



ESPECIAL

Volcanes

SCIENTIFIC
AMERICAN

INVESTIGACIÓN
Y CIENCIA

ESPECIAL Volcanes

CONTENIDO



Una selección de nuestros mejores artículos para ahondar en la ciencia de los **volcanes**.

Supervolcanes

Ilya N. Bindeman
Investigación y Ciencia, agosto 2006

Prevención de las catástrofes volcánicas

Vicente Araña
Investigación y Ciencia, agosto 1999

Origen del fondo submarino

Peter B. Kelemen
Investigación y Ciencia, mayo 2009

Túneles de lava

Michael Detay y Björn Hróarsson
Investigación y Ciencia, septiembre 2011

Hundimiento de los volcanes

Peter Francis y Stephen Self
Investigación y Ciencia, agosto 1987

Futuro del Etna

Tom Pfeiffer
Investigación y Ciencia, junio 2003

Una erupción volcánica

Vincent Courtillot
Investigación y Ciencia, diciembre 1990

Volcanes en Santa Pau

Xavier Aurell Bach
Investigación y Ciencia, abril 2010

Apocalipsis en el valle del Rin

Cornelia Park y H.-Ulrich Schmincke
Investigación y Ciencia, enero 2010

EDITA

Prensa Científica, S.A.
Muntaner, 339 pral. 1ª, 08021 Barcelona (España)
precisa@investigacionyciencia.es
www.investigacionyciencia.es

Copyright © Prensa Científica, S.A. y Scientific American, una división de Nature America, Inc.

ESPECIAL n.º 7 ISSN: 2385-5657

En portada: Thinkstock/Julien Grondin | Imagen superior: Wikimedia Commons/ CC BY-SA 3.0

