

## Erupciones en el laboratorio. Modelos analógicos de peligros volcánicos

### *Eruptions in a laboratory. Analogue models about volcanic hazards*

LAIA RAMON - SALA Y DAVID BRUSI

Departament Ciències Ambientals/GEOCAMB. Facultat de Ciències. Universitat de Girona. E-mail: laia.ramon@udg.edu; laia.ramon.sala@gmail.com; david.brusi@udg.edu

**Resumen** Una de las mejores estrategias para enfrentarse a los peligros volcánicos es, sin duda, la educación de los ciudadanos. Comprender de un modo significativo la fenomenología asociada a una erupción es el primer paso para percibir los factores causantes del riesgo y adoptar, si procede, las medidas de autoprotección. El tratamiento del vulcanismo en la enseñanza no debería abordarse como un simple fenómeno natural. El peligro volcánico afecta no solo a la población expuesta por motivos de proximidad geográfica. La movilidad mundial por razones laborales o turísticas hace recomendable que sea desarrollado de un modo más amplio. Por lo tanto, es importante que el docente pueda disponer de recursos que contribuyan a un mejor aprendizaje. En este trabajo se presentan seis modelos analógicos simples que permiten simular, analizar y comprender los principales procesos asociados al peligro volcánico (la presión de los gases del magma, las coladas de lava, las erupciones hidromagmáticas, las emanaciones de gas y los lahares). Los resultados y observaciones pueden adaptarse a diferentes niveles de enseñanza; ya sea educación primaria, secundaria o universitaria.

**Palabras clave:** Enseñanza, modelos analógicos, peligros volcánicos, vulcanismo.

**Abstract** *The best strategy to deal with volcanic hazards is the education of citizens. Understanding, in a significant way, the phenomenology associated with an eruption is the first step to appreciate the factors causing risks and adopt self-care measures. In class, volcanism shouldn't be approached as a simple natural phenomenon. The volcanic hazard affects not only people who live nearby. The worldwide mobility for labour or touristic reasons makes the development of this subject especially advisable. Therefore, having resources to promote better learning becomes a main issue for the teachers. In this paper we present six analogue models designed to simulate, analyze and understand the main processes associated with volcanic hazards (gas pressure in the magma, lava flows, hidromagmatic eruptions, gas emanations and lahars). The results and observations can be adapted to different levels of education; primary school, high school or university.*

**Keywords:** Learning, analogue models, volcanic hazards, volcanism.

*“Quien oye, olvida,  
quien ve, entiende,  
sólo quien hace, aprende”*

Confucio

## INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista docente, los volcanes son uno de los temas más fascinantes de las Cien-

cias de la Tierra. La espectacularidad de las erupciones volcánicas les otorga un atractivo especial. Además, constituyen fenómenos geológicos que se desencadenan, normalmente, en períodos cortos de tiempo desde un punto de vista geológico. Esto permite que sean percibidos como una manifestación evidente a escala humana de la actividad interna del planeta.

Los volcanes son los protagonistas de películas de cine, de documentales, o de noticias de actualidad (Brusi *et al.*, 2011) cuando una erupción ofrece

imágenes llamativas o pone en riesgo a las personas o a las propiedades. Más allá de su relación con la tectónica de placas (López-Ruiz y Cebria, 2015, en este mismo volumen), de su papel como generadores de rocas, o de su influencia en los cambios climáticos es, precisamente, el peligro potencial que conlleva el vulcanismo activo el que recomienda que su tratamiento en la enseñanza sea abordado con todos los recursos didácticos que faciliten un aprendizaje significativo.

En este escenario, es conocido por todos que una de las mayores dificultades con las que debe enfrentarse la enseñanza de las Ciencias de la Tierra es el reducido espacio que reservamos a la modelización de la realidad por lo que respecta a los procesos geológicos (Bach *et al.*, 1988). La complejidad para reproducir en el laboratorio los fenómenos hace que, habitualmente, recurramos en nuestras clases solo a imágenes estáticas o vídeos para ilustrar la descripción de los procesos. Los modelos analógicos facilitan un abordaje mucho más completo en entornos educativos.

Para definir los modelos analógicos es necesario distinguir entre el modelo científico-teórico y la realidad. Los modelos son representaciones de un objeto, un proceso o un fenómeno con la finalidad de explicar su estructura, funcionamiento y predecir futuros estados. Ocupan una posición intermedia entre los fenómenos y las teorías; son un mediador entre la realidad que se modela y las teorías que pretenden interpretarla. No se puede obviar que los modelos son representaciones parciales de la realidad (Justi, 2011).

Asumimos, pues, que un modelo analógico (o análogo, para algunos autores) es una representación simplificada de la realidad. Así, en el caso de las Ciencias de la Tierra, los modelos analógicos son reproducciones sencillas que pretenden imitar algunas propiedades del mundo real y de su dinámica. Los modelos teóricos, son representaciones abstractas que, a menudo, los alumnos no asimilan. En cambio, preservan modelos previos generados normalmente por el sentido común (de Asís, 2010). Mediante los modelos analógicos los estudiantes se involucran en la construcción de relaciones entre lo abstracto y lo concreto. Y, al mismo tiempo, elaboran un lenguaje específico y una manera apropiada de pensar (Sensey, 2008).

