierra en los 6.000 años de la cronología bíblica. Por otro parte, el hecho ya comentado que esta cronología está ligada a un proceso de enfriamiento que se convierte en concepto explicativo preferente de toda la evolución del globo terrestre, marcando unos periodos de tiempo, las Épocas, y siendo a la vez la causa última de los cambios que se van produciendo.

Por otra parte existen indicios de que Buffon se planteó una cronología mucho más larga. En manuscritos inéditos, que son en realidad borradores de las *Épocas*, se asignan antigüedades mucho mayores a los distintos acontecimientos. Así el enfriamiento que permite recibir las aguas se sitúa en el manuscrito entre los 700.000 y el millón de años [BELTRÁN, 1997, p. 214], y la aparición de los primeros seres vivos entre un millón y medio y dos millones y medio de años [BELTRAN, 1997, pp. 215-216].

Buffon era consciente de lo revolucionarias que eran sus propias conclusiones. Una especie de autocensura le llevó a recortar su cronología original. Aunque estaba convencido de lo correcto de sus cálculos incluso la cifra de setenta y cinco mil años le parece excesiva a la hora de defenderla.

¿Por qué el espíritu humano parece perderse en el espacio de la duración antes que en el de la extensión, o en la consideración de las medidas, de los pesos y de los números? ¿Por qué cien mil años son más difíciles de concebir y contar que cien mil libras en monedas? ¿Será porque la suma del tiempo no puede palpase ni materializarse en especies visibles? ¿No será más bien que, estando acostumbrados por nuestra existencia demasiado corta a considerar cien años como una gran suma de tiempo, apenas podemos formarnos una idea de mil años, y no podemos ya representarnos diez mil años, y ni siquiera concebir cien mil?¹⁷.

Buffon muestra en este párrafo que es consciente del principal obstáculo epistemológico para la comprensión del tiempo geológico: la dificultad de imaginar largos ciclos de tiempo en comparación con la relativa insignificancia de la vida humana, que, queramos o no tomamos como patrón. Pero a esta dificultad de imaginar opone los datos y razonamientos:

El único medio es dividir en varias partes estos largos periodos de tiempo, comparar con los ojos del espíritu la duración de cada una de estas partes con los grandes efectos y sobre todo con las construcciones de la naturaleza. Hacer cálculos aproximados sobre el número de siglos que fueron necesarios para producir todos los animales conchados de los que la

Tierra está llena. A continuación sobre el número aún mayor de siglos que transcurrieron para el transporte y depósito de estas conchas y sus detritus. Finalmente, sobre el número de siglos siguientes, necesarios para la petrificación y desecación de estas materias. Entonces se verá que esta enorme duración de setenta y cinco mil años, que yo he contado desde la formación de la Tierra hasta su estado actual, no es aún suficientemente amplia para todas las grandes obras de la naturaleza, cuya construcción nos demuestra que no ha podido hacerse más que por una sucesión lenta de movimientos regulados y constantes¹⁸.

En este pasaje hay un rechazo absoluto hacia el catastrofismo, cuyo corolario tiene que ser necesariamente la ampliación de la cronología. De hecho Buffon viene a decir que si se siguen sus razonamientos se llega a la conclusión de que su propia cronología es excesivamente corta. Beltrán [1997, pp. 194-195] nos muestra el manuscrito donde Buffon justifica su propia moderación:

El emplear números tan grandes y espacios de una duración que no es (apenas es) concebible no sirve más que para añadir nuevas causas de oscuridad a las cosas difíciles que pretendéis explicar. Vi tan claramente la contundencia de esta consideración que traté de prevenir su efecto presentando primero un esquema recortado (un esquema menos extenso) de la duración de los tiempos [...]. Cuando no calculaba más que 74 o 75 mil años para los tiempos transcurridos desde la formación de los planetas, advertí que me retenía para oponerme lo menos posible a las opiniones recibidas y, a la vez, para no deducir de mis experiencias sobre el enfriamiento más que las consecuencias absolutamente irrefutables.

Es evidente pues que Buffon creía en una cronología mucho más larga, y que en las *Épocas* la restringe al mínimo necesario para poder colocar los diversos acontecimientos de la historia de la Tierra. Su intención no es otra que la prudencia, el ir poco a poco generalizando sus conclusiones para que posteriormente los límites cronológicos se vayan ensanchando.

Pero los cálculos cronológicos de Buffon no solamente nos proporcionan una datación absoluta de la historia de la Tierra, sino que dividen esta historia en unos periodos característicos: las *Épocas*, que dan nombre a la obra que estamos estudiando. Cada *Época* viene caracterizada por unos acontecimientos determinados, y es estudiada en cada uno de los capítulos o divisiones de la obra en cuestión, precedidas por una *Reflexión Inicial* o *Primer Discurso*, donde se hace una introducción general y reflexiones muy interesantes des del punto de vista metodológico.

Las siete *Épocas* descritas son:

1. Primera *Época*: cuando la Tierra y los planetas tomaron su forma.
2. Segunda *Época*: cuando habiéndose consolidado la materia formó la roca interior del globo, así como las grandes masas vitrificables que hay en su superficie.
3. Tercera *Época*: cuando las aguas cubrieron nuestros continentes.

4. Cuarta Época: cuando las aguas se retiraron y los volcanes iniciaron su actividad.
5. Quinta Época: cuando los elefantes y otros animales del sur habitaron las tierras del norte.
6. Sexta Época: cuando se produjo la separación de los continentes.
7. Séptima (y última) Época: cuando el poder del hombre secundó al de la naturaleza.

El enfriamiento de la Tierra como motor de las transformaciones

En el modelo que nos ofrece Buffon el paulatino enfriamiento de un globo terrestre, originalmente fundido e incandescente, es la causa última de las distintas transformaciones geológicas, y biológicas, que acontecen en la Tierra. Este proceso se produce en el marco de unas determinadas leyes naturales que Buffon supone que rigen todas las transformaciones.

