

## LOS 'VOLCANES' DE NICHOLAS LÉMERY (1645-1715)

### *The 'Volcanos' of Nicholas Lémery (1645-1715)*

Filomena Amador (\*)

#### **RESUMEN:**

*La construcción de modelos analógicos representativos de los mecanismos eruptivos es usada con frecuencia en el ámbito de la enseñanza de la vulcanología. En este trabajo proponemos que este tipo de actividades sean efectuadas y discutidas en paralelo con episodios de historia de la ciencia. Presentamos algunas sugerencias didácticas basadas en un conjunto de experiencias realizadas por Nicholas Lémery, conocidas como experiencia del 'volcán' de Lémery.*

#### **ABSTRACT:**

*When we teach volcanism we frequently use analogical models to represent volcanic eruptions. In this paper we propose that those type of practical activities are carried out and debated in parallel with subjects of history of science. We make some didactic suggestions based on a set of experiments carried out by Nicholas Lémery and known as the experiment of Lémery's 'volcano'.*

**Palabras clave:** *Historia de la Vulcanología, Nicholas Lémery, siglo XVIII, actividades prácticas.*

**Keywords:** *History of Volcanology, Nicholas Lémery, XVIII century, practical activities.*

## INTRODUCCIÓN

Tanto los manuales escolares, como los cuadernos de actividades o las *páginas web*, relacionadas con la enseñanza de las Ciencias de la Tierra, sugieren, con frecuencia, en el ámbito del estudio de la vulcanología, la realización de actividades prácticas en que se simulan erupciones volcánicas. Estas propuestas son presentadas muchas veces en forma de "prescripciones", del tipo: "inflame una cinta de magnesio implantada en dicromato de amonio, contenido en un crisol de porcelana...", "introduzca un tubo de cartón en la punta de un pequeño montículo de arena; rellénelo con carbonato de calcio un poco mezclado con colorante rojo; añada vinagre...", etc. Otras, sin embargo, son más elaboradas, como algunas propuestas en el sitio web *Volcano World* (<http://volcano.und.nodak.edu/vw.html>), exigiendo la utilización de aparatos más sofisticados. Con todo, todas ellas tienen en común el mismo objetivo – la construcción de un modelo analógico representativo de los mecanismos eruptivos.

En el aula, la realización de este tipo de actividades transcurre, habitualmente, con aparente éxito, suscitando casi siempre el interés y el entusiasmo de los alumnos. Sin embargo, a nuestro parecer, en términos didácticos la realización de este género de trabajos prácticos puede contribuir para que los es-

tudiantes desarrollen representaciones mentales incorrectas de los fenómenos volcánicos, normalmente debido a las relaciones que implícitamente se establecen entre determinadas reacciones químicas o efectos físicos, producidos en laboratorio, y la realidad. Por otro lado, también nos podemos cuestionar si con este tipo de modelos analógicos no estamos de igual modo contribuyendo a que los alumnos piensen que el material rocoso fundido (magma), extraído durante las erupciones, es generado superficialmente y está apenas asociado a un aumento de temperatura. Estas cuestiones y otras, que podríamos abordar, deben merecer la atención de los profesores. En este trabajo no defendemos la exclusión de este tipo de actividades prácticas, más bien proponemos que éstas sean efectuadas y discutidas en paralelo con la presentación de episodios de la historia de la vulcanología que incentiven el desarrollo de una visión crítica de los modelos analógicos usados en el presente. Con este objetivo presentamos algunas sugerencias didácticas, dirigidas en especial para el nivel secundario, basadas en un conjunto de experiencias realizadas, en el inicio del siglo XVIII, por el químico francés Nicholas Lémery (1645-1715), conocidas como experiencias del "volcán de Lémery", las cuales tuvieron amplia divulgación en muchos textos de autores portugueses y extranjeros después del terremoto de Lisboa de 1755.