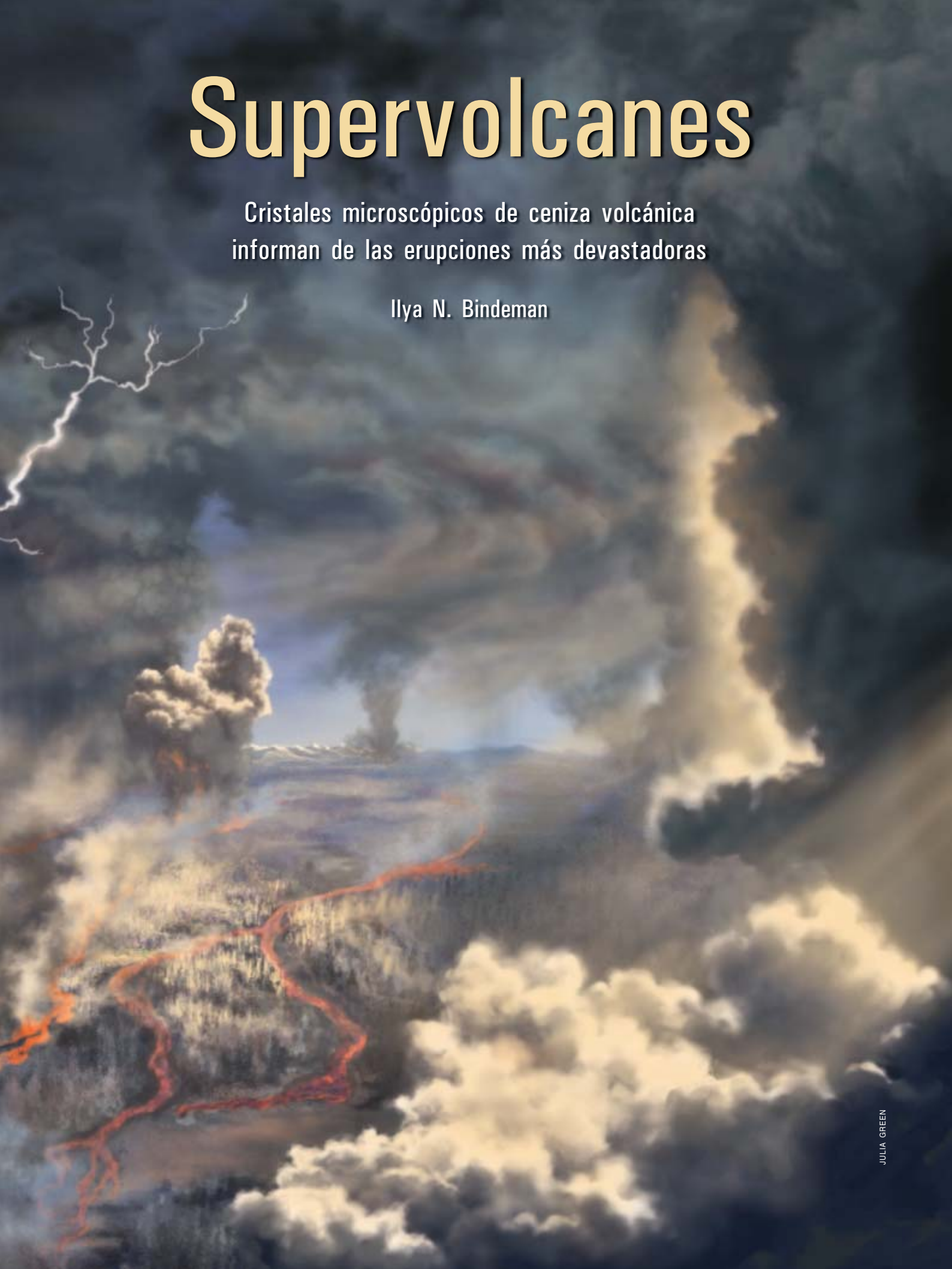


1. ANILLO DE FUEGO: Bocas del tamaño de una montaña que explotan a lo largo del borde exterior de un supervolcán activo esconden el paisaje con nubes ardientes de gas caliente y ceniza.

Supervolcanes

Cristales microscópicos de ceniza volcánica
informan de las erupciones más devastadoras

Ilya N. Bindeman



Bajo la superficie de California y Wyoming acechan dos volcanes en hibernación de una furia inimaginable. En caso de entrar en erupción, cubrirían el oeste de los Estados Unidos con varios centímetros de ceniza en cuestión de horas. Entre uno y otro, lo han hecho ya como mínimo cuatro veces en los últimos dos millones de años. Supervolcanes parecidos arden bajo Indonesia y Nueva Zelanda.

Una erupción supervolcánica equivale a la fuerza devastadora de un asteroide que chocase contra la Tierra, pero ocurre diez veces más a menudo. Es uno de los desastres naturales más aniquiladores que la humanidad pueda sufrir. Aparte de la inmediata destrucción que causarían las incandescentes emanaciones de ceniza, los supervolcanes activos expulsan gases que alterarían el clima mundial durante años.

Se buscan las causas que llevan a estos gigantes a entrar en erupción. La ciencia se propone predecir cuándo explotarán de nuevo y determinar qué repercusiones tendría su erupción. Recientes análisis de cristales microscópicos de depósitos de ceniza de antiguas erupciones han apuntado algunas respuestas. Súmese el progreso de técnicas que permiten vigilar los lugares de riesgo y avalan la posibilidad de discernir señales de alerta antes de una gran erupción. Los trabajos en marcha dan, sin embargo, a entender que las emisiones del supervolcán provocarían, durante los meses posteriores, reacciones químicas de la atmósfera más peligrosas de lo que se había sospechado hasta el momento.

Casi todos los vulcanólogos coinciden en que es sumamente improbable

que quienes hoy vivimos en la Tierra conozcamos un supervolcán activo. Las erupciones catastróficas suelen estar separadas por cientos de miles de años. A pesar de ello, la dimensión y los efectos globales de estos episodios vienen atrayendo el interés desde los años cincuenta.

El asombro inicial

Uno de los primeros descubrimientos de la geología fue el de la existencia de enormes valles circulares —de entre 30 y 60 kilómetros de diámetro y varios kilómetros de profundidad— que se parecían mucho a las cóncavas calderas que coronan los volcanes más conocidos del mundo. Las calderas se forman cuando las cámaras de roca fundida o magma que yacen bajo un canal de erupción se vacían y su techo se derrumba. Los primeros investigadores, al observar que estos valles con forma de caldera se hallan cerca de algunos de los mayores depósitos de rocas volcánicas emitidos por una sola erupción, comprendieron que eran las reliquias de volcanes cientos o miles de veces mayores que el famoso monte Helena, del estado de Washington. A partir del extraordinario tamaño de las calderas y del enorme volumen de material expulsado, se llegó a la conclusión de que las cámaras de magma correspondientes tenían que ser monstruosas.

