

La lava erupciona de una fisura en el volcán
Kilauea de Hawái en junio de 2018.

VOLCANES

Terror desde abajo

Por Brian Rohrig

Pocas cosas en la naturaleza pueden igualar la fuerza bruta de una erupción volcánica. El 1816 es conocido como el “año sin verano” debido a la erupción del monte Tambora en Indonesia. Su erupción el año anterior emitió cantidades prodigiosas de dióxido de azufre (SO_2) a la atmósfera, lo que estimuló la formación de nubes y provocó el enfriamiento global. En 1883, otro volcán indonesio, el Krakatoa, erupcionó con tal fuerza que se podía escuchar a 4,800 km (3,000 millas) de distancia. Eso sería como encender un espectáculo de fuegos artificiales en Boston que se podría escuchar en Los Ángeles.

En un recordatorio mucho más reciente del poder de los volcanes, Kilauea en la Isla Grande de Hawái erupcionó explosivamente en el 2018, disparando lava a 90 metros (300 pies) en el aire en una fuente peligrosa tan alta como la Estatua de la Libertad. Los ríos de lava se derramaron por la ladera del volcán y destruyeron cientos de hogares. Cuando la lava entró en el lago de agua dulce más grande de Hawái, el agua se evaporó por completo en cuestión de horas. En diciembre de 2020, Kilauea erupcionó de nuevo.

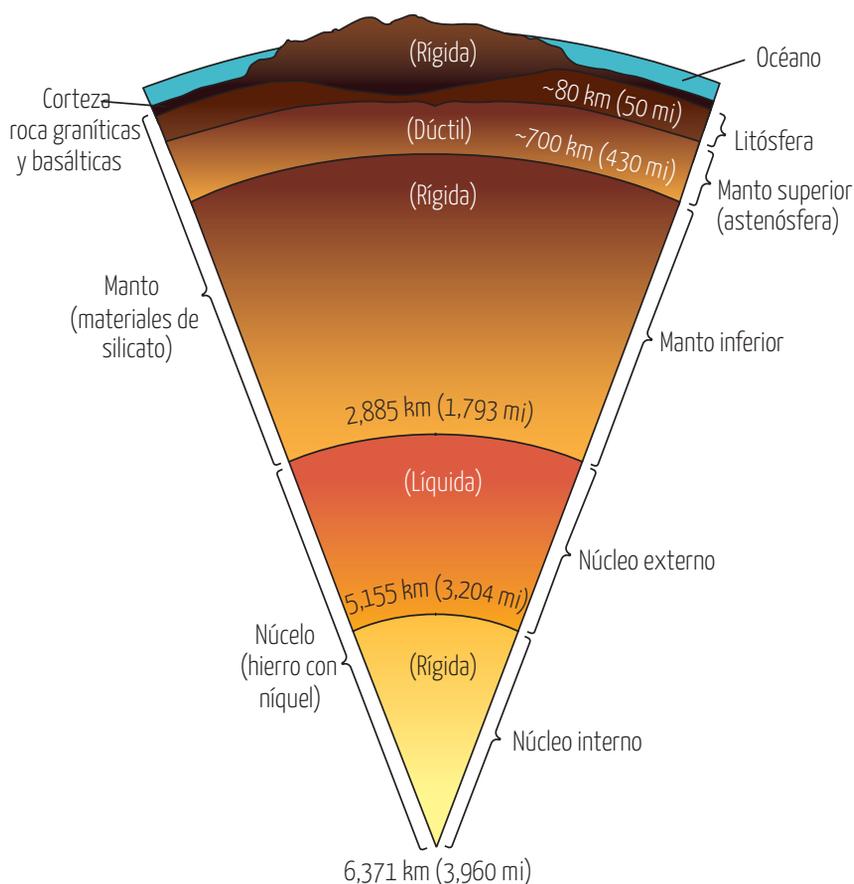


Cómo se desvaneció todo un lago

En una impresionante demostración de cómo los volcanes pueden alterar dramáticamente los paisajes, la erupción de Kilauea en el 2018 consumió el lago de agua dulce más grande de Hawái. **Vea si puede calcular cuánta energía se necesitó para vaciar la cuenca de toda su agua.**

Para llegar a una estimación, hagamos las siguientes suposiciones: 1) el lago está inicialmente lleno y tiene forma hemisférica; y 2) su punto más profundo está a **30.5 metros** (unos 100 pies) por debajo de la superficie. Eso nos da un volumen de agua de aproximadamente **59,400 m³**. Supongamos ahora también que la temperatura inicial del lago es de **18°C** (64°F) y que el agua del lago tiene la misma densidad, capacidad calorífica específica (**4.184 J/g°C**) y calor de vaporización (**40.6 kJ/mol**) como agua pura. ¿Cuánta energía se necesitó para hervir toda el agua del lago?