(\*) Departamento de Ciências Exactas e Tecnológicas, Universidade Aberta. Rua da Escola Politécnica, nº 147. 1269-001 Lisboa. Portugal. E-mail: famad@univ-ab.pt

## DE LOS MITOS DE LA ANTIGÜEDAD CLÁSICA, PASANDO POR LOS “VOLCANES” DE LÉMERY, HASTA LA TECTÓNICA DE PLACAS

En su inicio, la historia de la vulcanología se confunde con la historia de los pueblos que habitaron las márgenes del Mediterráneo. Este mar, cuna de la civilización occidental es también un espacio geológicamente activo donde los fenómenos volcánicos y sísmicos siempre ha tenido una presencia destacada. Es normal, por ello, que en la historia de la vulcanología se recurra con frecuencia hasta la Antigüedad Clásica, procurando encontrar en algunos mitos griegos e romanos una primera explicación para los fenómenos volcánicos. Tradicionalmente pretendió establecerse una separación entre *mythos* y *logos*, cabiendo en el último relato racional, analítico e verdadero de los hechos lo que por consecuencia le atribuía el papel de único soporte del conocimiento científico. Sin embargo, la verdad es que el *logos* y el *mythos* estuvieron muchas veces juntos en las primeras cosmogonías, lo que ha conducido a que en los últimos años diversos historiadores de la ciencia les hayan dedicado especial atención (Oldroyd, 1996). Entre los mitos relacionados con mecanismos volcánicos puede ser citado, a título de ejemplo, el relato de la existencia de Titanes, criaturas gigantescas, aprisionadas en el interior de la Tierra, cuya revuelta por encontrarse en esta situación generaba en el interior del Monte Etna “terribles ruidos”, acompañados de fenómenos sísmicos a los cuales todavía se asociaba la liberación de materiales volcánicos. En otro mito la actividad volcánica del Etna está asociada a Hephais-tos, el dios del fuego, más tarde designado por Vulcano por los romanos, que en el interior del monte Etna forjaría, en compañía de las Ciclopedes, las armas usadas por los dioses. También el más famoso de los antiguos mitos - el mito del continente perdido de la Atlántida, referido por Platón (429-347 a.C.) en los diálogos *Critias* e *Timaeus*, está asociado por algunos autores (Boer e Sanders, 2002; Harris, 2000) a la grande erupción registrada en la isla de Santorini, en 1620 a.C., la cual a su vez haya provocado olas gigantescas que alcanzarían las costas mediterráneas, pudiendo por eso este cataclismo estar igualmente en el origen de ciertos mitos, originarios de la parte oriental del mediterráneo, que con frecuencia refieren la ocurrencia de un diluvio. Algunos de los mitos de la Antigüedad Clásica fueron adaptados posteriormente por el cristianismo, contribuyendo a perpetuar la idea de un fuego subterráneo, el “infierno”, citado en particular por los autores de la Edad Media. Por ejemplo, el Monte Etna fue muchas veces identificado como la puerta de entrada para el referido “infierno”, utilizándose la expresión “navegando para Sicilia” como una forma eufemística de aludir a la ida para el infierno (Sigurdson, 2000).

En paralelo con las explicaciones de cariz mitológico también encontramos, en la Antigüedad Clásica, los primeros intentos de explicación racional de este

tipo de fenómenos, a través de una noción de causalidad. Aristóteles (384-322 a.C.), uno de los autores más influyentes hasta los siglos XVII y XVIII, procuró interpretar la pluralidad y la complejidad de los fenómenos naturales a través de un sistema teórico general, globalmente coherente, creando modelos explicativos que fueron aceptados durante siglos. Las explicaciones aristotélicas en el ámbito del vulcanismo deben ser interpretadas en el cuadro de sus teorías de las exhalaciones y de los cuatro elementos del mundo sublunar (fuego, aire, tierra y agua). De acuerdo con Aristóteles existirían dos tipos de exhalaciones: secas/calientes y húmedas/frías, correspondiendo las primeras al “fuego”. Aparte de eso, cada uno de los elementos sub-lunares podrían transformarse unos en los otros aunque Aristóteles considerase “más rápida la transformación de los cuerpos que tienen características que se corresponden entre sí” (GC, II, 331a, 20-25). Esto implicaba que se podría generar “fuego” si el frío de la Tierra fuese dominado por el calor. A su vez, el “fuego” era un elemento con tendencia a moverse en sentido ascendente lo que ayudaba a comprender la actividad eruptiva.