No abundan los grosores de corteza continental y las fuentes de calor necesarias para crear cámaras de magma de tal calibre; los supervolcanes no son corrientes. En los últimos dos millones de años, se han emitido más de 750 kilómetros cúbicos de magma de una sola vez en sólo cuatro regiones: el Parque Nacional de Yellowstone, en Wyoming,

el Long Valley de California, Toba, en Sumatra, y Taupo, en Nueva Zelanda. La búsqueda de otras grandes erupciones continúa en regiones de potente corteza continental, como el oeste de Sudamérica y la parte más oriental de Rusia.

A mediados de los setenta, se descubrieron algunas de las formas en que se pueden originar las cámaras y convertirse en un peligro. Bajo la superficie de Yellowstone, la placa tectónica de Norteamérica se mueve sobre un penacho de roca viscosa, y muy caliente, que asciende desde el manto, capa del interior de la Tierra de 2900 kilómetros de espesor atrapada entre el núcleo fundido y la corteza, delgada en comparación con aquél. Ese “punto caliente” funciona como un mechero Bunsen colosal: ha fundido tanta corteza suprayacente como para alimentar erupciones catastróficas a lo largo de los últimos 16 millones de años. En Toba, el origen de la cámara es distinto. Esta región descansa sobre una zona de subducción, o sector donde una placa tectónica se desliza bajo otra. Esa convergencia calienta una vasta extensión, sobre todo por la fusión parcial del manto que se encuentra sobre la placa que se hunde.

Sea cual sea la fuente de calor, la presión en las cámaras de magma crece, en el transcurso del tiempo, a medida que se acumula más magma bajo el peso imponente de la roca situada encima. Una supererupción acontece una vez que el magma presurizado levanta lo suficiente la corteza que tiene encima para crear fracturas verticales que lleguen hasta la superficie de la Tierra. El magma asciende por cada una de esas nuevas fracturas; se forma así un anillo de bocas volcánicas. Cuando las bocas se unen, el gran cilindro de roca rodeado por el anillo no tiene nada que lo soporte. El “techo” de roca sólida se desploma sobre el magma remanente, como lo haría el techo de una casa al retirar las paredes. Este derrumbe expulsa violentamente más lava y gases por el anillo.

La huella de las erupciones

Seguían abiertos otros interrogantes. Muy pronto se vio que no toda cámara de magma debía promover erupciones catastróficas. En Yellowstone, por ejemplo, se encuentran tres de

Resumen/Poderosas erupciones

- Análisis recientes de la composición de cristales minúsculos, insertos en los depósitos de ceniza procedentes de erupciones prehistóricas, ponen en cuestión los supuestos admitidos sobre el comportamiento de los supervolcanes y sus repercusiones.
- Según el curso que tomen los procesos internos de las cámaras de magma que alimentan a los supervolcanes, así será el carácter de futuras erupciones.
- El invierno volcánico que sufriría el planeta tras una supererupción sería probablemente más corto de lo que se pensaba; en cambio, las reacciones químicas de la atmósfera quizá resultarían mucho más peligrosas.

GRANDE, MAYOR, MAXIMO

Los supervolcanes (*naranja y azul*) extienden cenizas mucho más lejos que los mayores volcanes “normales” (*amarillo y*

púrpura); con sus enormes cámaras de magma, expulsan muchísimo más material.



las calderas de supervolcanes más jóvenes del planeta. Se formaron hace 2,1 millones de años, 1,3 millones de años y 640.000 años, más o menos superpuestas. En los períodos entre estas explosiones la cámara subyacente liberó un volumen de magma parecido al de las supererupciones, con mayor tranquilidad, no obstante. Ignoramos por qué algunas veces el magma asciende lentamente hasta la superficie.

La composición de los minúsculos cristales atrapados en la lava y la ceniza de Yellowstone ha aportado una respuesta parcial, con una nueva perspectiva de la formación del magma. Se había estado dando por supuesto que el magma se asentaba durante millones de años en una piscina de roca licuada y que, cada vez que parte de ese material ascendía hasta la superficie, ocupaba su lugar un nuevo material ascendente que llenaba la cámara. Si esta teoría hubiera sido correcta, se podrían esperar muchas más erupciones catastróficas, ya que es térmica y mecánicamente imposible que se mantengan en la corteza masas tan enormes de magma sin que se vacíen a menudo.

La vieja concepción se basaba en buena medida en análisis “de roca entera”, con los que se obtenía un conjunto de medidas químicas por cada pieza, del tamaño de un puño, de roca volcánica que se reunía. Sobre tales datos se basaban las con-

clusiones generales que se extraían en torno a la evolución del magma. Resultaban insuficientes, sin embargo, para determinar la edad del magma emitido y su profundidad de origen.