En las *Épocas* se consideran diversos fenómenos geológicos, pero también biológicos, referidos siempre al proceso gradual de enfriamiento

- Procesos tectónicos, formación de rocas, volcanes y geografía general del globo terrestre.
- Metales, mineralogía y teoría de la materia.
- Origen y naturaleza de los seres vivos y de la especie humana.
- Las leyes naturales que rigen estos procesos.

Así pues la construcción teórica que Buffon ofrece en las *Épocas* presenta una buena parte de los elementos necesarios para la construcción de una *geología*: un modelo explicativo del origen de las estructuras tectónicas; una petrografía y una teoría mineralógica y química. Falta una estratigrafía, pues Buffon, aunque ha asimilado los conceptos de estrato y de sedimentación no los asimila a una distribución del tiempo geológico, quizá por su falta de hábito en el trabajo de campo. Todo ello se complementa con su teoría sobre el origen de los seres vivos, y con un marco general filosófico sobre las leyes naturales y su papel.

Una vez la Tierra se ha consolidado, es decir, ha pasado de material fundido a sólido, el proceso de enfriamiento continua. Buffon nos describe así lo que ocurre:

Comparemos los efectos de la consolidación del globo de la Tierra en fusión a los que vemos darse en una masa de metal o vidrio fundido que empieza a enfriarse. En la superficie de estas masas se forman huecos, ondulaciones y asperezas, y bajo la superficie se forman vacíos, cavernas, hinchazones que pueden representar aquí las primeras irregulari-

*dades que se han encontrado sobre la superficie de la Tierra y las cavernas de su interior. A partir de ahí tendremos una idea del gran número de montañas, valles, cavernas y anfractuosidades que se formaron en este primer tiempo en las capas interiores de la Tierra*¹⁹.

Este párrafo ofrece gran interés. Por una parte nos da una teoría sobre el origen de las estructuras tectónicas basada en un proceso puramente físico, como es el enfriamiento y la contracción subsiguiente. Esta teoría sería recogida y desarrollada en el siglo siguiente por Elie de Beaumont, concretamente en el año 1829, como *teoría de la contracción* [ALSINA, 2006, pp. 102-103].

Por su parte James D. Dana, profesor de Yale, contemporáneo a Elie de Beaumont, defendió con entusiasmo la teoría contraccionista. Consideraba que los continentes correspondían a las zonas de la corteza que primero se enfriaron, mientras que contracciones posteriores provocarían los hundimientos de la corteza que ocupan los océanos. Al reducir su volumen el interior terrestre, los continentes sufrirían enormes presiones cuya consecuencia sería la formación de las cordilleras, como las arrugas que se originan en la piel de una manzana al secarse.

La teoría de la contracción recibió un posterior impulso cuando el geólogo austriaco Eduard Suess publicó, entre los años 1883 y 1909, *La Faz de la Tierra*. Para Suess la Tierra estaba estratificada en tres capas: la corteza superior, el manto intermedio y el núcleo central. Grandes bloques de la corteza original habrían ido hundiéndose a medida que se enfriaba el interior terrestre, originándose así las cuencas oceánicas. El enfriamiento de la Tierra generaría una tensión entre la corteza y el interior del planeta, que sería la causa de dos tipos de presiones: unas paralelas a la superficie, o tangenciales, que plegarían los materiales y formarían las montañas. Las otras serían radiales y causarían los hundimientos. Suess introdujo el término *eustático* para referirse a los movimientos de elevación y descenso del nivel del mar a escala mundial.

Buffon no pudo realizar este desarrollo conceptual, entre otras cosas, por su concepción homogénea del globo terrestre, pero es evidente que su teoría de la contracción sentaría las bases para posteriores desarrollos de la geología. Contrariamente a lo que se ha dicho, en este aspecto, y en otros que irán apareciendo, las *Épocas* tiene un cierto carácter precursor, aunque sus contemporáneos no la consideraran como tal.

Otro aspecto interesante del pasaje citado es la comparación de la Tierra con una masa de metal o vidrio que se enfría. Nos confirma la idea de que Buffon realizó experimentos con esferas de materiales diferentes, estudiando su enfriamiento. De estos experimentos no solo dedujo su cronología absoluta, comentada anteriormente, sino que hay un estudio fenomenológico, estudio que se realiza con el método hipotético deductivo.

Lo que Buffon nos describe es lo que actualmente llamamos un *modelo analógico*: la Tierra no es una masa de metal o de vidrio, pero se comporta como si lo fuera. La ontología hipotética cartesiana se revela aquí de una forma nítida. De la misma manera que Descartes, en el *Tratado del Mundo* describe la luz utilizando como modelo el bastón de un ciego [TURRÓ, 1985, pp. 340-342], y establece así las hipótesis básicas de su óptica: transmisión instantánea de la luz, reducción de ésta a los rayos luminosos, y reducción de los colores a los modos en que los rayos chocan con los objetos, Buffon describe el comportamiento de la Tierra al enfriarse utilizando como modelo la esfera de vidrio o metal.

Cabe comentar de este pasaje un tercer aspecto de interés: junto a las montañas se forman, por efecto de la contracción, «vacíos y cavernas bajo la superficie». Estas cavernas serán después invadidas por las aguas y jugarán un papel fundamental para explicar el descenso de los océanos y la emersión de los continentes.

Buffon nos describe de la siguiente manera el aspecto de la Tierra en esta Segunda Época:

Representémonos, si es posible, el aspecto que ofrecía la Tierra en esta segunda época, es decir, inmediatamente después de que su superficie tomara consistencia y antes de que el enorme calor permitiera al agua depositarse o incluso caer de la atmósfera. Las llanuras, las montañas, así como el interior del globo estaban compuestos total y únicamente de materias fundidas por el fuego, totalmente vitrificadas y de la misma naturaleza. Cuando nos imaginamos por un instante la superficie actual del globo despojado de todos sus mares, de todas sus colinas calizas, así como de todas sus capas horizontales de piedra, de creta, de toba, de tierras vegetales, de arcilla, en una palabra, de todas las materias líquidas o sólidas que fueron formadas o depositadas por las aguas, ¿Cómo sería esta superficie tras la eliminación de estos inmensos escombros? No quedaría más que el esqueleto de la Tierra, es decir, la roca vitrificable que constituye su masa interior²⁰.