Capas de la Tierra



RS GRAPHX, INC.

Las capas de la Tierra incluyen el núcleo interno y externo, el manto inferior y superior, y la litósfera. Las medidas indican qué tan lejos está el límite inferior de cada capa de la superficie.



USGS HAWAIIAN VOLCANO OBSERVATORY

Una geóloga usa una cámara térmica para tomar la temperatura de una grieta en el suelo cerca de Kilauea. El monitoreo de los cambios en la temperatura, los gases y la química de la tefra cerca de los volcanes ayuda a los científicos a evaluar los peligros.

La erupción del Krakatoa de 1883 fue una de las más mortíferas de la historia moderna. Se estima que más de 36,000 personas murieron debido al evento. Sin embargo, una mejor vigilancia y comprensión de los volcanes ha salvado miles de vidas en los últimos años.

El terrorífico misterio de cómo se forman los volcanes se reduce al examinar la tierra justo debajo de nuestros pies.

¿De qué está hecha la Tierra?

En un día normal para la mayoría de las personas, las erupciones volcánicas no están en el primer plano de la vida diaria. La capa exterior de la Tierra, o **litósfera**, está formada por la **corteza** sólida y la parte superior frágil del **manto**. Es tranquilizadamente estable—en su mayor parte. Por debajo de la litósfera está la **astenosfera**, una capa dúctil del manto superior.

Debajo de la astenosfera se encuentra el resto del manto, y debajo de él está el núcleo denso, que se piensa que está compuesto principalmente de hierro y níquel. Hasta donde sabemos, el núcleo exterior está compuesto principalmente de hierro líquido y níquel. El núcleo interior es en gran parte de hierro sólido.

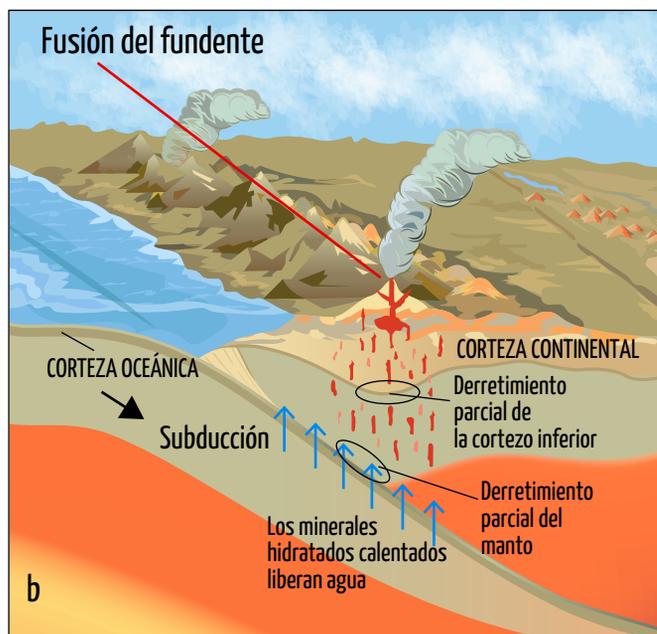
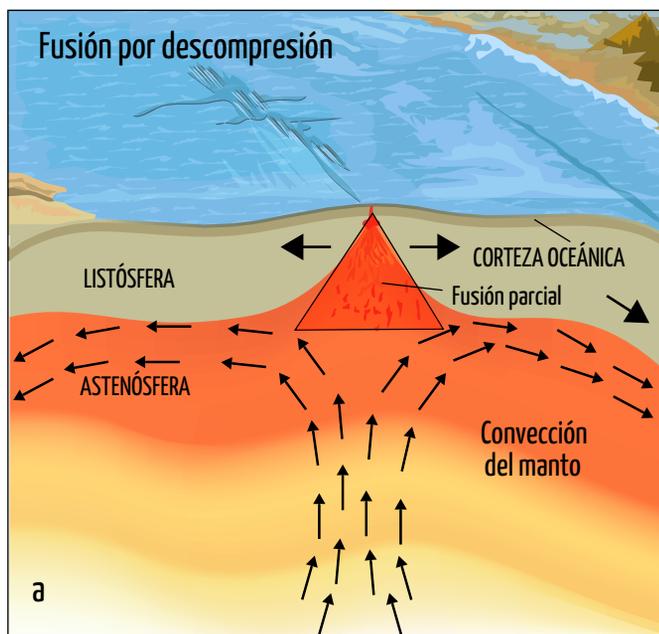
Por lo tanto, podrías suponer que el magma se origina en el núcleo externo—ya es líquido. Pero la composición química del magma cuenta una historia diferente. Está hecho principalmente de rocas de silicato fundidas. Los silicatos son minerales formados a partir de unidades base que contienen átomos de silicio unidos a cuatro átomos de oxígeno, que luego se acumulan en diferentes maneras. Estos anillos y láminas de silicato tienen cargas negativas, lo que permite que los iones cargados positivamente se combinen con los tetraedros de sílice para formar minerales. Este es el tipo de roca que se encuentra en el manto sólido. Esta pista sobre el origen del magma plantea la pregunta: ¿Cómo se licua una capa sólida de roca de silicato?

