

SUPERVOLCANES • ANILLOS NEGROS • SUDOKU

INVESTIGACION *y* CIENCIA

AGOSTO 2006
6,00 EUROS

Edición española
**SCIENTIFIC
AMERICAN**

BIOLOGIA SINTETICA



COMBATIR EL VIH

NUEVOS ANALGESICOS

**ENFERMEDADES
TRANSMITIDAS POR MOSQUITOS**

**CONTROL DE CALIDAD
DE LOS PROGRAMAS**





6

Supervolcanes

Ilya N. Bindeman

El análisis de cristales microscópicos de ceniza volcánica nos lleva al descubrimiento de las erupciones más devastadoras.

22

Historia de la genética en México

Ana Barahona

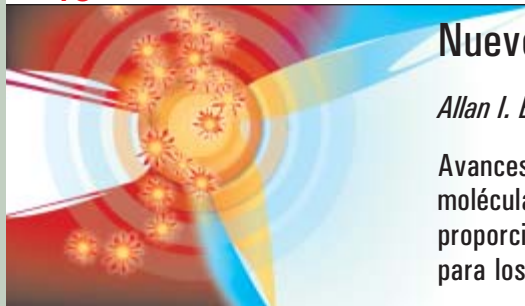
En la primera mitad del siglo XX, el mendelismo llegó a México a través de programas de mejora vegetal. En la segunda mitad, el creciente interés por los efectos de las radiaciones extendió la genética a la investigación biomédica.

40

Nuevos analgésicos

Allan I. Basbaum y David Julius

Avances en el conocimiento de las células y moléculas que transmiten las señales de dolor proporcionan nuevas dianas farmacológicas para los analgésicos.



48

Anillos negros

Roberto Emparan

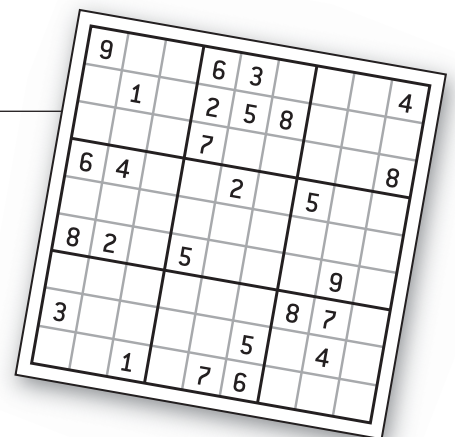
La teoría de un agujero negro anular nos permite pensar en propiedades insospechadas de universos con dimensiones ocultas.

54

Sudoku

Jean-Paul Delahaye

Este juego no requiere la aplicación de matemática alguna, ni siquiera de la mera aritmética. Sin embargo, encierra en sí interesantes problemas matemáticos.



3

HACE...

50, 100 y 150 años.

4

APUNTES

Etología...
Acústica...
Nanotecnía...
Astronáutica...
Biología...
Dinámica de fluidos.

30

CIENCIA Y SOCIEDAD

Agresión vírica...
Quema de pastizales...
de alta montaña...
Biodegradabilidad.

36

DE CERCA

Registro de un océano productivo.



38

DESARROLLO SOSTENIBLE

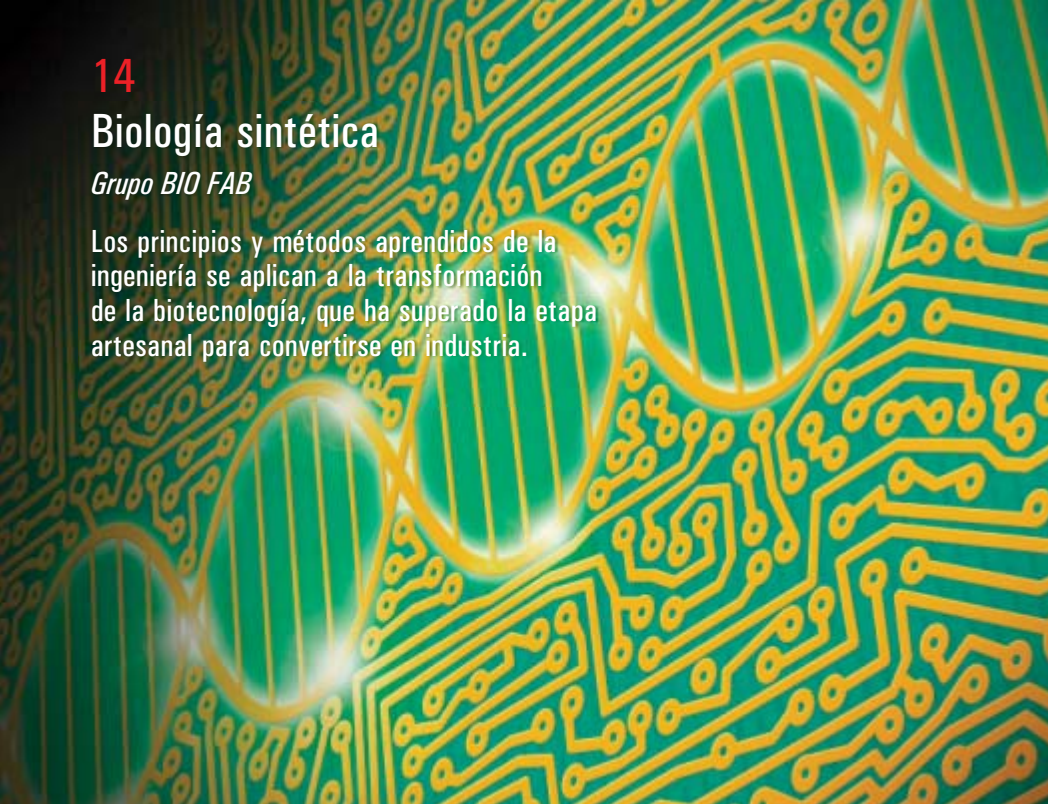
La nueva geopolítica.