Con este pasaje entramos ya en lo que podríamos considerar la petrografía genética. Previamente Buffon había ya clasificado a las rocas en dos grandes grupos: las vitrificables y las calcinables:

Ponemos en la clase de las materias vitrificables la roca viva, los cuarzos, las arenas, las areniscas y granitos, las pizarras, los esquistos, las arcillas, los metales y los minerales metálicos. Estas materias tomadas en conjunto, forman el verdadero fondo del globo y componen su principal y mayor parte. Originariamente todas fueron producidas por el fuego primitivo²¹.

Las rocas formadas por la consolidación del material fundido primitivo son pues las formadas por materia vitrificable. Hay que añadir también las formadas por simple transformaciones físicas de las rocas primitivas, transformaciones que no alteran su composición:

La arena no es más que vidrio en polvo; las arcillas, arenas podridas en el agua; las pizarras y los esquistos, arcillas desecadas y endurecidas; la roca viva, las areniscas, el grani-

to no son más que masas vítreas o arenas vitrificables bajo una forma concreta; los pedernales, los cristales, los metales y la mayor parte de los otros minerales, no son más que destilaciones, exudaciones o sublimaciones de estas primeras materias, que nos desvelan su origen primitivo y su naturaleza común por su aptitud para ser reducidas inmediatamente a vidrio²².

Así tendríamos que la «roca viva», las areniscas y el granito serían los materiales formados directamente por la consolidación de la materia fluida original. El resto de materiales que reúne bajo la etiqueta común de «vitrificables» estarían formados por transformaciones posteriores, debidas sobre todo a la acción del agua, de estos materiales originales. Son transformaciones que no alteran su naturaleza, que se pone de manifiesto por su «aptitud para ser reducidas a vidrio».

Así pues Buffon atribuye al granito la doble característica de roca «originaria» y de estar formada por la solidificación de los materiales fluidos originarios. Es lo que correspondería a nuestro concepto de roca magmática.

El otro gran grupo está integrado por las materias calcinables, de las cuales nos dice que:

Fueron formadas en el agua. Todas están enteramente compuestas de madrêporas, de conchas y de los residuos de los despojos de estos animales acuáticos que son los únicos que saben convertir el líquido en sólido y transformar el agua del mar en piedra. Los mármoles comunes y las otras piedras calizas están compuestas de conchas enteras, de trozos de concha, de madrêporas, lirios de mar, etc, cuyas partes se conservan claramente o son aún muy reconocibles. Las gravas no son más que restos de mármoles y de piedras calizas que la acción del aire y de las heladas desprenden de las rocas (...) Los espatos calizos se forman también por la exudación o la destilación en las materias calizas, al igual que el cristal de roca se forma en las materias vitrificables²³.

Para Buffon todas las rocas calcáreas son de naturaleza orgánica. Esto tiene su interés: falta de una auténtica estratigrafía, la petrografía genética que desarrolla adquiere un interés cronológico. Para la formación de rocas calcáreas hacen falta seres vivos, y más exactamente seres vivos marinos. Hay que esperar pues a que las aguas, presentes en forma de vapor en la Tierra primitiva, se precipiten en forma líquida y den lugar a los océanos, donde pueden habitar los animales conchados que darán origen a las rocas calizas. En consecuencia, para la geología de Buffon una roca calcárea siempre será más reciente que una «vitrificable».

Pero la petrografía se amplía: a los dos grupos citados hay que añadir dos más: los materiales formados por restos orgánicos de animales y vegetales, y los productos de la actividad volcánica:

Hasta que se inició la actividad de los volcanes sobre el globo no existían más que tres clases de materia: 1ª Las vitrificables producidas por el fuego primitivo. 2ª Las calizas, formadas por mediación del agua. 3ª Todas las substancias producidas por los restos de

*animales y vegetales. Pero el fuego de los volcanes dio nacimiento a materias de una cuarta clase, que, a menudo, participan de la naturaleza de las otras tres*²⁴.

Buffon sigue marcando una «flecha del tiempo» en su petrografía genética: si los materiales calcáreos no pudieron aparecer hasta que hubo agua líquido y animales acuáticos, este tercer grupo de materiales sólo pudo aparecer cuando hubieron territorios emergidos con vida animal y vegetal:

*La cantidad de vegetales producidos y destruidos en estas primeras tierras es demasiado inmensa para que podamos imaginárnosla. Porque aun cuando redujéramos la superficie de las tierras que entonces sobresalían de las aguas a la centésima o incluso a la doscientasava parte de la superficie del globo, es decir, a ciento treinta mil leguas cuadradas, es fácil apreciar cuántos árboles y plantas produjo este enorme terreno (...) durante varios miles de años, la cantidad de sus restos que se acumuló, y en qué enorme cantidad fueron arrastrados y depositados bajo las aguas, donde formaron la base del volumen igualmente enorme de las minas de carbón que encontramos en tantos lugares*²⁵.

Los materiales que son producto de las erupciones volcánicas serán los más recientes. Veamos cómo explica Buffon el origen de los volcanes:

*...las menas de sal, de hierro en grano, de piritas, y de todas las demás substancias en cuya composición entran los ácidos, y cuya primera formación únicamente pudo tener lugar tras la caída de las aguas. Estas materias serían arrastradas y depositadas en los lugares bajos y en las fracturas de la roca del globo, donde, al encontrar ya sublimadas las substancias minerales por el gran calor de la Tierra, formarían la primera base del alimento de los futuros volcanes*²⁶.