Por otro lado, Platón también contribuyó a divulgar un modelo del interior de la Tierra que durante un largo periodo de tiempo, con algunas adaptaciones, sirvió de base a diversas explicaciones. Para Platón la Tierra era una esfera en equilibrio en el cosmos, poseedora de varias cavidades, una de ellas ocupada por el Hombre. Algunas de esas depresiones comunicaban entre sí a través de canales que a su vez también comunicaban con el centro del globo terrestre. De acuerdo con este modelo, algunos de estos canales eran recorridos por agua, otros por aire y otros todavía por llamas y “fuego”. Serían estos últimos, en especial el *Piriflegeton*, un río subterráneo de lava en ebullición, que circundaba todo el globo, el responsable de la existencia de todos los volcanes. Esta idea de un fuego central que alimentaría todos los volcanes fue una concepción que atravesó varios siglos y está presente en algunas de las imágenes que ilustran la obra de Athanasius Kircher (1602-1680), *Mundus Mundus subterraneus* (1664-5/1678), utilizada en la cubierta de la revista *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, habiéndose transformado en un concepto muy resistente al cambio (Sequeiros, 2001; Sequeiros e Pedrinaci, 1999; Capel, 1980). Esta idea surgió también asociada a las designadas “teorías de la Tierra” las cuales pretendían relatar la génesis y evolución de nuestro planeta. El fuego central representaba, frecuentemente, en estas teorías, una reminiscencia del proceso de formación del globo, considerado semejante al de las estrellas. La Tierra apenas se diferenciaba de estos astros por, al enfriarse, haber criado una corteza sólida superficial. Pero esta concepción de un fuego central comenzó a ser cuestionada en el siglo XVII, principalmente a partir de las experiencias realizadas por Robert Boyle (1627-1691) y otros filósofos naturales con la máquina neumática. Ganó pertinencia en este ámbito la cuestión de saber como sería posible existir un fuego interno en la ausencia de “aire”. Este problema generó diferentes explicacio-

nes. Para algunos de los filósofos naturales del siglo XVIII era necesario pensar en estructuras geológicas y procesos capaces de permitir el paso del aire hasta el interior de la Tierra, a su renovación, así como a la liberación posterior de los productos resultantes de las combustiones internas. Pero para otros, entre los cuales se incluye a Nicholas Lémery, la situación podría ser fácilmente interpretada si fuese aceptada la idea de que en el interior del globo podrían ocurrir reacciones químicas, del tipo de las “fermentaciones”, sin que para eso fuese necesaria la presencia de “aire”. En esas reacciones, en presencia apenas de agua intervendrían esencialmente el hierro y el azufre. Este tipo de reacciones eran para Lémery, así como para Immanuel Kant (1724-1804), la causa directa de los fenómenos volcánicos y sísmicos. Por tanto, este tipo de explicaciones necesitaba de justificar la llegada de agua al interior de la Tierra, lo que a su vez también condujo gradualmente a la idea de localizar la génesis de la actividad volcánica en el centro del globo terrestre, comenzándose a aceptar su génesis en zonas más superficiales. Con todo, no se encontraba evidencia, en la naturaleza, de la coexistencia, en las mismas regiones, de cantidades de hierro y azufre suficientes para que se pudiese pensar que algunas de las experiencias que se hacían en los laboratorios y en los salones de la época se registrasen en la realidad. En 1808, Humphry Davy (1778-1829) presentó una solución para este problema que resultó de sus experiencias químicas: la actividad volcánica tenía origen en la oxidación de metales alcalinos, los cuales en presencia de agua, liberan gran cantidad de energía, generando llamas y explosiones. La presencia de este tipo de sustancias en regiones volcánicas era mejor soportada en términos de observación que las propuestas anteriores, lo que atribuyó, durante un cierto periodo, capacidad explicativa a esta hipótesis. Pero las críticas a este modelo también no tardaron en surgir. Las expediciones filosóficas que se habían efectuado durante el siglo XVIII evidenciaron que existía un patrón no aleatorio en la distribución geográfica de los volcanes lo que sugería causas internas, y no superficiales, para la actividad volcánica. Aparte de eso, paralelamente, el químico francés Gay-Lusac (1778-1850) también había demostrado deductivamente ser imposible al aire atmosférico penetrar en los conductos volcánicos hasta una profundidad suficiente para intervenir en reacciones químicas. En la misma época se suscitó también una controversia que oponía neptunistas y plutonistas lo cual de igual modo se alargó a los problemas de la vulcanología (Krafft, 1991). Para los neptunistas el basalto se formaba en medio de agua, por precipitación, como lo atestiguaban los enormes “cristales” observados en algunos lugares (disyunción basáltica). Estas concepciones neptunistas fueron refutadas todavía en el siglo XIX cuando los químicos descubrieron que los minerales silicatados son insolubles, a temperaturas normales, en soluciones de agua. Al contrario, para algunos naturalistas las erupciones volcánicas resultaban de la ignición de depósitos de carbón u otros materia-