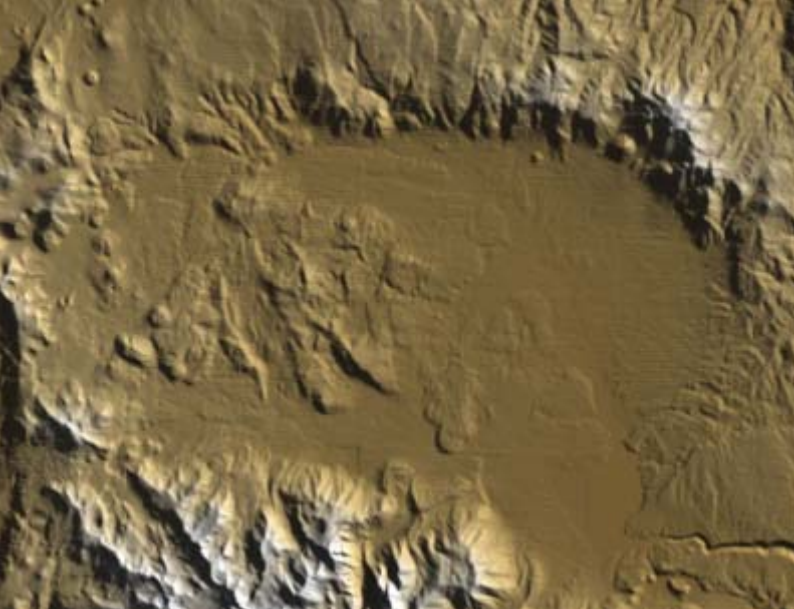
Cada fragmento de roca está constituido por miles de diminutos cristales, cada uno con su historia, edad y composición. A finales de los años ochenta, el refinamiento de la técnica permitió analizar cristales individuales con cierta precisión. Se empezó así a constatar que algunos cristales —y los magmas donde se originaron— ascendieron antes que otros y que unos se formaron a gran profundidad y otros cerca de la superficie.

A lo largo de los últimos diez años, la atención se ha centrado en un tipo de cristal volcánico especialmente duradero, el circón. Teniendo en cuenta que los circones pueden soportar cambios extremos de temperatura y presión sin ver comprometida su composición original, un grupo de investigadores —entre ellos John W. Valley, de la Universidad de Wisconsin-Madison— han empleado para estudiar la evolución de la corteza primigenia [véase “Una Tierra primigenia fría”, de John W. Valley; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre 2005]. Cuando me incorporé al equipo de Valley en 1998, empleábamos circones de Yellowstone para dibujar la historia de su magma progenitor,

lo que a su vez proporcionó importantes indicios del comportamiento futuro del volcán.

El primer paso fue medir las proporciones de los isótopos del oxígeno en los circones de la supererupción más reciente de Yellowstone —cuando estalló hace 640.000 años emitió la toba de Lava Creek, un depósito fósil de ceniza que en algunos lugares alcanza los 400 metros de espesor—, así como depósitos más jóvenes emitidos desde entonces por erupciones más tranquilas. Al término de mis análisis iniciales, a Valley y a mí nos sorprendió que la composición del oxígeno de los circones no se correspondiese con la profundidad y la temperatura del manto, tal y como se esperaba si las cámaras vaciadas se hubieran rellenado desde abajo. Los circones originados en magmas derivados del manto hubieran tenido su propia signatura: a medida que los elementos disueltos en los magmas se reúnen para formar un circón, el cristal adquiere una proporción elevada de oxígeno 18, un isótopo pesado de oxígeno que tiene diez neutrones en su núcleo, en vez de los ocho habituales.

Valley y yo nos percatamos enseguida de que el magma debió de originarse en la vecindad de la superficie de la Tierra. Los circones que estudiamos eran, en comparación con el manto, muy pobres en oxígeno 18. Ese empobrecimiento se da sólo si



2. LOS SUPERVOLCANES DORMIDOS, así el de Long Valley en California (*izquierda*), no son montañas en forma de cono que saltan a la vista, como el monte Santa Helena, en el estado de Washington (*arriba*). Conocemos su existencia por las enormes calderas, depresiones de la superficie terrestre que se formaron al hundirse el terreno sobre las cámaras de magma que alimentaron las supererupciones recientes.