En una primera fase se forman acumulaciones de material que, por su naturaleza química, serán el combustible de los futuros volcanes. Estos materiales, por su naturaleza ácida, necesitan para formarse de la presencia de agua. Pero para que el volcán entre en acción es necesario que las aguas hayan iniciado su descenso:

*...antes del asentamiento de las aguas no existía ningún volcán, o más bien no pudieron iniciar su actividad permanente hasta después del descenso de éstas. Porque los volcanes terrestres deben distinguirse de los volcanes marinos. Estos últimos sólo pueden producir explosiones, por así decirlo, momentáneas. Porque en el instante en que su fuego se enciende por la efervescencia de materias piritosas y combustibles es inmediatamente apagado por el agua que los cubre y se precipita a oleadas hasta su foco, por todas las vías que el fuego se abre para salir. Por el contrario, los volcanes terrestres tienen una actividad duradera y proporcionada a la cantidad de materias que contienen. Éstas tienen necesidad de una cierta cantidad de agua para entrar en efervescencia, y las erupciones solo pueden producirse a consecuencia del choque violento entre una gran masa de fuego y una gran masa de agua*²⁷.

A diferencia de otros autores, Buffon no sitúa el origen de los volcanes en la combustión de los yacimientos de carbón, sino en un proceso químico producido por materias piritosas o sulfurosas. El agua es necesaria para la producción de

esta reacción en una cierta cantidad, pero en exceso detiene el proceso. Según esta hipótesis los volcanes activos serán terrestres, pero situados cerca del mar.

Las observaciones confirman perfectamente lo que digo aquí de la actividad de los volcanes. Los que ahora están activos están situados cerca del mar. Los que están apagados, cuyo número es mucho mayor, están situados en medio de tierra firme, o por lo menos, a cierta distancia del mar²⁸.

Del modelo de Buffon sobre los volcanes podemos sacar dos importantes conclusiones: una referente al método; otra sobre el contenido de su geología, concretamente sobre el papel del agua en su sistema.

Ya nos hemos referido anteriormente al método de Buffon. Este ejemplo de los volcanes sirve para ilustrar las ideas expresadas anteriormente. Buffon utiliza un método hipotético deductivo de cuño cartesiano. De sus teorías generales sobre el universo deduce hipótesis particulares, las cuales contrasta después con las observaciones. Su modelo de los volcanes no procede de un estudio exhaustivo de éstos, sino que se deriva de las premisas de su sistema. Sin embargo es congruente con ciertos hechos observados: es cierto que los volcanes activos están junto al mar, y los apagados acostumbran a estar tierra adentro.

Mención más detallada merece el papel del agua en su sistema. Tal como hemos visto, en su *Historia y Teoría de la Tierra* Buffon presenta un sistema *neptunista* en que la acción del agua es la principal responsable de los procesos de cambio geológico que, además, se producen de forma cíclica. En las *Épocas* hay un cambio de modelo: el enfriamiento progresivo de la Tierra a partir de una masa ígnea incandescente se convierte en el concepto explicativo preferente, de forma directa o indirecta, de todos los fenómenos geológicos. El tiempo geológico pasa de cíclico a direccional, y el enfriamiento, como proceso continuo, permite medirlo.

Pero en el modelo de las *Épocas* el agua sigue jugando un papel importante, aunque subordinado al enfriamiento. En un momento dado, y como resultado de este enfriamiento, el agua, en forma de vapor, se licúa y se precipita sobre la Tierra:

No solo las aguas, sino todas las materias volátiles, que el calor demasiado grande mantenía relegadas y suspendidas, cayeron sucesivamente. Llenaron todas las depresiones, cubrieron todas las llanuras, todos los intervalos que había entre las eminencias de la superficie del globo, e incluso sobrepasaron todas las que no eran excesivamente altas. Hay pruebas evidentes de que los mares cubrieron el continente europeo hasta quinientas toesas por encima del nivel del mar actual, puesto que en los Alpes y en los Pirineos se encuentran conchas y otros productos marinos hasta esta altura²⁹.

En Buffon los distintos fenómenos geológicos se van produciendo de forma secuencial: primero se forman las montañas, debido al enfriamiento y a la solidificación. Después, y también como consecuencia del enfriamiento, aparece el agua

liquida que cubre la Tierra. En esta agua aparecen los primeros seres vivos. En función de estas premisas interpreta, como los diluvianistas, que si en las cumbres de las montañas aparecen conchas fósiles es porque el agua llegó hasta este nivel.

El agua va a ser un factor importante en el modelado de la Tierra, en la genética de las rocas y en los procesos químicos:

Es fácil imaginar que las aguas que la cubrían (la Tierra) casi enteramente, al estar continuamente agitadas por la rapidez de su caída, por la acción de la Luna sobre la atmósfera y sobre las aguas ya caídas, por la violencia de los vientos, etc., obedecerían a todas estas fuerzas y que en sus movimientos empezarían por surcar más profundamente los valles de la Tierra, a derribar las eminencias menos sólidas, a bajar las crestas de las montañas, hundir sus cadenas en los puntos más débiles; y que tras su asentamiento, se abrirían vías subterráneas que minaron las bóvedas de las cavernas, las hicieron desplomar y que, en consecuencia las aguas descendieron progresivamente³⁰.

Las aguas realizan pues una función de modelado, y, por otra parte, invaden las cavernas subterráneas. Este último detalle es muy importante en el modelo de Buffon, pues explica el descenso de las aguas y la emersión de los continentes:

Las cavernas eran obra del fuego. El agua, desde su llegada, empezó por atacarlas, las destruyó, y continua destruyéndolas todavía. Debemos, pues, atribuir el descenso de las aguas al hundimiento de las cavernas, como única causa que nos es demostrable por los hechos³¹.

Para la tradición diluvianista había sido un problema explicar la aparición y desaparición de grandes masas de agua sin recurrir a acontecimientos milagrosos. Descartes³² había intentado explicar la aparición del agua en la superficie de la Tierra por la rotura de la corteza y la emersión de masas de agua subterránea. Buffon intenta aquí una explicación inversa: el agua, procedente de la atmósfera, inunda la Tierra, y poco a poco va bajando de nivel al invadir las cavernas subterráneas.

Pero el agua va a desempeñar otras funciones:

He aquí los primeros efectos producidos por la masa, por el peso y por el volumen del agua, pero produjo otros por su peculiar cualidad. Afectó todas las materias que podía diluir y disolver, se combinó con el aire, la tierra y el fuego para formar los ácidos, las sales, etc., convirtió las escorias y los polvos de vidrio primitivo en arcillas³³.