Si hay algo que hemos aprendido acerca de convertir sólidos en líquidos, es que agregar calor puede ser el truco. Y en circunstancias cotidianas que observamos, digamos en un laboratorio de aula, calentar un sólido, como el hielo, hará que se derrita. Sin embargo, las circunstancias en el interior de nuestro planeta no son lo que la mayoría de nosotros consideramos normales.

Las estimaciones de temperatura del manto oscilan entre 1,000 °C en el manto superior cerca de la corteza y 4,000 °C cerca del núcleo. Las temperaturas superiores a 1,500 °C son lo suficientemente altas como para derretir la roca del manto, pero hay una trampa. La intensa presión dentro del manto evita que las moléculas entren en un estado líquido de flujo libre. En cambio, se asientan en una fase dúctil cuasi-sólida, lo que significa que las rocas pueden fluir en respuesta a la deformación como "Silly Putty" o "masilla tonta" (una sustancia moldeable a base de polímeros de silicona), aunque obviamente son mucho más duras.

Debido a que el manto inferior está más caliente que el manto superior, se produce la convección. La convección ocurre cuando un material se calienta, volviéndose menos denso y sube por de otra

Cómo se Derriten las Rocas



- ⚡ La fusión por descompresión (a) ocurre cuando una disminución de la presión sobre la roca del manto causa la fusión—por ejemplo, cuando las placas divergen. La fusión del fundente (b) ocurre cuando los minerales hidratados liberan agua en el manto superior, bajando la temperatura de fusión de la roca circundante.

sustancia. Pero a medida que sube, comienza a enfriarse y se vuelve más denso. Luego se hunde. Este mismo fenómeno es lo que causa que las gotas de líquido en una lámpara de lava suban y bajen.

Sin embargo, a diferencia de una lámpara de lava, la convección en el manto ocurre a un ritmo glacial—los geólogos estiman que el material en el manto solo se mueve unos pocos centímetros por año. Aun así, se cree que la convección del manto es responsable de romper la litósfera (la corteza y la parte superior del manto) en grandes placas.

Es importante comprender esta dinámica lenta porque surgen todo tipo de problemas en los límites donde las placas se encuentran. También es lo que contribuye a la formación de magma.

La fabricación de magma

Hasta ahora, todavía no hemos visto cómo las rocas del manto pueden fundirse en magma. Las investigaciones sobre la composición química del magma y otros datos sugieren que el magma se forma en el manto superior a una profundidad máxima de unos 200 km, donde las temperaturas pueden alcanzar los 1,800 °C. Sin embargo, a esta profundidad, el “solidus” de peridotita, el tipo de roca dominante en el manto superior es de 2,000 °C. El “solidus” es la temperatura a la que la roca comienza a derretirse.

Entonces, ¿cómo se forma el magma? Hay al menos un par de condiciones que pueden cambiar y hacer que la roca se derrita en el manto superior. Echemos un vistazo a un par

de situaciones para ver cómo es posible.

En el primer escenario, imagine dos de las placas tectónicas de la Tierra separándose lentamente. Esta divergencia disminuye la presión sobre la roca subyacente, bajando el punto de fusión de la roca. A medida que se mueve hacia arriba a través del manto en una corriente de convección. Cuando los sólidos se derriten debido a una disminución de la presión, esto es llamado **fusión por descompresión**.