les inflamables que fundían las rocas vecinas. Este último tipo de concepción hizo que muchos naturalistas del siglo XIX y principios del siglo XX investigasen la existencia de yacimientos de carbón en la proximidad de aparatos volcánicos, pero investigaciones realizadas en varios lugares demostraron ser raros los depósitos de carbón en regiones volcánicas. En cuanto a los plutonistas, destacando James Hutton (1726-1797), reconocieron la existencia de intrusiones de magma en la corteza terrestre y la posibilidad del material sólido fundido en el interior de la Tierra ascender a la superficie. James Hall (1761-1832), uno de los discípulos de Hutton, realizó diversas experiencias de fusión y solidificación de basaltos, aunque los resultados obtenidos no contribuyeron en la formulación de nuevas hipótesis explicativas.

Todavía en el siglo XIX fue dado como comprobado, por geólogos y geofísicos, que el globo terrestre era esencialmente sólido y rígido, formado internamente por capas concéntricas, admitiéndose que apenas el núcleo se encontraría en el estado de fusión. En el dominio de la vulcanología, la aceptación de este modelo contribuyó a relanzar el debate en torno al “antiguo” problema: ¿cómo justificar que encontrándose el interior de la Tierra en estado sólido se pudiesen formar en su interior bolsas de magma?. Ya anteriormente, en el siglo XVII, la termodinámica había percibido, de forma cualitativa, que la presión (P) influye en la temperatura (T) en que las sustancias cambian de estado. Una aproximación cuantitativa surgió, en Francia y en Alemania, con la ecuación de Clausius-Clapeyron ( $\frac{dT}{dT} = \frac{T \Delta V}{\Delta H}$ ) que expresa la variación de presión y de temperatura para un sistema en equilibrio y que permite inferir que las rocas pudieron fundir la profundidad si la presión (P) decrece, sin que para eso sea necesario un aumento de la temperatura (T), correspondiendo en esta ecuación a la variación en el volumen del producto fundido y a la variación en la entropía (Sigurdson, 2000). Con todo, en la época no se vislumbraba un mecanismo capaz de poder provocar, en profundidad, la descompresión necesaria a la formación del magma manteniéndose constante la temperatura. Fue necesario esperar al siglo XX para que la Teoría de la Tectónica de Placas ofreciese un modelo explicativo suficientemente extenso que permitiese no sólo explicar la génesis de magmas sino también de los diferentes tipos de actividades eruptivas (Perfit e Davison, 2000).

## BREVES NOTAS SOBRE LA VIDA Y LA OBRA DE NICHOLAS LÉMERY

Nicholas Lémery (fig. 1), portador de una formación base en medicina/farmacia, organizó en 1672, en París, en un sótano de la calle Galande, un curso de química que conllevó un enorme éxito. Según Fontenelle (1657-1757), la afluencia a este curso era tan grande que difícilmente Lémery conseguía espacio para realizar sus actividades experimentales.



Fig. 1. Gravado representando a Nicholas Lémery.

Nicholas Lémery era un crítico del secretismo alquímico, habiendo procurado divulgar los conocimientos que poseía en el dominio de la química a un público de no iniciados. Para afrontar ese objetivo se esforzó en usar una lengua accesible, acompañando a sus exposiciones, siempre que fuera posible, con experiencias. La construcción de sus “volcanes artificiales” parece haber sido, según relatos de la época, una de las actividades que suscitaron mayor impacto e interés en el conjunto del programa de estos cursos. Pero, la vida profesional de Lémery quedó marcada también por algunos momentos menos positivos. En 1681, fruto de la creciente intolerancia religiosa que existía en Francia, Lémery fue forzado a abandonar el puesto de farmacéutico del Rey Luis XIV, y a cerrar, en 1683, su curso de química en París. La Revocación del Edicto de Nantes, en 1685, lo obligó a exiliarse en Inglaterra por un corto periodo de tiempo. Posteriormente, en 1686, abandonó el calvinismo y se convirtió al catolicismo, pudiendo a partir de ahí retomar las lecciones de sus cursos. En 1699, tuvo uno de los momentos más altos de su carrera, convirtiéndose en miembro de la *Académie Royal des Sciences de París*.