Además del papel como agente químico, jugará otro papel como factor del modelado:

Después, mediante sus movimientos, transportó de un sitio a otro estas escorias y todas las materias que habían quedado reducidas a pequeños volúmenes. En este segundo periodo, pues, desde los treinta y cónico mil hasta los cincuenta mil años, se produjo un cambio tan grande en la superficie del globo, que el mar universal, primero muy alto, descendió sucesivamente para llenar las depresiones ocasionadas por el hundimiento de las cavernas, cuyas bóvedas naturales socavadas o hendidas por la acción y el efecto de este nuevo elemento no podían sostener ya el peso acumulado de tierras y aguas de las que estaban cargadas³⁴.

Este hundimiento de las cavernas produce los terremotos:

Los terremotos debieron hacerse sentir mucho tiempo antes de la erupción de los volcanes. Desde el comienzo del hundimiento de las cavernas se produjeron violentas sacudidas que causaron efectos tan violentos como los de los volcanes y de mayor amplitud (...) No de produjo pues ningún hundimiento mínimamente importante que no fuera acompañado de las violentas sacudidas de un terremoto³⁵.

La acción del agua sobre el modelado se ejerce de dos maneras distintas, las cuales, como es normal en la geología de Buffon, tienen lugar de manera secuencial:

En la construcción de la superficie de la Tierra por el movimiento y el sedimento de las aguas hay que distinguir dos periodos de tiempo. El primero empezó tras el establecimiento del mar universal, es decir, después de la depuración total de la atmósfera por la caída de las aguas y de todas las materias vitrificables, que el ardor del globo mantenía relegadas en ésta. Este periodo duró tanto cuanto era necesario para que los testáceos se multiplicaran hasta el punto de llenar con sus restos nuestras colinas calizas, para la multiplicación de los vegetales, para formar con sus restos nuestras minas de carbón y, en fin, para convertir las escorias del vidrio primitivo en arcillas y formar los ácidos, las sales, las piritas, etc.³⁶.

Cuando las aguas empezaron a descender, se inicia la segunda parte de su acción:

*La retirada de las aguas no se produjo repentinamente, sino en un largo lapso en el que aún hay que señalar diferentes momentos. Las montañas compuestas de piedras calizas fueron construidas sin duda en este mar antiguo, cuyas diferentes corrientes, es igualmente indudable, las esculpieron con ángulos que se corresponden. Ahora bien, el examen atento de las laderas de nuestros valles nos demuestra que **el trabajo particular de las corrientes fue posterior a la obra general del mar**³⁷.*

A partir de aquí Buffon cita una serie de observaciones sobre las montañas de Langres, que atraviesan las regiones de la Champagne, en Burgogne, se extienden hasta Montbard, y en dirección opuesta hasta las tierras de Lorraine y del Franco Condado. Según Buffon estas montañas son enteramente calizas, y sus valles han sido modelados por las corrientes producidas en el descenso de nivel del mar³⁸.

Una vez más vemos que Buffon contrasta sus hipótesis con las observaciones. Aunque las *Épocas* no es un libro rico en trabajos de campo, tampoco se puede afirmar, como en ocasiones se ha hecho que carece de ellos. El citado pasaje es un buen ejemplo de ello.

Podemos pues afirmar que en el modelo de Buffon el agua juega un papel importante, aunque siempre supeditado al enfriamiento general del Globo, que es el concepto explicativo preferente de todos los cambios geológicos.

Intentemos ver ahora los cambios conceptuales producidos, y como estos cambios sirven a la resolución de problemas empíricos y conceptuales.

Análisis del cambio científico en Buffon

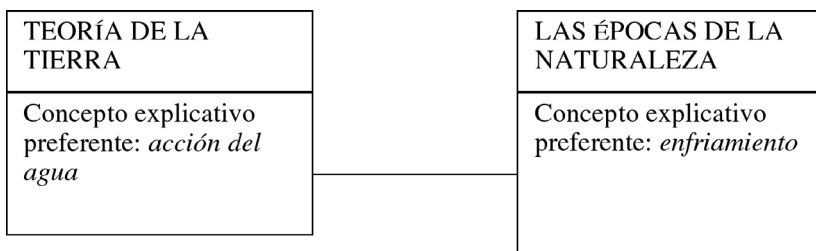
Los cambios conceptuales

El cambio del modelo de la *Teoría de la Tierra* al de las *Épocas* viene dado por dos mutaciones conceptuales:

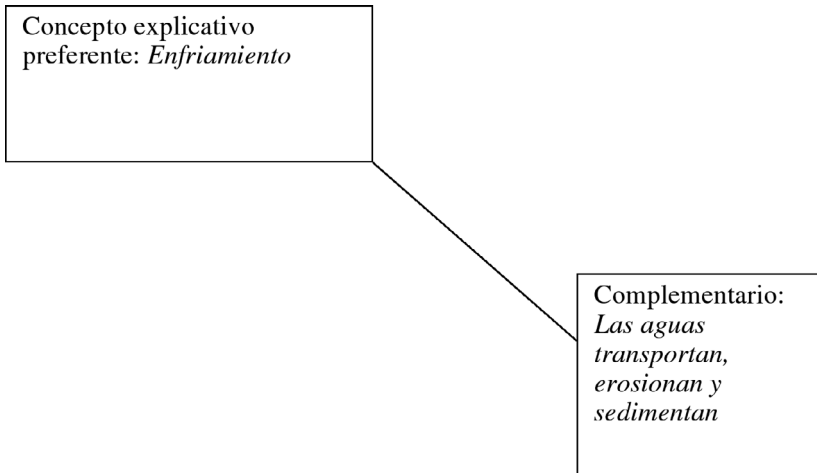
1. El elemento responsable del cambio geológico: el agua en el primer modelo, el enfriamiento en el segundo.
2. El modelo de tiempo: cíclico en el primer caso, direccional en el segundo.