14

Biología sintética

Grupo BIO FAB

Los principios y métodos aprendidos de la ingeniería se aplican a la transformación de la biotecnología, que ha superado la etapa artesanal para convertirse en industria.

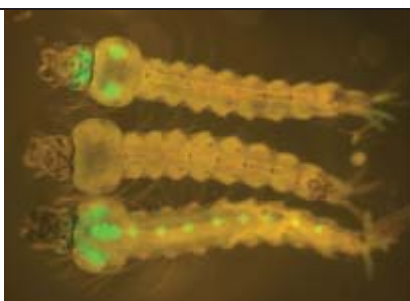


62

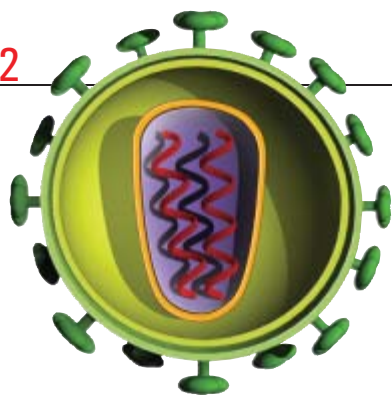
Enfermedades transmitidas por mosquitos

Fred Gould, Krisztian Magori y Yunxin Huang

Ciertos genes manipulados que bloquean la transmisión de la malaria y el dengue se transportan sobre ADN egoísta y se extienden por las poblaciones naturales.



72



Combatir el VIH

Gary Stix

La búsqueda constante de puntos débiles en el virus del sida constituye una fuente de ideas para una nueva clase de fármacos.

76

Control de calidad de los programas

Daniel Jackson

Los ordenadores se encargan del vuelo de los aviones comerciales, de los sistemas bancarios, de las comunicaciones, de las ventas al por menor y de muchos procesos fabriles. Poderosos instrumentos de verificación comprobarán la fiabilidad de los programas informáticos.

84

TALLER Y LABORATORIO

Levitador diamagnético, por Marc Boada



88

JUEGOS MATEMÁTICOS

Ganancia segura, por Juan M.R. Parrondo

90

IDEAS APLICADAS

Transmisión continuamente variable, por Mark Fischetti



92

LIBROS

Los físicos y su reino.



DIRECTOR GENERAL José M.^a Valderas Gallardo
DIRECTORA FINANCIERA Pilar Bronchal Garfella
EDICIONES Juan Pedro Campos Gómez
Laia Torres Casas

PRODUCCIÓN M.^a Cruz Iglesias Capón
Albert Marín Garau

SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado
Olga Blanco Romero

EDITA Prensa Científica, S.A. Muntaner, 339 pral. 1.^a
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344 Telefax 934 145 413
www.investigacionyciencia.es

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie
EXECUTIVE EDITOR Mariette DiChristina
MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting
NEWS EDITOR Philip M. Yam
SPECIAL PROJECTS EDITOR Gary Stix
SENIOR EDITOR Michelle Press
SENIOR WRITER W. Wayt Gibbs
EDITORS Mark Alpert, Steven Ashley,
Graham P. Collins, Steve Mirsky,
George Musser y Christine Soares

PRODUCTION EDITOR Richard Hunt
GENERAL MANAGER Michael Florek
VICE PRESIDENT AND MANAGING DIRECTOR, INTERNATIONAL
Dean Sanderson

PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER
Gretchen G. Teichgraber
CHAIRMAN John Sargent

DISTRIBUCION

para España:

LOGISTA, S. A.
Pol. Ind. Polvoranca
Trigo, 39, Edif. 2
28914 Leganés (Madrid)
Teléfono 914 819 800