Lémery fue autor de diversas obras (*Pharmacopée universelle*, 1697; *Traité des drogues simples*, 1698; *Traité de l'antimoine*, 1707; etc.), pero la que mayor éxito tuvo fue el *Cours de Chymie*, publicado en París, en 1675. Este manual tuvo un enorme éxito editorial, habiendo sido traducido en varias lenguas (latín, alemán, inglés, español e italiano), convirtiéndose, por muchas décadas, en una

referencia en la enseñanza de la química. La historiadora de la ciencia Hélène Metzger (cit. in Knoeff, 2002) justifica el enorme éxito de esta obra por el hecho de haber expuesto, en un lenguaje accesible, conocimientos que antes se habían mantenido secretos por los alquimistas. En términos teóricos, puede considerarse que Lémery estaba dividido entre el racionalismo realista de René Descartes (1596-1650) y el materialismo corpuscular del filósofo y teólogo francés Pierre Gasendi (1592-1655). Para Lémery los fenómenos químicos eran explicados, esencialmente, a través de choques e interacciones morfológicas, de acuerdo con modelos corpusculares y mecánicos. Para las historiadoras de química Bensaude-Vincent y Stengers (1996), Lémery construyó un “relato” cartesiano donde los únicos actores eran figuras en movimiento y tuvo como consecuencia que la “transformación química” pasase a ser pensada sobre el signo de la violencia, del combate y de la destrucción y no como una cuestión de afinidad o de atracción como defendían los escolásticos.

### LOS EXPERIMENTOS DE LÉMERY EN EL ÁMBITO DE LA VULCANOLOGÍA

Lémery realizó una serie de experiencias que en su conjunto fueron habitualmente designadas por los autores del siglo XVII como la experiencia del “vulcán” de Lémery. En la presentación inicial del trabajo de Lémery en las *Mémoires de la Académie* de la ciencia francesa se afirma que el mejor método para explicar la naturaleza es hacerla representar, esto hace posible producir en laboratorio los mismos efectos a través de causas semejantes. En verdad Lémery no realizó una sola experiencia, como recientemente se ha afirmado por los autores que lo citan, sino un conjunto de experiencias, diferenciadas por la introducción de algunas alteraciones en las condiciones experimentales. Estas experiencias formaban parte, como ya referimos, del programa del curso de química que Lémery impartió en París, habiendo sido posteriormente presentadas en una sesión de la *Académie des Science* de París y descritas en las *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, lo que justifica su amplia divulgación en décadas posteriores, principalmente entre los autores portugueses del siglo XVIII. Lémery tituló su comunicación: “*Explication Physique et Chymique des Feux Souterrains, des Tremblements de Terre, des Ouragans, des Eclairs et du Tonnerre*”, lo que por sí pone en evidencia el hecho de atribuir una causa única a los fenómenos volcánicos, a los temblores de tierra, a los relámpagos y a los truenos, no alejándose en este aspecto de las ideas defendidas por Aristóteles en el *Meteorológico*.

La primera experiencia es descrita por Lémery del siguiente modo:

*“Tomé una muestra de partes iguales de hierro y azufre en polvo; la transformé en una pasta a través de la introducción de agua, y la dejé descansar durante dos o tres horas, en ausencia de fuego, durante este periodo fermentó y se hinchó*

*con un considerable calor; la fermentación rompió la pasta en diversos lugares, y a través de las vendas salían vapores que en verdad no están muy calientes porque la masa es pequeña, pero cuando ésta es más considerable, como de 30 ó 40 libras, en verdad surge una llama” (p. 102).*