Pero los dos cambios no tienen el mismo nivel de magnitud. El primer cambio no es radical, es decir en el modelo de las *Épocas* se asigna un papel al agua, al transporte de materiales y a la sedimentación, pero éste pierde su papel preferente, que pasa a ocuparlo el enfriamiento. Esta conservación del papel del agua, aunque reservándole un papel secundario, permite que conceptos como sedimentación o estrato sigan presentes de la geología de Buffon.

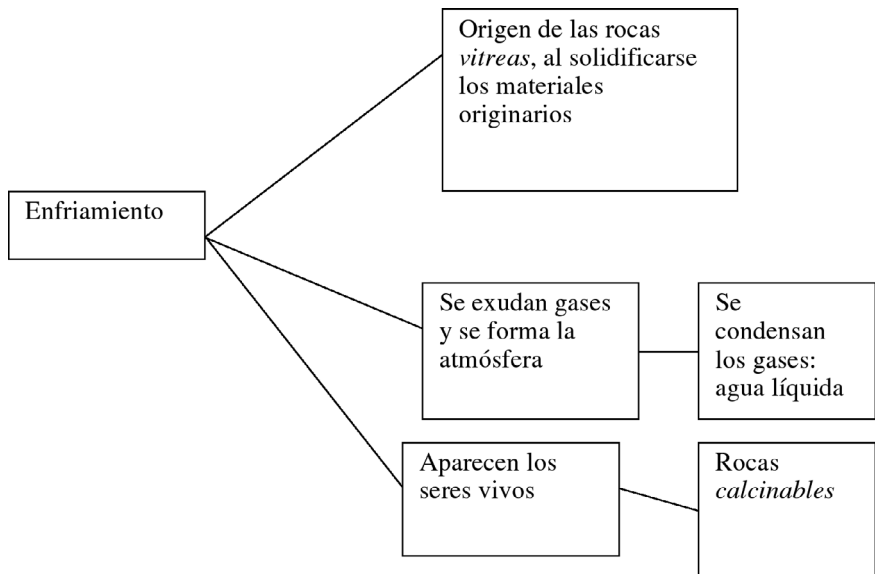
Lo que cambia es el concepto explicativo preferente: donde antes encontrábamos el cambio de lugar de los océanos, con la consiguiente erosión y arrastre de materiales, ahora encontramos el enfriamiento paulatino del globo con todas sus consecuencias. El cambio no es baladí. El enfriamiento puede medirse, y reproducirse en el laboratorio. Los resultados pueden cuantificarse, y a partir de aquí tenemos los cálculos de Buffon sobre la edad de la Tierra.



Pero en el modelo de las *Épocas* sigue existiendo el papel del agua:



Pero el enfriamiento, al actuar como concepto explicativo preferente, genera a los demás conceptos: explica el origen del agua y hace posible su acción



El segundo cambio conceptual es de naturaleza más radical. El paso de la concepción cíclica del tiempo a una direccional no admite términos medios: el tiempo *o* es cíclico *o* es direccional. Si admitimos que es direccional es que es medible, y entonces tiene sentido una cronología.

Pero los dos cambios están estrechamente relacionados. El enfriamiento como motor de las transformaciones geológicas implica forzosamente direccionalidad. Un modelo geológico vinculado a la acción de las aguas quizá podría ser direccional³⁹; un modelo vinculado al enfriamiento paulatino tiene que ser forzosamente direccional.

La mutación conceptual producida obliga a Buffon a reconsiderar toda su geología. El modelo que se presenta es nuevo. La acción del agua, la sedimentación, la formación de fósiles siguen existiendo en el modelo nuevo, pero ocupando lugares distintos en una arquitectura conceptual distinta.

Lo único que no presenta cambios es el modelo cosmológico-astronómico del origen de la Tierra y el Sistema Solar. En realidad este modelo es más congruente con la geología de las *Épocas* que con la de la *Historia y Teoría de la Tierra*.

Ya vimos que Buffon inicia sus razonamientos sobre la Tierra explicando el origen de la misma, y de todo el Sistema Solar. El fundamentar una disciplina *posible* (la futura geología) en una *compacta* y de gran prestigio (la astronomía o física celeste) es un importante elemento legitimador del proyecto buffoniano de construir una nueva Historia Natural, en el seno de la cual se perfila la geología. Buffon no solamente pretende presentarse como el Newton de la Historia Natural, sino que quiere presentar su trabajo como continuación de la prestigiosa física newtoniana, tanto en los aspectos metodológicos como conceptuales.

Pero el modelo cosmológico de origen de la Tierra y del Sistema Solar que Buffon expone en la *Teoría de la Tierra* es ya *potencialmente* direccional⁴⁰. La Tierra es, en un principio, una masa de material fluido que se *solidifica por enfriamiento*. Pero a partir de un cierto momento el enfriamiento deja de tener importancia, y las grandes masas de agua de los océanos (originados también como consecuencia del enfriamiento) se convierten en los agentes fundamentales del modelado, y en concepto explicativo preferente de los fenómenos geológicos.

Problemas empíricos resueltos

Hemos asumido la tesis de que el éxito de una TI [LAUDAN, 1986] depende de que sus teorías puedan resolver el máximo número de problemas empíricos, y a la vez plantear un número mínimo de problemas conceptuales. Vamos pues a analizar los problemas empíricos que resuelven las tesis de Buffon expuestas en

las *Épocas*, para ocuparnos posteriormente de los problemas conceptuales que puedan plantearse.

El primer y más evidente problema empírico que se soluciona es el de la edad de la Tierra. La propuesta de Buffon nos ofrece un mecanismo para determinar la edad del globo, y además unos cálculos concretos que sitúan esta edad en 75.000 años. Esta ampliación del marco temporal ofrece un contexto en el que pueden circunscribirse, de forma más o menos cómoda, acontecimientos geológicos y biológicos sin recurrir a acontecimientos catastróficos.