Los modelos analógicos en Geología son de gran utilidad cuando la visualización de un concepto o un fenómeno no es intuitiva, ya sea por razones de escala espacio-temporal o por la multiplicidad de factores que lo condicionan. Un modelo analógico es un puente entre el modelo teórico -que el docente quiere transmitir- y el modelo propio que construye cada alumno. Para lograr un aprendizaje significativo resulta esencial analizar previamente el modelo que se va a llevar al aula, evaluar sus características y determinar cómo introducirlo en la secuencia didáctica para facilitar a los alumnos la construcción del modelo teórico.

Con los modelos analógicos se logra ir más allá del aprendizaje de conceptos aislados, ya que se incorporan aspectos procedimentales y actitudinales. También, por supuesto, refuerzan la idea de que, para la investigación geológica, la analogía constitu-

ye la vía de razonamiento básico que acerca nuestra disciplina a las hipótesis predictivas y verificables mediante la experimentación (Anguita, 2013).

En este artículo se describen seis actividades basadas en sencillos modelos analógicos que facilitan la comprensión de los principales procesos asociados al peligro volcánico. El planteamiento, el desarrollo, el análisis y resultados pueden adaptarse a diferentes niveles de la enseñanza, con un mismo objetivo; lograr un aprendizaje vivencial y mejorar la educación ante los peligros volcánicos.

## VOLCANES EN EL AULA. ¿SON APROPIADAS LAS SIMULACIONES CLÁSICAS?

Si se introducen en un buscador de internet las palabras “simulación de una erupción volcánica” aparecerán casi 50.000 resultados. Si se opta por escribir “volcán casero”, o “volcán en el laboratorio”, aparecen casi 15.000. En su mayor parte los ejemplos o vídeos se encuentren serán los típicos experimentos que hemos visto o puesto en práctica alguna vez. El más recurrente y “famoso” es el “volcán” que entra en erupción cuando se mezcla bicarbonato y vinagre. Se propone como práctica en algunos libros de texto y es muy común que constituya una actividad “estrella” en niveles de educación primaria.

El procedimiento más habitual de esta práctica consiste en realizar una maqueta de un volcán introduciendo en su interior un recipiente de plástico o vidrio con bicarbonato. Seguidamente se le añade vinagre produciendo una reacción química cuyo producto es acetato de sodio, agua y  $\text{CO}_2$  que, al liberarse, forma una espuma que sale por el “cráter” del volcán, como muestra la figura 1.

Pero, dado que el experimento es una reacción química... ¿qué fenómeno natural estamos reproduciendo con este modelo analógico? y ¿qué idea se transmite a los alumnos?

En esta simulación se traslada la idea de que la mezcla de dos sustancias inicia el proceso. Muy probablemente, los estudiantes interpretarán que la erupción se produce cuando una reacción química en el interior del volcán desencadena el ascenso de la “lava”.

*Fig. 1: Resultado de la simulación de una “erupción volcánica” con bicarbonato y vinagre.*





Fig. 2: Desarrollo de la “erupción” del experimento “volcán estromboliano” de dicromato amónico.

Es cierto que el uso de modelos analógicos en el aula es un recurso muy valioso, ya que permite observar el proceso geológico a escala humana (espacial y temporal). Pero en todos ellos hay limitaciones que nos distancian del modelo teórico a enseñar.

En el caso del modelo del “volcán de vinagre” la gran limitación es que el desencadenante del proceso es una reacción química, en cambio en la realidad la erupción es la consecuencia de procesos físicos. Es decir, el magma se encuentra rodeado por rocas más densas, sometido a una presión ejercida sobre él. Cuando la presión del magma sea mayor que la presión litostática que soporta, éste ascenderá, hasta poder alcanzar la superficie. Si las mencionadas presiones se equilibran, en un punto de la ascensión, o es mayor la presión de carga, el magma no alcanzará la superficie. Influyen, pues, la densidad del magma y la densidad de los materiales que va atravesando y de los que hay por encima.

La idea de que el desencadenante de la erupción es una reacción química aparece de manera recurrente en los alumnos, sobre todo si se ha realizado la simulación en cursos anteriores. Por lo tanto, cuando la limitación que tiene el modelo analógico es uno de los pilares del modelo teórico es mejor que el docente lo reemplace (o, si lo utiliza, debe ser a sabiendas de sus limitaciones y de que puede crear malentendidos).

Entre las simulaciones de erupciones volcánicas también encontramos ejemplos más “pirotécnicos”, como la reproducción de la erupción estromboliana con dicromato de amonio<sup>1</sup>. En este caso, estamos de nuevo frente a un “volcán químico” que “entra en erupción” cuando con una mecha de magnesio o unos fósforos provocamos un incremento de calor que des-

encadena una reacción exotérmica de auto-oxidación y reducción de los cristales de color naranja de dicromato de amonio. Al margen de los gases de amoníaco, se desprenden pavesas de materia inflamada que acaban depositándose en forma de un polvo verde de óxido de cromo. Su acumulación construye un cono volcánico con un cráter en la posición central (Fig. 2). Pese a la espectacularidad del experimento, nos encontramos frente a limitaciones equivalentes a las expuestas para el “volcán de vinagre”, que cuestionan su idoneidad como modelo, acrecentadas, si cabe, por sus efectos perniciosos para la salud.