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.^a
08021 Barcelona

PUBLICIDAD

Madrid:

MOSAICO COMUNICACION, S. L.
Santiago Villanueva Navarro
Tel. y fax 918 151 624
Móvil 661 472 250
mosaicocomunicacion@yahoo.es

Cataluña:

QUERALTO COMUNICACION
Julián Queraltó
Sant Antoni M.^a Claret, 281 4.º 3.^a
08041 Barcelona
Tel. y fax 933 524 532
Móvil 629 555 703

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Sònia Ambrós: *Supervolcanes*; Juan Manuel González Mañas: *Biología sintética*; Felipe Cortés: *Nuevos analgésicos, Enfermedades transmitidas por mosquitos*; Luis Bou: *Sudoku, Control de calidad de los programas*; J. Vilardell: *Combatir el VIH, Hacer..., Apuntes e Ideas aplicadas*; Marián Beltrán: *Desarrollo sostenible*; Ramón Muñoz Tapia: *Taller y laboratorio*



Portada: Kenn Brown

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.^a
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344
Fax 934 145 413

Precios de suscripción:

	Un año	Dos años
España	65,00 euro	120,00 euro
Resto del mundo	90,00 euro	170,00 euro

Ejemplares sueltos:

El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

Difusión controlada

Copyright © 2006 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 2006 Prensa Científica S.A. Muntaner, 339 pral. 1.^a 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 – 76

Imprime Rotocayfo-Quebecor, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - 08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

...cincuenta años

EL NEUTRINO DESCUBIERTO. «Una larga y emocionante aventura de la física ha terminado en triunfo. Se ha dado con el neutrino. Frederick Reines y Clyde L. Cowan, Jr., del Laboratorio Científico de Los Alamos, atraparon a la fantasmal partícula en el interior de una cámara subterránea cercana a la pila atómica del río Savannah. En el número de enero de *Scientific American*, Phillip Morrison comparaba el neutrino con el planeta Neptuno. El descubrimiento de éste fue un triunfo culminante de la física clásica: el movimiento de otros planetas demostraba que debía estar donde se halló. El neutrino corresponde a un logro similar de la física moderna; su descubrimiento constituye una vindicación de la ley de la conservación de la energía.»

...cien años

EL PUNTO MUERTO DE JAVA. «Hace algunos años, Eugène Dubois descubrió en la isla de Java unos huesos de un animal prehistórico, que podrían haber correspondido al eslabón perdido de la cadena ancestral que une al hombre con el mono. Julius Kollman es más bien de la opinión de que los antepasados directos del hombre no deben buscarse entre las especies de simios antropoideos de gran estatura y cráneo plano, sino mucho más atrás en la escala zoológica, entre los pequeños monos de cráneo puntiagudo. A partir de éstos cree que se desarrollaron las razas humanas pigmeas de las edades prehistóricas, de cráneo puntiagudo. Se explicaría así la persistencia con que la mitología y el folclore aluden a los pueblos pigmeos.»

JUEGO DE GUERRA EN EL ATLÁNTICO. «Hasta tal punto depende Britania del comercio ultramarino para abastecerse de alimentos, que en tiempo de guerra no habría medio más seguro para poner a ese orgulloso imperio de rodillas pidiendo la paz que capturar, destruir, o expulsar de alta mar su flota mercante. Las últimas maniobras navales se planearon con vistas a determinar la magnitud de este peligro. Aunque los cruceros rápidos de la "flota intrusa" causaron daños considerables al comercio del país, fueron ahuyentados de la ruta comercial elegida para el ataque. Afirman las autoridades navales que el comercio de Gran Bretaña no puede ser nunca tan absolutamente dañado que afecte de forma decisiva al resultado de una guerra.»

MORALEJA. «William S. Meade, de quien se dice que hizo una fortuna de 250.000 dólares merced a la invención de un proceso de conservación de la carne, murió hace poco, sin un céntimo, en una casa de huéspedes de

Nueva York. Tras hacerse con aquella fortuna, hallándose en la costa del Pacífico, trabó amistad con un anciano capitán de barco, quien afirmaba conocer el lugar donde yacía hundido un buque con un tesoro. A la muerte de éste, Meade heredó un paquete de mapas e instrucciones cifradas para localizar la embarcación. En la búsqueda de ésta Meade gastó toda su fortuna. A sus expensas, organizó tres expediciones. Dos de ellas acabaron en fracaso en las costas suramericanas; la tercera fue abandonada tras navegar, durante años, por las costas de Perú y Chile en busca del tesoro.»