El mismo mecanismo del enfriamiento paulatino proporciona un conjunto de explicaciones que responden a otros problemas empíricos, como, por ejemplo, el origen de los distintos tipos de roca, y, al mismo tiempo, un criterio de clasificación genética de las mismas. En este mecanismo, al interpretarse que todas las rocas calizas son de origen orgánico, se unifica la explicación de la fosilización con la del origen de la roca, siguiendo la línea iniciada por Steno.

El problema del origen de las montañas y, en general, de las distintas estructuras tectónicas, también recibe su respuesta: al enfriarse la superficie de la Tierra se arruga «como la piel de una manzana cuando se seca». Hay que remarcar que este mecanismo explicativo del origen de las montañas será recogido en el siglo siguiente por los creadores de la teoría contraccionista.

Así pues el modelo geológico que nos ofrece Buffon en las *Épocas* soluciona no pocos problemas empíricos y ofrece, en su conjunto, los elementos fundamentales para la elaboración de la futura ciencia de la geología.

Los problemas conceptuales

Tal como ya hemos ido señalando, el éxito de una teoría o de una tradición de investigación se cifra en solucionar el máximo número posible de problemas empíricos, planteando a la vez el menor número posible de problemas conceptuales. También hemos señalado que los problemas conceptuales pueden ser básicamente de dos órdenes: de coherencia interna de la propia teoría, o de coherencia de la teoría con las ideas científicas o filosóficas comúnmente admitidas por su medio intelectual y social.

Analicemos en primer lugar los problemas conceptuales relativos a la coherencia en las teorías de Buffon. El modelo que nos presenta en la *Historia y Teoría de la Tierra* presenta un cierto problema de coherencia interna: la Tierra se origina de una masa de material incandescente procedente del Sol. Este material se enfría y solidifica. Como consecuencia del enfriamiento los gases se condensan y se convierten en agua, originándose de esta manera los mares y los océanos. A

partir de aquí el proceso de enfriamiento se detiene, y los océanos comienzan un proceso cíclico de traslación y movimiento, responsable del modelado terrestre y de la sedimentación.

El modelo presenta problemas conceptuales de coherencia: se inicia como un proceso direccional (enfriamiento de la Tierra) y continúa con un proceso cíclico (movimiento de los océanos). Además no explica porqué el proceso de enfriamiento se detiene en un momento determinado, y no antes o después.

Se ha dicho que la idea de enfriamiento le vino a Buffon leyendo la *Protogea* de Leibnitz. Es muy probable que ello sea así. No olvidemos además que Leibnitz es lector y admirador de Steno, el cual, con su idea de los estratos y la sedimentación, ya había insinuado una concepción direccional del tiempo. Pero aquí no estamos discutiendo una cuestión histórica, si no filosófica y conceptual: el modelo de la *Historia y Teoría de la Tierra* es contradictorio, pero la explicación cosmológica que nos ofrece Buffon contiene ya en potencia el modelo direccional que nos ofrece en las *Épocas*.

Por tanto, la mutación conceptual que aparece en las *Épocas*, además de solucionar diversos problemas empíricos, soluciona un importante problema conceptual de coherencia interna.

Planteemos ahora otra cuestión: ¿la concepción direccional del tiempo que Buffon desarrolla en las *Épocas* (es decir, histórica) plantea algún problema conceptual con las ideas al respecto comúnmente admitidas en su medio social? Para ello debemos recordar lo dicho anteriormente sobre el clima intelectual de la Ilustración y sus relaciones con la historia.

De hecho, aunque las relaciones de la mentalidad ilustrada con la historia pueden ser problemáticas en algunos aspectos, no cabe duda que el concepto de *historia civil*, que el propio Buffon cita al principio de su obra⁴¹ se va abriendo paso con fuerza en la mentalidad ilustrada.

No parece pues que la idea de tiempo direccional que Buffon establece plantee ningún problema conceptual con las ideas comúnmente admitidas en su momento histórico, más bien al contrario, parece haber una cierta sintonía entre las mismas. Además, si por una parte vemos que la historia civil sufre un proceso de secularización, la historia de la Tierra que Buffon propone participa en este mismo proceso de secularización, en cuanto relata esta historia en términos profanos, y, en los pocos casos que hay alguna alusión a las Escrituras⁴² es con unas libertades interpretativas realmente originales. En cualquier caso es el relato bíblico el que se adapta a su historia, y no al revés.

NOTAS

1. Hemos utilizado la versión castellana, *Historia Natural de la Teoría de la Tierra*, traducida al castellano de la última edición francesa. Tomo I y Tomo II, Madrid, Establecimiento tipográfico de don Francisco de Paula Mellado, 1847. Nos referiremos a ella como *T.T.* También hemos utilizado la edición francesa de Piveteau (1954), *Oeuvres Philosophiques de Buffon*, Paris, P.U.F., a la que nos referiremos como *O.P.*
2. Ver la Introducción.
3. *T.T.*, p. 55.
4. *T.T.*, *Conclusiones*, pp. 170-172.
5. *T.T.*, p. 86.
6. *T.T.*, p. 60.
7. *T.T.*, p. 59.
8. *T.T.*, p. 63.
9. *T.T.*, p. 68.
10. *T.T.*, p. 59.
11. *T.T.*, p. 62.
12. *T.T.*, pp. 161-162.
13. En realidad Gould aplica a la geología el concepto de «flecha del tiempo» de la termodinámica acuñado por Eddington.
14. *Épocas*, p. 71.
15. *Ibidem*, p. 73.
16. *Ibidem*, p. 93.
17. *Épocas*, pp. 67-68.
18. *Ibidem*, p. 68.
19. *Épocas*, p. 71.
20. *Épocas*, pp. 76-77.
21. *Ibid.*, p. 13.
22. *Idem*.
23. *Épocas*, pp. 14-15.
24. *Ibidem*, pp. 140-141.
25. *Épocas*, p. 133.
26. *Ibidem*, pp. 133-134.
27. *Ibidem*, p. 134.
28. *Ibidem*, p. 135.
29. *Épocas*, p. 93.
30. *Épocas*, pp. 96-97.
31. *Ibidem*, p. 97.
32. *Los Principios de la Filosofía*, IV, 42-44.
33. *Épocas*, p. 97.
34. *Idem*.
35. *Épocas*, p. 146.
36. *Ibidem*, p. 148.