Los ejemplos anteriores y, fundamentalmente, sus limitaciones hacen evidente, por su enorme trascendencia, que los modelos analógicos deben ser utilizados en el aula tras un análisis detallado. Su espectacularidad no debe confundirnos. No se plantean las actividades didácticas como simples demostraciones, puesto que una de las claves del éxito de los modelos analógicos en las prácticas radica en que los alumnos dispongan del tiempo necesario para desarrollar la actividad. Para una buena comprensión es óptimo que los alumnos relacionen los materiales utilizados en la práctica con los elementos involucrados en la realidad, se formulen preguntas relacionadas con el modelo analógico, encuentren una solución plausible y finalmente construyan el modelo teórico. Por este motivo, es crucial que el modelo analógico sea una simplificación de la realidad que evite transmitir ideas erróneas. En la enseñanza de las Ciencias de la Tierra resultará esencial que el modelo reproduzca adecuadamente los mismos mecanismos de activación, desarrollo y consecuencias del proceso geológico a estudiar.

## PROPUESTA DIDÁCTICA SOBRE PELIGROS VOLCÁNICOS

La actividad volcánica engloba un conjunto de procesos geológicos que abarcan un tiempo mucho

<sup>1</sup> Esta experiencia es poco recomendable si se realiza fuera de una vitrina de gases de laboratorio cerrada, puesto que presenta una elevada toxicidad debido a la presencia del cromo, Cr (VI). (Carbayo, A., Cuevas, J.V, Espino, G. y Muñoz, A. (2011)).

mayor que el período eruptivo. Sin embargo, es en la fase eruptiva donde se manifiestan los fenómenos que representan un peligro. En una erupción pueden sucederse distintos episodios en los que puede dominar una u otra fenomenología. Incluso un mismo episodio puede presentar pequeñas interrupciones y sus etapas de actividad expresarse en forma de pulsaciones. Las distintas manifestaciones de actividad eruptiva dependen de diversos factores. Entre los más determinantes se pueden destacar: la composición del magma –fundamentalmente, el porcentaje de  $\text{SiO}_2$ – porque afectará a la viscosidad de la lava; la temperatura de emisión del magma –entre 800 y 1200°C–, la cantidad de gases disueltos y la interacción entre el magma y el agua durante la erupción.

Este artículo aporta seis modelos analógicos reproducibles en el aula, seleccionados con el objetivo de ilustrar algunos factores, mecanismos y procesos relacionados con la actividad eruptiva y los peligros volcánicos. Aconsejamos su uso integrado en una unidad didáctica que trate las diferencias entre el peligro y el riesgo.

Cada una de las actividades incluye los contenidos que van a ser tratados, los objetivos que pretende lograr, los conocimientos previos requeridos, el material, el desarrollo de la práctica, tiempo y consideraciones procedimentales y limitaciones del modelo. El docente puede utilizar los modelos que prefiera en el orden más adecuado.

### Actividad 1. El ascenso magmático

**Contenidos:** En condiciones naturales los magmas ascienden a través de la corteza porque su temperatura elevada hace que su densidad sea más baja que las rocas sólidas que los rodean, como la cera respecto a la arena y el agua. El magma puede enfriarse dentro de grietas o conductos formando rocas filonianas (o hipabisales), o bien, originando edificios volcánicos en superficie.

**Objetivos:** Conocer la densidad de los distintos materiales de la práctica y relacionarlos con la realidad. Identificar las distintas partes de un volcán y las rocas que se pueden generar. Comprender que el magma asciende por diferencias de densidad en la litosfera.

**Conocimientos previos:** Concepto de densidad y su identificación en fluidos. Estructura interna de un volcán desde la cámara magmática hasta el cráter.

**Material:** Placa calefactora (o cualquier aparato que produzca calor), un vaso de precipitados de un litro resistente al calor, un par de velas de cera roja, unos 150 cm<sup>3</sup> de arena fina (de playa o de río), cucharilla, cúter y un litro de agua fría (Fig. 3).

**Desarrollo de la práctica:** Previamente a la simulación de la erupción se requiere cortar las velas en trocitos pequeños y colocarlos en el fondo del vaso de precipitados (no incluir la mecha de la vela). Para que el experimento sea más vistoso es recomendable que la cera sea de color (vigilar porque hay velas que sólo son de color en su exterior). A continuación, calentar el recipiente hasta que la cera quede fundida en su fondo. Es necesario que forme una capa de un par de centímetros de grosor. Después, dejar enfriar hasta que retorne a la temperatura am-



Fig. 3: Materiales necesarios para realizar el experimento del ascenso magmático.

biente y solidifique adoptando la forma del fondo del recipiente de vidrio.

Ahora ya puede comenzar el experimento. Se cubre la cera con una capa (1 cm aproximadamente) de arena fina. Después se llena lentamente el recipiente con agua fría (utilice una cucharilla para que el agua toque primero en ésta y luego caiga hacia el fondo para no deshacer la capa de arena que hemos preparado) hasta llegar a un par de centímetros de la abertura, como muestra la figura 4. Se enciende la placa calefactora para fundir la cera poco a poco.

A los pocos minutos se verá como la cera líquida comienza a ascender a través de la arena y del agua. Dentro del agua aparecerá un entramado de “hilillos” de cera. Alguno de ellos llegará a la superficie del agua y formará un pequeño “volcán” del que surgirán “coladas de lava”. Una vez finalizado el proceso retirar con un paño o guante para horno el



Fig. 4: Preparación del experimento del ascenso magmático colocando una capa de cera sólida, una de arena y agua en un vaso de precipitados.