los cristales se forman de rocas que han interactuado con la lluvia o la nieve. Intuimos, pues, que el techo de roca que se derrumbó en una de las supererupciones más antiguas de Yellowstone debió de constituir, al fundirse, la imponente acumulación de magma que se expulsaría luego, durante la catástrofe más reciente de Lava Creek y las emanaciones menores acontecidas desde entonces. La hipótesis ganó consistencia cuando supimos que las edades de los circones procedentes de las erupciones posteriores a Lava Creek abarcaban dos millones de años de vulcanismo en Yellowstone. Estos viejos circones sólo podían encontrarse en la ceniza más joven si se originaron en el material emitido durante las erupciones más antiguas, se hundieron en la cámara de magma y volvieron a fundirse para alimentar las erupciones recientes.

Gracias a nuestros hallazgos se pueden ya avanzar algunas predicciones sobre el futuro comportamiento del supervolcán de Yellowstone y, quizá, de algún otro. Si se iniciara un nuevo período de pequeñas erupciones precursoras en Yellowstone —suele ocurrir entre semanas y cientos de años antes de la explosión catastrófica—, sabríamos, a partir del análisis del oxígeno de las lavas y las edades de sus circones, cuál era el tipo de magma más abundante de la cámara subyacente. Si la erupción siguiente fuese pobre en oxígeno 18, la lava provendría, a buen seguro, de los restos estancados del magma original, que se parecería hoy más a una espesa papilla de cristal que a un líquido explosivo.

Y si la nueva lava llevase la señal distintiva del magma original del manto y no contuviera circones antiguos, procedería, con elevada probabilidad, de un gran volumen de magma nuevo que habría rellenado la cámara subyacente. Significaría que habría empezado un nuevo ciclo de vulcanismo y que la renovada cámara de magma podría explotar de manera catastrófica.

Repercusiones inmediatas

Los cristalitos y sus signaturas isotópicas han revelado otras sorpresas —buenas y malas— sobre el período subsiguiente a las supererupciones. Uno de los ejemplos mejor estudiados de las repercusiones de una supererupción es la toba de Bishop, una capa de entre diez y varios centenares de metros de espesor que aflora a la superficie de la meseta volcánica del este de California, enorme depósito que representa el último residuo de los 750 kilómetros cúbicos de magma que se calcula fueron expulsados durante la formación de la caldera del supervolcán de Long Valley, hace unos 760.000 años.

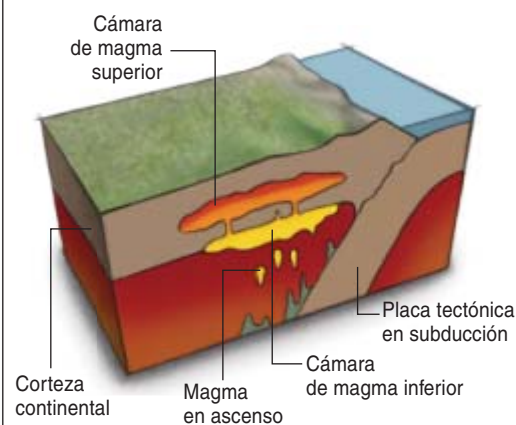
Durante décadas, muchos han dado por sentado que tuvo que ocurrir una serie de erupciones a lo largo de millones de años para que se produjera la toba de Bishop. Sin embargo, la investigación minuciosa de las burbujas microscópicas rellenas de magma y atrapadas en diminutos cristales de cuarzo nos lleva a conclusiones muy diferentes. La velocidad a la que el magma abandona la cámara depende de dos factores fundamentales: la viscosidad del magma —su capacidad de

fluir— y la diferencia de presión entre la cámara y la superficie terrestre. Debido a que la presión en una burbuja coincide con la de la cámara en la que se formó el magma, la burbuja actúa como una versión en miniatura de la propia cámara.

En vista de semejante correspondencia, Alfred Anderson, de la Universidad de Chicago, y su equipo estudiaron el tamaño de las burbujas con un microscopio para estimar

SUPERCICLOS

Las vastas cámaras de magma fundido que alimentan los supervolcanes se forman sobre puntos calientes (penachos de roca ascen-



1 La fusión parcial de la roca del manto sobre la placa de corteza oceánica que se hunde produce magma que asciende hacia la base de la corteza continental, donde se acumula. Esta cámara inferior de magma actúa como un mechero Bunsen gigante, que funde parte de la corteza continental, con un punto de fusión menor al de la roca subyacente. Parte del magma asciende por conductos verticales entre las dos cámaras.