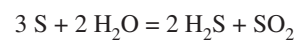
Para Lémery las “fermentaciones” eran reacciones acompañadas de liberación de energía, que resultaban de la penetración y de la violenta fricción con que las “puntas ácidas” del azufre presionaban las partículas de hierro. Lémery consideraba que los ácidos, uno de los principios activos, estaban formados por un conjunto de partículas puntiagudas en movimiento, mientras que los álcalis poseían zonas porosas que las puntas de los ácidos podían penetrar. Como resultado los ácidos quebraban la resistencia de los álcalis y ocurría una violenta reacción. Es en este contexto que debe ser interpretada la siguiente afirmación de Lémery: “la fermentación acompañada de calor, y también el fuego, que se registra durante esta operación, resulta de la penetración y violenta fricción que las puntas ácidas del azufre ejercen sobre las partículas de hierro”. Según Lémery los resultados de la experiencia anteriormente descrita, serían suficientes para explicar los choques y las conflagraciones registradas en el interior de la Tierra, en zonas como por ejemplo el Vesubio y el Etna. Por otro lado, los sismos serían producidos por vapores sulfurosos, liberados durante estas “fermentaciones”, que encerrados en cavidades subterráneas y no teniendo posibilidad de escaparse a través de grietas o volcanes provocarían los temblores de tierra.

En una perspectiva didáctica las experiencias de Lémery pueden ser, a nuestro parecer, un interesante punto de partida para identificar y analizar las limitaciones de los modelos analógicos usados en el aula para simular erupciones volcánicas. Presentamos, a continuación, un conjunto de temas de discusión, organizados secuencialmente.

**Tema I.** Un primer tema de discusión, después de presentada y contextualizada la experiencia anterior, puede ser una llamada de atención para el hecho de Lémery, a semejanza de muchos otros autores de la época y también anteriores, sugieren una causa única para fenómenos como las erupciones volcánicas, los temblores de tierra, los huracanes, los relámpagos y los truenos. En la actualidad los científicos atribuyen causas diferentes a estos diversos fenómenos, pero en realidad, las erupciones volcánicas y los temblores de tierra continúan, con frecuencia, siendo procesos que parecen asociados, como fácilmente los alumnos pueden constatar a través de los currículos escolares y de los manuales de Geología. Este hecho podrá conducir a que se formulen preguntas como por ejemplo: ¿Existen motivos que fundamenten, en el presente, la relación entre vulcanología y sismología alguna semejanza con los presupuestos invocados por Lémery? Investigaciones realizadas con el objetivo de identificar concepciones alternativas de los alumnos en el

ámbito de la sismología, han evidenciado, por ejemplo, que con frecuencia los alumnos asocian los temblores de tierra a determinadas condiciones meteorológicas (Leather, 1987; Ross y Shuell, 1993).

**Tema II.** Después de la lectura del texto de Lémery donde relata la experiencia que realizó, es inevitable preguntar: ¿Realmente se produce la reacción descrita por Lémery? En términos químicos: ¿Qué pasa cuando juntamos limaduras de hierro con azufre en polvo y mezclamos agua? La experiencia puede volver a ser simulada, preferentemente al aire libre y usando pequeñas cantidades de los compuestos referidos, pero el más interesante, por cuestiones de seguridad, es que sea analizada y discutida apenas en términos de reacción química. En realidad, hoy se sabe que lo que ocurre es una reacción entre el azufre y el agua, en la cual se forma sulfuro de hidrógeno gaseoso y dióxido de azufre, desempeñando el hierro apenas el papel de catalizador.



Kant (1955), autor de tres ensayos sobre el Terremoto de Lisboa, en uno de los cuales hace referencia a la experiencia de Lémery, refiere lo siguiente:

*“Al científico es fácil imitar el fenómeno. Se juntan 25 libras de limaduras de hierro con igual peso de azufre y se mezcla todo con agua común; cerca de un pie y medio de profundidad del suelo se coloca esta mezcla y se echa tierra por encima. Pasadas algunas horas se ve surgir un humo espeso, la tierra se agita y del suelo brotan llamas.*

*No puede haber duda de que las dos sustancias antes referidas [el azufre y el hierro] se encuentran en el interior de la Tierra y que el agua que corre por las grietas de las rocas las puede poner en fermentación.*

*Otra experiencia todavía provoca gases combustibles por la unión de materiales fríos que por entran en combustión espontánea. Dos dracmas de vitriolo mezcladas con ocho dracmas de limaduras de hierro provocan una fuerte gasificación y humo...” (p.6/7).*

El propio Lémery también afirma que en las zonas montañosas, donde se encuentran los volcanes, existe en sus proximidades azufre y materiales semejantes a los que se separan del hierro en las forjas.