Fig. 5: Resultado de la simulación del ascenso magmático, la cera fundida al ser menos densa asciende hasta la superficie.



vaso de precipitados para que enfríe. (Fig.5).<sup>2</sup>

**Tiempo y consideraciones procedimentales:** Este modelo analógico da una visión global de los mecanismos que entran en acción en una erupción volcánica utilizando los mismos procesos físicos que en la realidad. Se simula no solamente el cono volcánico (en la superficie del agua) sino que también se observa cómo la cámara magmática se funde y asciende generando tubos y filamentos sólidos análogas a las rocas filonianas.

El tiempo necesario para realizar el modelo analógico es de unos 50 minutos si la preparación de fundir la cera no la realizan los alumnos. De este modo con una sesión pueden observar todo el proceso. Si se prefiere dotar de un grado de autonomía mayor al alumnado se necesitarían unos 120 minutos. En la primera sesión se prepara el modelo y se crean distintos escenarios variando la capa de arena y el grosor de los granos y, en la segunda sesión, se realiza el experimento.

**Limitaciones del modelo:** Utilizar el agua puede crear malentendidos cuando se relaciona con la realidad; el agua representa capas de la corteza de menor densidad pero a menudo los alumnos lo identifican con los océanos o la atmósfera (una posible solución sería imprimir en una hoja estratos rocosos y pegarla en el vaso de precipitados ocupando solamente una parte). Otra limitación es que la cera siempre presenta la misma densidad y los alumnos interpretan su ascenso porque se funde con el calor.

## Actividad 2. El papel de los gases disueltos en la erupción

**Contenidos:** Los magmas contienen cantidades variables de gases disueltos (volátiles) que se man-

<sup>2</sup> Más información en: Simulación erupción volcánica. <http://www.recercaenaccio.cat/experimenta/simula-una-erupcio-volcanica-2/>

tienen en la roca fundida por presión, exactamente como el dióxido de carbono en los refrescos. Según el magma asciende y la presión disminuye, la solubilidad de los gases se ve reducida y se forman unas burbujas. Esta desgasificación se ve influenciada por la viscosidad del magma; una viscosidad elevada produce a menudo erupciones explosivas, ya que, los gases al expandirse hacen estallar los líquidos magmáticos.

**Objetivos:** Identificar el estado físico del líquido dentro de la botella y argumentar su estado cuando es expulsado. Comprender que la columna de material volcánico se expulsa por descompresión.

**Conocimientos previos:** Concepto de la presión, compresibilidad de gases, incompresibilidad de líquidos.

**Material:** Botella con sifón de cualquier bebida gaseosa, palangana, hoja con esquema volcánico, tubo de plástico adaptable al sifón, trípode, un embudo (cualquier objeto de plástico con forma de cono para colocar el tubo hacia arriba), tijeras, plastilina y cinta adhesiva (Fig. 6).

**Desarrollo de la práctica:** Se dibuja el esquema volcánico en la hoja y se pega en el trípode. Se conectan la botella con el tubo y el embudo, como se observa en la figura 7. Se apoya el embudo en el círculo del trípode y se coloca todo el montaje dentro de la palangana. Se abre el sifón y salen a presión burbujas de aire con agua (Fig. 8).

**Tiempo y consideraciones procedimentales:** La ventaja de este modelo analógico es que se da una salida de material por el mismo proceso (muy simplificado) que el que sucede en una erupción real. El gran inconveniente es la rapidez con la que se produce el efecto. Por este motivo es fundamental accionar el mecanismo del sifón para poder controlar cuando se da la "erupción". El tiempo necesario para realizar el modelo analógico es muy poco, alrededor de cinco minutos; pero entendemos que esta práctica en concreto tiene que apoyarse en un tratamiento previo trabajando conceptos de gases disueltos y variaciones de presión. Y se recomienda terminar con una actividad de síntesis para que conecten el proceso geológico con la física asociada y el peligro que conlleva.

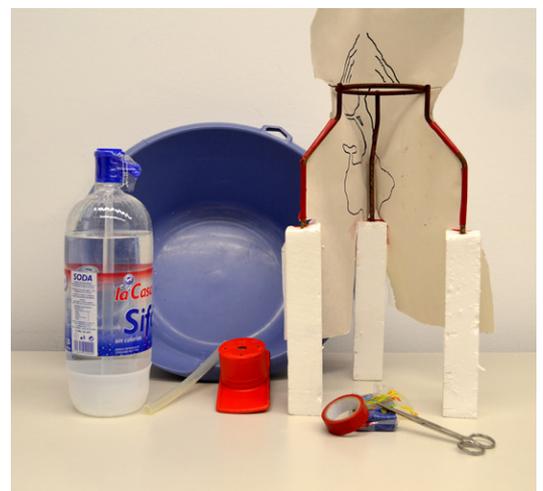


Fig. 6: Materiales necesarios para realizar la simulación del papel de los gases disueltos en una erupción volcánica.



Fig. 7: Simulando el papel de los gases disueltos conectando una botella de un refresco gaseoso con sifón al tripode con el esquema volcánico.



Fig. 8: Resultado del modelo analógico del papel de los gases disueltos en una erupción volcánica con la salida de agua con gas de la botella.

**Limitaciones del modelo:** En el modelo analógico se utiliza agua, en cambio, en la realidad se expulsan materiales magmáticos.