37. *Idem*.
38. *Ibidem*, pp. 149-150.
39. Por ejemplo, el modelo de Werner.
40. Ver *supra*.
41. *Épocas*, pp. 1-2.
42. *Primer Discurso*.

BIBLIOGRAFÍA

- ALSINA, J. (2003) «El mètode de Buffon a la *Histoire Naturelle*». En: *Actes de la VII trobada d'Història de la Ciència i de la Tècnica*. Barcelona, SCHCT, 639-646.
- ALSINA, J. (2006) *Historia de la Geología: una introducción*. Barcelona, Editorial Montesinos.
- ALSINA, J. (2006) «Modelos de cambio científico a partir de la selección natural: análisis y propuestas». *Llull*, 29, 221-257.
- BELTRAN, A. (1997) Introducción y notas de *Les Époques de la Natureza*. Madrid, Alianza.
- BUFFON, G.L.L. (1844) *Historia Natural*. Tomo I. Madrid, Imprenta de Don Vicente Frossart y Compañía.
- BUFFON, G.L.L. (1997) *Las Époques de la Natureza*. Edición de Antonio Beltrán Marin. Madrid, Alianza.
- BUFFON, G.L.L. (1988) *Les Époques de la nature. Édition critique*. Edición de Jacques Roger. Paris, Éditions du Muséum National d'Histoire Naturelle.
- BUFFON, G.L.L. (1847) *Historia Natural de la Teoría de la Tierra*. Traducida al castellano de la última edición francesa: Tomo I y Tomo II. Madrid, Establecimiento tipográfico de Don Francisco de Paula Mellado.
- CAMPBELL, D.T. (1974) «Evolutionary Epistemology». En: Paul A. Schilpp (comp.) *The Philosophy of Karl Popper, vol. 14, libros I y II*. The Library of Living Philosophers, La Salle, Open Court Publishing Company, 413-463.
- CAMPBELL, D.T. (1983) «Variación injustificada y retención selectiva en los descubrimientos científicos». En: F.J. Ayala y T. Dobzhansky (eds.) *Estudios sobre filosofía de la biología*. Barcelona, Ariel.
- DESCARTES, R. (1995) *Los principios de la filosofía*. Edición de Guillermo Quintás. Madrid, Alianza.
- DESCARTES, R. (1989) *El mundo. Tratado de la luz*. Edición de Salvio Turró. Madrid, Barcelona Ministerio de Educación y Ciencia y Editorial Anthropos.
- ELLENBERGER, F. (1988) *Historia de la geología. De la Antigüedad del siglo XVII*. Madrid, Barcelona, Centro de publicaciones del MEC y Editorial Labor.

- ESTANY, A. (1990) *Modelos de cambio científico*. Barcelona, Crítica.
- ESTANY, A. (1993) *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Barcelona, Crítica. 2ª ed. Servei de Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona, 2006.
- GIERE, R.N. (1986) «Cognitive Models in the Philosophy of Science». En: A. Fine y P. Machamer (eds.) *PSA 1984*. East Lansing, Michigan, vol. II, 322.
- GIERE, R.N. (1988) *Explaining Science: a cognitive approach*. Chicago & London, The University of Chicago Press.
- GOULD, S. J. (1992) *La flecha del tiempo*. Madrid, Alianza.
- HULL, D. (1988) *Science as a Process*. Chicago & London, The University Press.
- HULL, D. (1988) «A Mechanism and Its Metaphysics: An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science». *Biology and Philosophy*, 3, 123-155.
- LAUDAN, L. (1986) *El progreso y sus problemas*. Madrid, Ediciones Encuentro.
- LAUDAN, L. (1993) *La ciencia y el relativismo*. Madrid, Alianza.
- MARTINEZ, S.G. y OLIVÉ L. (eds.) *Epistemología Evolucionista*. Barcelona, Buenos Aires, México, Editorial Paidós.
- MATAIX, C. (1999) *El tiempo cosmológico*. Madrid, Editorial Síntesis.
- PIVETEAU, J. (1954) *Oeuvres Philosophiques de Buffon*. Paris, P.U.F.
- RICHARDS, R.J. (1987) «The Natural-Selection Model and Other Models in the Historiography of Science», apéndice I, *Darwin and the Emergence of Evolutionary Theories of Mind and Behaviour*. Chicago, The University of Chicago Press, 559-594.
- RICHARDS, R.J. (1997) «El modelo de la selección natural y otros modelos en la historiografía de la ciencia» En: S. Martínez y L. Olivé (eds.) *Epistemología evolucionista*, México, Buenos Aires, Barcelona, Ed. Paidós, 147-183.
- ROGER, J. (1973) «La Théorie de la Terre au XVII^e siècle». *Revue d'histoire des Sciences*, XXVI/1, 23-48.
- ROGER, J. (1998) Estudio preliminar y notas de *Les Époques de la nature. Édition critique*. Paris, Éditions du Muséum National d'Histoire Naturelle.
- SCHERZ, G. (1969) (ed.) *Steno Geological Papers*. Ordense.
- SEQUEIROS, L. (2002) «Las raíces de la geología: Nicolás Steno, los estratos y el Diluvio Universal». *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 10(3), 217-242.
- STENO, N. (1667) *Elementorum Myologiae Specimen, seu Musculi descriptio Geometrica, cui accedum Canis Carcharia dissectum Caput, et Dissectus Piscus ex Canum Genere*. Florentiae.
- STENO, N. (1669) *De Solido intra Solidum naturaliter Contento Dissertationes Prodromus*. Florentiae.

- TURRO, S. (1985) *Descartes. Del Hermetismo a la nueva ciencia*. Barcelona, Editorial Anthropos.
- TOULMIN, S. (1977) *La comprensión humana: el uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid, Alianza (primera edición inglesa 1972).
- TOULMIN, S. y GOODFIELD, J. (1990) *El descubrimiento del tiempo*. Barcelona, Editorial Paidós.