**Tema III.** En el siglo XVII ya se sabía que las combustiones sólo podían ocurrir en presencia de aire. Robert Boyle había realizado diversas experiencias con la máquina neumática que evidenciaban este hecho. Considerando, que la obra de Boyle y de otros filósofos naturales, que realizaron experiencias análogas a las de él, tuvo una amplia divulgación en la época, ¿cómo se puede comprender, que en la primera parte del siglo XVII, todavía se continuase hablando de “fuegos subterráneos”? Al final, para aceptar su existencia era necesario proponer un medio de hacer llegar aire al interior de la

Tierra. En realidad en esta temática hay una cuestión que es necesario responder: ¿cómo se forma, en el interior de la Tierra, el magma que vemos salir de los volcanes?

En los últimos veinte años la aplicación de conocimientos propios de la termodinámica, de la petrología experimental y de la dinámica de fluidos ha venido a proponer una base importante para comprender el proceso físico de fusión de las rocas en el manto. Hay tres formas de fundir una roca: aumentar la T, bajar la P o cambiar la composición química del sistema, bajando el punto *solidus* (aunque como las rocas están formadas por varios minerales no es correcto hablar de *solidus* y *liquidus* para una roca). Los dos últimos factores son los más importantes en el proceso de formación de magma.

Es posible buscar las semejanzas y las diferencias entre la erupción volcánica producida por Lémery en laboratorio y una erupción real. Podrá ser interesante construir un cuadro comparativo, organizado por asuntos: composición del magma, mecanismo de fusión y formación de los magmas, ¿dónde se generan los magmas?, el proceso eruptivo (Martí y Folch, 1999), que facilite la comparación entre lo que se conoce en la actualidad sobre los volcanes y las condiciones con que es simulado en el experimento.

**Tema IV.** Lémery no se limitó a hacer una sola experiencia como ya antes dijimos, sino que hacía variar algunas de las condiciones físicas en la experiencia inicial:

*“Metí la misma mezcla de limaduras de hierro y de azufre, en diferentes cantidades, en recipientes altos y estrechos, de tal modo que la materia quedó más comprimida que en los vasos, se produjo de este modo fermentaciones y relaciones más fuertes, y la materia se elevó con un poco de violencia...” (p. 103).*

Una tercera experiencia es también descrita por Lémery:

*“En verano, coloqué cincuenta libras de la misma mezcla en un recipiente grande (bote) y coloqué el recipiente en una fosa que yo había mandado hacer en el campo, lo cubrí con un paño y a continuación de tierra con una altura de cerca de un pie, parecía ocho o nueve horas después que la tierra se hinchó, se calentaba y se agrietaba; después salieron vapores sulfurosos y calientes, y enseguida algunas llamas que alargaron las aberturas, y que esparcían por el lugar un polvo amarillo y negro...” (p. 103).*

¿Qué pretendía demostrar Lémery con la introducción de estas alteraciones en la experiencia inicial?

Lémery afirma todavía que esta experiencia resulta mejor en el verano por causa del calor del Sol, no solo porque el calor provoca un mayor “movimiento” en las partículas de hierro y de azufre, como también porque en este periodo del año se forman con más facilidad grietas en los suelos que permiti-

rían al aire penetrar en la corteza terrestre. Lo que explica también, según Lémery, que los temblores de tierra fuesen más comunes en los países cálidos. Él explica los fenómenos sísmicos de la siguiente forma:

*“Los temblores de tierra son aparentemente causados por un vapor, producido a partir de la fermentación violenta del hierro y del azufre, convertido después en un viento sulfuroso, lo cual pasa, y rola por donde él puede; levantando y sacudiendo los terrenos sobre los cuales pasa. Si este viento sulfuroso permanece encerrado sin poder penetrar por ninguna abertura para escaparse, él hace durar el temblor de tierra un largo tiempo; y con grandes esfuerzos hasta que haya perdido su movimiento” (p. 104).*

Este texto puede sugerir la siguiente cuestión: ¿cuál fue el obstáculo epistemológico que no permitió la aparición hasta el siglo XIX de otro tipo de explicaciones para el origen de los temblores de tierra? En verdad, en términos físicos, hasta el siglo XIX, se admitió que la energía sísmica se propagaba a través de un transporte de masa. Sólo después el conocimiento del movimiento ondulatorio en medios sólidos con transporte de energía a través de deformación elástica fue posible desarrollar otros modelos explicativos (Oeser, 1992).