### Actividad 3. La viscosidad de las coladas de lava

**Contenidos:** Las coladas de lava son masas fundidas de magma emitidas por un volcán que se deslizan por la acción de la gravedad por las pendientes pudiendo cubrir grandes extensiones. El camino que seguirá la lava depende del relieve y la velocidad. Esta última variable viene condicionada por la composición de la lava y su temperatura (a mayor temperatura menor viscosidad).

**Objetivos:** Identificar que hay lavas con distinta viscosidad y ésta depende de la temperatura (no se trata su composición)<sup>3</sup>. Relacionar la viscosidad del magma con el índice de explosividad del volcán.

**Conocimientos previos:** Clasificación de los volcanes. Conceptos de viscosidad y fluidez.

**Material:** Placa calefactora (o cualquier aparato que produzca calor), un termómetro, una varilla, una lámina de cartón de unos 40x30 cm, un vaso de precipitados, una jeringuilla graduada, 10 mL de arena, una cuña de madera y 150 g de virutas de chocolate (Fig.9).

**Desarrollo de la práctica:** Se enciende la placa calefactora con el vaso de precipitados lleno de chocolate. Fundir el chocolate procurando que no se quemé por la parte inferior, remover suavemente

<sup>3</sup> El factor más influyente para encontrar magma a diferentes temperaturas es su composición, mayoritariamente silicatada SiO<sub>2</sub>, a mayor porcentaje de sílice la temperatura de fusión es inferior. Según este porcentaje los magmas se clasifican en básicos (52%), intermedios (entre el 52 y el 63%) y ácidos (superior al 63%).



Fig. 9: Materiales necesarios para determinar la viscosidad de las coladas de lava según su temperatura.

Fig. 10: Preparación del experimento dibujando cinco columnas en la lámina de cartón para derramar el chocolate. Con ello se simula la vertiente de un volcán en la cual se observa la viscosidad dependiendo de la temperatura.

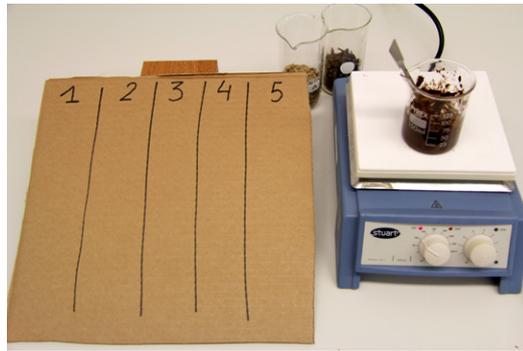
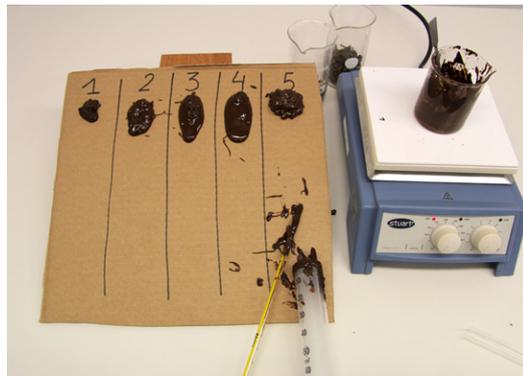


Fig. 11: Resultado de la simulación de la viscosidad de las coladas de lava. Se ha derramado chocolate en las distintas columnas y con arena en la quinta.



con la varilla. Colocar el cartón inclinado (con una cuña de madera) y dibujar cinco columnas verticales, como muestra la figura 10. Cuando el chocolate esté fundido medir su temperatura con el termómetro (p. ej.: 40°C), mediante la jeringuilla obtener 5 mL y derramarlo en la primera columna. Observar, cómo el chocolate se derrama por el cartón. Continuar removiendo el chocolate hasta que la temperatura se incremente cinco grados (p. ej.: 45°C), volver a recoger 5 mL y derramarlo en la segunda columna. Realizar el mismo procedimiento dos veces más (p. ej.: 50°C y 55°C). Observar que el chocolate se derrama por el cartón de manera distinta cada vez. Finalmente, añadir al vaso de precipitados la arena mezclándose con el chocolate y derramarlo por la última columna. Observar, en la figura 11, que el chocolate con la arena es poco fluido<sup>4</sup>.

**Tiempo y consideraciones procedimentales:** Se aconseja realizar este modelo analógico en grupos de tres a cinco alumnos, ya que presenta muchas subtareas (medir con el termómetro, remover con la varilla, derramar con la jeringuilla el chocolate, etc.). Es interesante crear, previamente, con los alumnos distintas hipótesis plausibles y confirmar una de ellas con el modelo analógico. El resultado del modelo analógico es cualitativo, ya que, hay factores que intervienen en el comportamiento del chocolate que no controlamos (clase de chocolate, tiempo, potencia de la placa calefactora). El tiempo necesario para realizar la práctica es de entre 30 a 45 minutos (depende de la autonomía del alumnado o el grado de indagación).

**Limitaciones del modelo:** Se utiliza siempre el mismo chocolate para obtener un fluido con tem-

peraturas distintas, pero como se ha mencionado anteriormente, la temperatura del magma depende de su composición. Así pues, una de las limitaciones del modelo analógico es que se podría entender que el mismo magma puede alcanzar temperaturas cada vez más altas dependiendo del tiempo. Para solventar esta limitación podrían utilizarse chocolates con distintos puntos de fusión e incluir así los diferentes porcentajes de sílice en la composición del magma.