En un escenario diferente, cuando las placas tectónicas convergen en lugar de separarse, las rocas se derretirán debido a otro cambio de condición. Una placa se desliza debajo de otra en un proceso conocido como **subducción**. A medida que la corteza fría de una placa se desplaza hacia las temperaturas más altas del manto superior, se libera agua de **minerales hidratados**, como la serpentina, que es un 13% de agua en peso. La introducción de esta agua en el manto crea un efecto interesante—baja la temperatura de fusión de la roca. Como una impureza, el agua añadida a un cristal a alta temperatura y presión, baja su punto de fusión. La naturaleza polar del agua causa que los enlaces se debiliten en la roca sólida, haciéndola menos rígida. Dado que la roca está muy caliente, hay mucho calor disponible para derretirla, convirtiendo la roca en

roca líquida que fluye libremente. Este proceso se llama **fusión del fundente**.

¿Explotará?

Ahora que hemos derretido la roca, ¿qué sigue?

A medida que el magma se mueve hacia arriba, hacia la superficie (recuerde nuestra comparación con la lámpara de lava), la presión sobre la roca fundida disminuye. Menos



- ⚡ A medida que disminuye la presión sobre las rocas en el manto, debido a las placas tectónicas separándose o a las rocas subiendo hacia la superficie, las condiciones de presión y temperatura favorecerán el derretimiento de las rocas.

presión permite que los gases disueltos dentro del magma se expandan, de manera similar a como se forman las burbujas cuando destapas una botella de refresco. A medida que los gases se expanden dentro del magma, se vuelve aún menos denso y, por lo tanto, más flotante, lo que acelera su ascenso a la superficie.

Los gases son principalmente vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y dióxido de azufre (SO₂), que tiene un fuerte olor irritante, como ese de un fósforo encendido. El sulfuro de hidrógeno (H₂S), que tiene un olor característico a huevo podrido, a menudo se produce en cantidades más pequeñas.

Sin embargo, para que se forme un volcán, debe haber algún tipo de fisura o ruptura en la superficie de la corteza terrestre para dejar salir el magma y los gases, razón por la cual normalmente se ven volcanes en los límites de las placas. Una vez que el magma sale a la superficie, se llama lava.

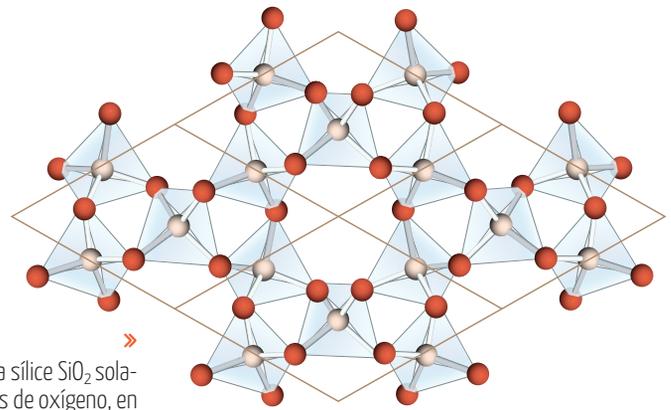
Los gases pueden jugar un papel importante en la erupción de un volcán. Si la presión del gas se acumula dentro del magma, puede resultar en una explosión. Esto sucede cuando el magma es muy viscoso.

La viscosidad del magma depende en gran medida de un par de factores: temperatura y composición. Las temperaturas más frías y un mayor contenido de dióxido de silicio (SiO₂) hacen que el magma sea más viscoso. El SiO₂, también llamado sílice, forma una estructura cristalina fuerte conocida como un sólido covalente de red, en el que las moléculas de sílice se unen covalentemente entre sí. Los gases tienen dificultades para escapar de este tipo de estructura.

Es más probable que las erupciones explosivas expulsen materia sólida, conocida como **tefra**, al aire, que puede variar desde cenizas finas hasta rocas gigantes. La piedra pómez—roca volcánica porosa que flota—se forma durante una erupción explosiva. Los agujeros se crean cuando los gases escapan de la roca sobrecalentada y dejan poros a medida que la roca se enfría rápidamente, como los agujeros que se forman cuando el gas CO₂ escapa de una hogaza de pan elevándose en el horno.