#### Nota final

Hasta la década de los 70 la vulcanología fue esencialmente una disciplina descriptiva, preocupada por los paisajes volcánicos, con la clasificación de los productos expelidos por los aparatos volcánicos y por la geografía de las regiones volcánicas. Esta situación se transmitió también a los currículos escolares otorgando muy poca atención a los procesos físicos que están en el origen de una erupción volcánica, que no es más que una expresión superficial de procesos que ocurren en el interior de la Tierra. Sin embargo los cambios significativos registrados en el enfoque de los problemas de la investigación en vulcanología en las últimas décadas exigen también, a nuestro parecer, que los profesores dediquen más tiempo a la discusión de los procesos en detrimento de la presentación de contenidos esencialmente descriptivos. Las experiencias de Lémery pueden ofrecer en nuestra opinión un punto de partida estimulante para la discusión de este tema.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Aristóteles (1996). *Meteorológicos*. Editorial Gredos. Madrid.
- Aristóteles (1998). *Acerca de la Generación y la Corrupción*. Editorial Gredos. Madrid.
- Bensaude-Vincent, B. y Stengers, I. (1996). *História da Química*. Instituto Piaget. Lisboa.
- Boer, J. Z. y Sanders, D. T. (2002). *Volcanoes in Human History. The Far-Reaching Effects of Major Eruptions*. Princeton University Press. Princeton and Oxford.

- Capel, H. (1980). Organicismo, Fuego Interior y Terremotos en la Ciencia Española del Siglo XVIII. *Cuadernos Críticos de Geografía Humana*, 27-28, 5-94.
- Lémer, N. (1700). Explication Physique et Chymique des Feux Souterrains, des Tremblements de Terre, des Ouragans, des Eclairs & du Tonnerre. *Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Année M.DCC. Avec les mémoires de Mathématique & de Physique pour la même Année*, 101.
- Harris, S. I. (2000). Archaeology and Volcanism en *Encyclopedia of Volcanoes* (Sigurdsson, H. – Ed.-in-Chief). Academic Press. San Diego, 1301-1315.
- Kant, I. (1955). *Ensaio de Kant a propósito do terremoto de 1755* (tradução de Luís Silveira). Câmara Municipal de Lisboa. Lisboa.
- Knoeff, R. (2002). *Herman Boerhaave (1668-1738). Calvinist chemist and physician*. Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Amsterdam.
- Krafft, M. (1991). *Les feux de la Terre. Histoire de volcans*. Paris, Gallimard.
- Leather, D. (1987). *Views of the Nature and Origin of Earthquakes and Oil Held by Eleven to Seventeen Years Old*. M. Sc. Thesis, University of Keele.
- Martí, J. y Folch, A. (1999). El porqué de los volcanes. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7.3, 194-199.
- Oeser, E. "Historical Earthquake Theories from Aristotle to Kant", *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt* (1992), 48, 11-31.
- Oldroyd, D. (1996). *Thinking about the Earth: a History of Ideas in Geology*. Athlone. London.
- Perfit, M. e Davison, J.P. (2000). Plate Tectonics and Volcanism en *Encyclopedia of Volcanoes* (Sigurdsson, H. - Ed.-in-Chief). Academic Press. San Diego, 89-114.
- Ross, K. E. K. y Shuell, T. J. (1993). Children's Beliefs about Earthquakes. *Science Education*, 77 (2), 191-205.
- Sequeiros, L. (2001). El Geocosmos de Athanasius Kircher. Una Imagen organicista del mundo ciencias de la naturaleza del Siglo XVII. *Llull*, 24, fasc. 51, 755-807.
- Sequeiros, L. y Pedrinaci, E. (1999). De los volcanes de Kircher a la Gaia de Lovelock. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7.3, 187-193.
- Sigurdsson, H. (2000). The History of Volcanology en *Encyclopedia of Volcanoes* (Sigurdsson, H. – Ed.-in-Chief). Academic Press. San Diego, 15-37. ■