Otra limitación es que se funde el chocolate con una fuente de calor, cuando en realidad una de las componentes para la fusión de las rocas es la descompresión. También el tiempo comparado con la realidad es muy distinto, en el modelo analógico se acelera. Finalmente, la pendiente del volcán que simulamos con una lámina de cartón es homogénea, en cambio, en la realidad la superficie por donde fluye la lava es irregular y algunas veces puede quedar colgada, sin descender por el pendiente, manteniendo su estructura vertical si no hay más aporte de material que empuje el fluido.

#### Actividad 4. Las erupciones hidromagmáticas

**Contenidos:** Las erupciones hidromagmáticas se producen cuando el magma en su ascenso hacia la superficie entra en contacto con agua, ya sea el fondo marino, agua subterránea o agua superficial. Cuando, en condiciones subacuáticas, la proporción de agua es mucho mayor a la del magma se forman lavas almohadilladas. En cambio, cuando la relación es la inversa el agua al aumentar de temperatura pasa a estado gaseoso, aumentando a su vez la presión y generando fuertes explosiones.

**Objetivos:** Comprender el motivo por el cual una erupción hidromagmática puede tener una alta explosividad.

**Conocimientos previos:** Los diferentes estados de la materia y las relaciones entre ellos. Concepto de agua subterránea. Punto de ebullición del agua y del aceite.

**Material:** Placa calefactora (o cualquier aparato que produzca calor), una placa de Petri, una pipeta Pasteur, agua y aceite (Fig. 12).

**Desarrollo de la práctica:** Se enciende la placa calefactora con la placa de Petri llena de aceite, como se muestra en la figura 13. Esperar hasta que el aceite esté bien caliente. Cuando esté a una temperatura elevada añadir con la pipeta Pasteur una gota de agua. Procurar estar a una cierta distancia,



Fig. 12: Materiales necesarios para simular una erupción hidromagmática.

<sup>4</sup> Experimento similar en: Del Carmen, L., Pedrinaci, E., Cañas, A y Fernández, M. (2008). Ciencias de la naturaleza. 2 ESO. Naturalia. Proyecto SM Secundaria. 133p.

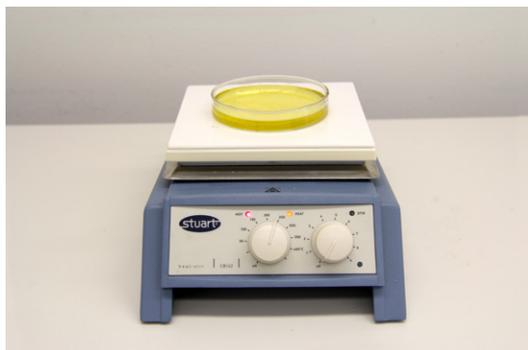


Fig. 13: Se observa como el aceite en una placa de Petri se va calentado para simular, cuando esté muy caliente, una erupción hidromagmática añadiéndole una gota de agua.

utilizar gafas de protección y guantes, el aceite salpicará. Observar, en la figura 14, qué ha ocurrido con la gota de agua<sup>5</sup>.

**Tiempo y consideraciones procedimentales:** Conlleva un cierto riesgo realizar este modelo analógico con niños o adolescentes, aunque se ha incorporado por su sencillez y espectacularidad. Se aconseja, pues, realizar este modelo analógico como una demostración (el profesor muestra a los alumnos la simulación). Una variante mucho más segura es la que se muestra en la figura 15. Con una placa calefactora se calienta el aceite en una sartén. Cuando el aceite este caliente se cubre con una tapa que tenga un agujero y con una pipeta Pasteur se tira una gota de agua.

Después de la demostración, cada alumno, o por parejas, puede realizar el experimento con total seguridad. El tiempo necesario para realizar el modelo analógico con estas dos etapas es de unos 15 - 20 minutos.

**Limitaciones del modelo:** No todas las erupciones con interacción agua-magma generan alta explosividad ya que hay diferentes variables que la condicionan como el volumen de agua y de magma, o bien, el contacto entre estos dos fluidos. La diferencia de temperaturas entre el magma-agua es mucho mayor que entre aceite-agua.

<sup>5</sup> Más información en: Martí, J., Pujadas, A., Ferrés, D., Planagumà, Ll. y Mallarach, J.M. (2012). *El vulcanismo: Guía de campo de la Zona Volcánica de la Garrotxa. Parque natural de la Zona Volcánica de la Garrotxa.* 29p.

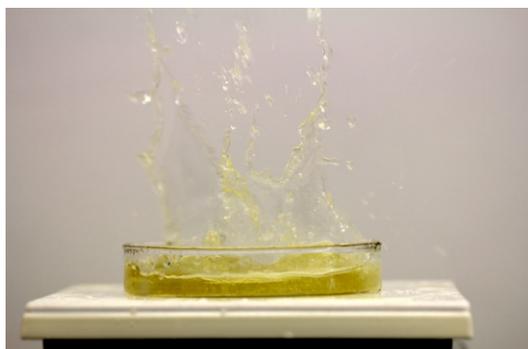


Fig. 14: Resultado de la simulación de una erupción hidromagmática, se observa la explosión del aceite cuando el agua se vaporiza al superar los 100 °C.



Fig. 15: Recreación del modelo analógico “explosiones hidromagmáticas” de un modo seguro. En la figura se observa cómo se vierte la gota de agua en el aceite protegidos por la tapa de la sartén.