Si se expulsan rápidamente grandes cantidades de material sólido, puede producirse un flujo piroclástico, en el que el material sólido, mezclado con gases calientes, se mueve como una avalancha por la ladera del volcán. Estos flujos pueden alcanzar velocidades de más de 80 km/h (50 mph), destruyendo todo a su paso. Han ocurrido muchas más muertes por los flujos piroclásticos que por los flujos de lava. Las 57 muertes de la erupción del monte Santa Elena en Washington en 1980—la erupción volcánica más mortífera en la historia de Estados Unidos—se debieron principalmente a la asfixia por el flujo piroclástico de cenizas.

Una Red Sólida



» Aunque la fórmula de la sílice SiO₂ solamente incluye dos átomos de oxígeno, en una red sólida covalente, cada átomo de silicio está en realidad unido a cuatro átomos de oxígeno y forma un arreglo tetraédrico.

● = Oxígeno (O)

● = Silicio (Si)

RS GRAPHX, INC.

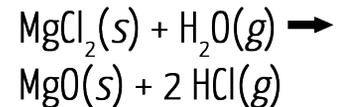
El volcán Kilauea en Hawái ha erupcionado tanto de forma explosiva como no explosiva en el pasado, entrando recientemente en una fase no explosiva o **efusiva**. Las erupciones efusivas son caracterizadas por continuos flujos de lava, que pueden ser bastante espectaculares de presenciar. En un momento, la lava se derramaba a una velocidad de casi 100,000 litros por segundo. Se informó que su velocidad máxima era de alrededor de 27 km/h (17 mph), lo que no suena muy rápido, pero a menos que seas el atleta olímpico Usain Bolt, no podrías dejarlo atrás.

Si buscas fotos de la erupción del Kilauea en el 2018 o las recuerdas, verás imágenes impactantes de lava ardiente explotando desde el cráter del volcán y fluyendo por sus lados. Se puede estimar aproximadamente la temperatura de la lava a partir de su color, debido a la **incandescencia**, que es la emisión de luz visible de los objetos calientes. Cualquier objeto emitirá luz visible si se calienta a una temperatura lo suficientemente alta. La lava más caliente es de color amarillo, entre 1,000 y 1,200 °C. La lava que hirvió en el Lago Verde de Hawái fue un “tostado” de 1,170 °C. El naranja es más frío, mientras que el rojo es el más frío, con una temperatura de 600 a 800 °C.

El calor mortal no es el único producto peligroso de un volcán. Cuando la lava de Kilauea llegó al océano, creó otro peligro, produciendo una niebla tóxica apodada “laze”, abreviatura de neblina de lava. La neblina cáustica puede causar dificultad para respirar e irritar los ojos y la piel.

El “laze” se forma cuando la lava súper caliente se vierte en el agua de mar, hirviéndola hasta que se seque, produciendo vapor y finos trozos de vidrio volcánico. También se forman partículas de sales sólidas. Las sales son principalmente NaCl, pero el MgCl₂, menos

abundante, reacciona fácilmente con el vapor caliente para formar HCl.



Hoy en día, debido a que tenemos una mejor comprensión de la ciencia detrás de las erupciones, los científicos pueden predecir cuándo ocurrirán al monitorear los terremotos y las liberaciones de gases volcánicos. Los residentes cerca de los volcanes a menudo pueden ser evacuados antes de que ocurra una erupción. La previsión no puede salvar hogares, pero ha salvado decenas de miles de vidas.

Las erupciones volcánicas no son tan raras como podrías pensar, con unas 20 erupciones que ocurren en un día determinado. Con toda probabilidad, en este mismo momento un volcán está erupcionando en algún lugar del mundo.

Brian Rohrig es profesor de química con sede en Columbus, Ohio..

REFERENCIAS

- Ruth, C. Desahogarse. *ChemMatters*, abril de 2009: http://wychem.scienceontheweb.net/ChemCD/ChemMatters/2009_4/letting_off_steam.pdf [consultado en diciembre de 2020].
- Informe del estudio de consenso. Erupciones volcánicas y sus Reposo, disturbios, precursores y sincronización. Prensa de las Academias Nacionales: Washington, D.C., 2017: <https://www.nap.edu/catalog/24650/volcanic-eruptions-and-their-repose-unrest-precursors-and-timing> [consultado en diciembre de 2020].
- Nelson, S.A. Universidad de Tulane. Volcanes, Magma y Erupciones volcánicas, 14 de septiembre de 2015: http://www.tulane.edu/~sanelson/Natural_Disasters/volcan&magma.htm [consultado en diciembre de 2020].

Respuesta a la pregunta de la p. 11: 1.55 x 10¹⁴ J