## Actividad 5. Las emanaciones de gases volcánicos

**Contenidos:** Los gases que inicialmente se encuentran disueltos en el magma pueden escapar por pequeñas fracturas generando nubes de gas. Mayoritariamente los gases están compuestos por vapor de agua y, con menor proporción, dióxido de carbono, nitrógeno y dióxido de azufre. El CO<sub>2</sub> es un gas más denso que el aire cuando se expulsa descendiendo por las vertientes del volcán y se canalizan por las valles reemplazando el aire.

**Objetivos:** Identificar las emanaciones de gas como un peligro volcánico. El CO<sub>2</sub> es un gas más denso que el aire. Sin el oxígeno del aire los seres vivos no podemos respirar.

**Conocimientos previos:** Los humanos (como todos los seres vivos) ocupamos una franja muy delgada llamada troposfera, compuesta por aire. Una vela necesita oxígeno para mantenerse encendida.

**Material:** Botella de dióxido de carbono, un vaso de precipitados grande de 500 mL o 1000 mL, una vela, plastilina y un encendedor (Fig. 16).



Fig. 16: Materiales necesarios para observar el reemplazamiento aire por dióxido de carbono expulsado por un volcán.

Fig. 17: Preparar previamente el relieve modelando la plastilina dentro del vaso de precipitados para lograr niveles a distintas alturas. Para poder simular las emanaciones de gases volcánicos.



**Desarrollo de la práctica:** Se moldea un relieve con la plastilina dentro del vaso de precipitados (este relieve debe contener el volcán y zonas más altas que otras como se observa en la figura 17). Se sitúan a distinta altura velas de 1 cm de alto. Se encienden las velas y se coloca el surtidor de la botella en el cono del volcán y se abre. Poco a poco el dióxido de carbono reemplazará el aire del vaso de precipitados y las velas irán apagándose una a una (Fig. 18)<sup>6</sup>.

**Tiempo y consideraciones procedimentales:** Es interesante realizar el máximo de réplicas posibles para observar cómo se apagan las velas dependiendo del relieve moldeado. Por lo tanto, se aconseja realizar la práctica individualmente o por parejas. La ventaja de este modelo analógico es que una vez hecho se pueden volver a encender las velas de nuevo para mostrarlo a los compañeros. El tiempo necesario para realizar la práctica es de entre 45 a 90 minutos (depende de la autonomía del alumnado o el grado de indagación).

<sup>6</sup> Más información en: Prácticas docentes: Experimentos con CO<sub>2</sub>. <https://www.youtube.com/watch?v=T77jAB6-Ci4>



Fig. 18: Resultado del experimento de las emanaciones de gases volcánicos. La vela más baja en altitud se apaga a causa del CO<sub>2</sub> que desplaza el oxígeno. Segunda vela apagándose, el dióxido de carbono asciende y apaga las velas de altura menor a mayor.

**Limitaciones del modelo:** El vaso de precipitados es una barrera para que no salga el CO<sub>2</sub> que, en la realidad, no existiría. Ésta sería la limitación más importante, aunque puede ser difícil de relacionar las velas (en el modelo analógico) con los seres vivos (en la realidad).

### Actividad 6. Los lahares

**Contenidos:** Los lahares son avalanchas de tierra y agua cuando la proporción entre estos dos componentes causa un comportamiento fluido. El origen del agua, normalmente, es por el deshielo repentino de un glaciar situado en la cima de un volcán, por el calor que desprende el magma cuando asciende.

**Objetivos:** Observar un proceso en cadena y cómo un fenómeno indirecto o secundario como el lahar, puede ser peligroso. Identificar los valles como las zonas con más peligro, y a menudo, con más riesgo ya que son las más pobladas.

**Conocimientos previos:** Los lahares son un peligro volcánico que causa muchos daños en la población expuesta. El material movilizado es del cono del volcán, aunque el magma tiene un papel fundamental.

**Material:** Bandeja de laboratorio de 40x60 cm, 2 kg de arena no clasificada y 500 g de arena fina, garrafa de agua vacía, resistencia con recipiente conductor de calor, 0,5 L de hielo picado, 0,5 L de agua, silicona, látex, casitas de juguete (opcional) y pulverizador (Fig. 19).

**Desarrollo de la práctica:** Previamente a la simulación del lahar se requiere la preparación de la resistencia con el recipiente conductor de calor, estos tienen que estar aislados completamente, utilizando por ejemplo silicona. También se tiene que cortar la garrafa de agua y pega la arena fina, por ejemplo, con látex.

Una vez listo todo el material se llena la bandeja con una capa de arena de un par de centímetros. Se coloca el recipiente conductor en el centro de la bandeja y se echa agua dentro del mismo y se tapa con la garrafa. Se moldea con la arena sin clasificar la bandeja para darle forma de volcán (siendo la parte superior del volcán la misma garrafa de agua). Se humedece la arena con el pulverizador. A continuación, se colocan capas delgadas de arena fina humedeciéndolas capa a capa. Se realiza



Fig. 19: Materiales necesarios para realizar la simulación de un flujo o lahar.



Fig. 20: Montaje del modelo analógico, para simular un lahar. Se moldea un relieve con arena recreando un cono volcánico con hielo en la parte superior y agua calentándose en un interior.

la misma acción en la parte superior de la garrafa, consiguiendo un espesor de medio centímetro de arena fina bien húmeda (Fig. 20).

Cuando está listo el relieve se coloca en la cima del volcán un sombrero de hielo picado y se conecta la resistencia a la corriente. El agua de dentro el recipiente conductor empezará a hervir en pocos segundos deshaciendo el hielo. Se mezclará con la arena de su alrededor, hasta desestabilizarse y fluir (Fig. 21).

**Tiempo y consideraciones procedimentales:** Conlleva un cierto riesgo realizar este modelo analógico con niños, aunque se ha incorporado por su sencillez y espectacularidad. Se aconseja, pues, realizar este modelo analógico como una demostración (el profesor muestra a los alumnos la simulación). Además, la colocación adecuada del recipiente conductor es relevante para que el hielo se funda rápidamente. Si los alumnos son adolescentes o adultos se aconseja trabajar en grupos de tres a cinco personas, ya que se tendrán que realizar varias probaturas con la morfología del relieve y la cantidad de hielo. Para facilitar la construcción del modelo analógico también se puede utilizar un calentador de vasos y una tetera.

**Limitaciones del modelo:** En la simulación el desencadenante del deshielo se da calentando agua en la chimenea del volcán. En cambio, en la realidad se da por el ascenso del magma. De todas formas, el proceso físico de tener la chimenea en un primer tiempo a una temperatura ambiental y su aumento repentino es análogo.

## CONCLUSIONES

Las actividades prácticas seleccionadas constituyen una evidencia del extraordinario potencial didáctico de los modelos analógicos en la enseñanza de la Geología en todos los niveles educativos, especialmente en la educación secundaria. En un tema como el peligro volcánico, crucial para una buena gestión del riesgo, puede ser una herramienta para la divulgación, no solamente en zonas donde los volcanes formen parte de la cotidianidad sino en todas. Debido a la gran movilidad de la población mundial (por migración o turismo), la sensibilización del peligro volcánico es recomendable en cualquier zona del planeta y no sólo en las zonas de elevada peligrosidad. Los modelos analógicos propuestos repasan algunos de los principales peligros volcánicos. Los puntos fuertes que presentan son la sencillez de materiales y la semejanza con los procesos físicos desencadenantes. Además, pretenden sustituir algunas simulaciones muy recurrentes en la enseñanza que crean malentendidos conceptuales, como la del bicarbonato con vinagre.

Mediante las experiencias propuestas el alumnado se involucra en la construcción de relaciones entre lo abstracto y lo concreto, y al mismo tiempo, elaboran un lenguaje específico y una manera apropiada de pensar. De esta forma, otorgan un especial protagonismo a los valores y actitudes científicas.

En conclusión, los conceptos tratados a través de las actividades propuestas son: los gases disueltos en el magma, las coladas de lava, de piroclastos, las

Fig. 21: Resultado de la fluidificación de la arena superficial que forma el cono volcánico simulando la secuencia de un lahar.



emanaciones gaseosas, los lahares y las erupciones hidromagmáticas; entendidos todos ellos como peligros volcánicos y dando relevancia a la diferencia entre peligro y riesgo. Todos ellos se desarrollan mediante prácticas diferenciadas amoldables al criterio del docente. Así pues, contribuyen a divulgar los principales peligros volcánicos de una forma práctica, atractiva y coherente con el proceso geológico real.

## BIBLIOGRAFÍA

Anguita, F. (2013). Investigar un planeta. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.1, 195-207.

Bach, J., Brusi, D. y Domingo, M. (1988). Consideraciones en torno a la didáctica de los procesos geológicos. *Henares. Revista de Geología* 2, 213-221.

Brusi, D., Alfaro, P. y González, M. (2011). El cine de catástrofes naturales como recurso educativo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.2, 193-203.

Carbayo, A., Cuevas, J.V, Espino, G. y Muñoz, A. (2011). Curso de Ciencia Recreativa para Enseñanza Secundaria. Área de Química Inorgánica – Departamento de Química – Facultad de Ciencias – Universidad de Burgos. Experiencia 3.

De Asís, F. (2010). Analogías utilizadas habitualmente en la enseñanza de química básica en la ESO. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 64, 86 – 98.

Del Carmen, L., Pedrinaci, E., Cañas, A y Fernández, M. (2008). Ciencias de la naturaleza. 2 ESO. Naturalia. *Proyecto SM Secundaria*. 133 p.

Justi, R. (2001). Las concepciones de “modelo” de los alumnos, la construcción de modelos y el aprendizaje de las ciencias. Una relación compleja y central en la enseñanza de las ciencias, en CAAMAÑO, A. (coord.): *Didáctica de la física y la química, Barcelona*. Graó.

López-Ruiz, J. y Cebriá, J.M. (2015). Volcanismo y tectónica de Placas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23.1, 12-23.

Martí, J., Pujadas, A., Ferrés, D., Planagumà, Ll. y Mallerach, J.M. (2012). El vulcanismo: Guía de campo de la Zona Volcánica de la Garrotxa. *Parque natural de la Zona Volcánica de la Garrotxa*.

Prácticas docentes en la Facultad de Ciencias (2012). Experimentos con CO<sub>2</sub>. *Universidad de Granada*.

Sensey, G., Tiberghien, A., Santini, J. y Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling: Cases studies and implications for science teaching. *Science Education*, 92, 424 – 446. ■

*Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 3 de septiembre de 2014 y aceptado definitivamente para su publicación el 16 de febrero de 2015.*