FERVOR ALADO. «Algo que ha estimulado grandemente las investigaciones aeronáuticas ha sido la instauración del Gran Premio de la Aviación por el Aero Club de Francia. Acerca del nuevo aeroplano que los señores Bleriot y Voisin están construyendo en su establecimiento de los suburbios de París, ofrecemos aquí una imagen de la máquina (véase ilustración) durante su primer vuelo experimental sobre el lago de Enghien. Apenas se hizo un corto vuelo, pues se descubrió que eran necesarios algunos cambios. Quizás el más importante de todos los aparatos aeronáuticos franceses recientes sea el aeroplano de Santos-Dumont. La máquina ha sido bautizada "14bis"; se ha construido principalmente para competir por los 10.000 dólares del premio Deutsch-Archdeacon.»

...ciento cincuenta años

TRAMPA PARA CARTERISTAS. «Por su forma y tamaño, el artefacto parece por fuera un reloj de bolsillo. Dentro de la caja, hay una campanilla y un martillo de resorte, conectado éste a una leontina. Se espera que el ratero tire de ésta para hacerse con el reloj. Pero, en cambio, es el reloj el que se hace con el ladrón. El tirón hace sonar la campanilla de alarma, el dueño del reloj echa mano del bribón y el policía lleva a éste a la cárcel.»



El aeroplano de Bleriot, mostrado en Francia, 1906.

ETOLOGIA

Cuarentena submarina

Se sabía que las langostas caribeñas, animal por lo demás muy sociable, suelen quedar aisladas de sus congéneres cuando están infectadas con el virus letal y contagioso PaV1 y presentan un aspecto enfermizo. Para averiguar si la segregación era intencionada, se prepararon dos madrigueras contiguas en un tanque de agua marina, se sujetó una langosta sana a una y una langosta enferma a la otra, y se introducía repetidas veces una segunda langosta. Si ésta padecía ya la infección, se albergaba con la misma frecuencia con sus congéneres sanos o enfermos. Pero las langostas sanas sólo compartían la madriguera con la langosta enferma en una ocasión de cada cuatro —incluso antes de que las enfermas se tornaran contagiosas—, advertidas quizá por señales químicas. En el número de *Nature* del 25 de mayo escriben los autores del experimento que se trata de la primera vez que se observa una segregación de individuos enfermos entre animales salvajes sociales.

—J. R. Minkel



Para no contagiarse, las langostas se mantienen alejadas de sus congéneres enfermos.

ACUSTICA

Láseres de sonido

Los láseres son conocidísimos como punteros de luz coherente, pero su fundamento —la amplificación por emisión estimulada— funciona igualmente bien en ausencia de luz. Dos dispositivos acaban de probarlo. Uno de ellos, el *saser* (de *sound laser*), se compone de capas alternas de arseniuro de galio y arseniuro de aluminio que emiten y parcialmente atrapan en un sólido vibraciones sonoras (o fonones) que oscilan en la gama de los terahertz. Al aplicarle una diferencia de potencial eléctrico, se crea un chorro de fonones, que

reverberan y se multiplican; ese ultrasonido amplificado sale por un extremo. En el otro dispositivo, *uaser*, unos osciladores piezoeléctricos hacen vibrar un bloque de aluminio, que realimenta los osciladores y traba las vibraciones dentro de una misma frecuencia, en la gama de los megahertz. Este sistema genera ultrasonido multidireccional y podría ser de ayuda para estudiar los llamados láseres aleatorios, que hacen lo mismo con luz coherente.

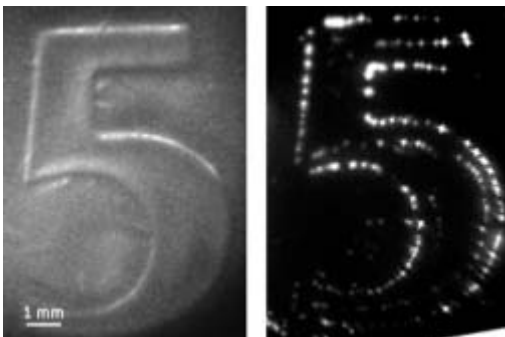
—J. R. Minkel

NANOTECNIA

Suave al tacto

Los sensores táctiles de tamaño dactilar más avanzados no discriminan entre elementos de menos de unos dos milímetros de ancho. Unos ingenieros químicos de la Universidad de Nebraska en Lincoln han construido un sensor micrométrico. Rivaliza así en delicadeza con el tacto humano. Formaron una lámina de 100 nanómetros de espesor por medio de capas alternas autoensambladas de nanopartículas de oro y sulfuro de cadmio, separadas por películas aislantes. Cuando entre ambas caras se aplica una tensión eléctrica y se presiona la lámina, fluyen electrones desde las capas de oro hacia las de sulfuro de cadmio, a través de las capas aislantes. El sulfuro brilla entonces. Las imágenes reveladas con esa luz captan detalles de 40 micras de ancho y cinco de alto, lo suficiente para detectar las arrugas del traje de Lincoln en las monedas de un centavo de dólar. Según uno de los investigadores, Ravi Saraf, los futuros sensores para robots basados en este descubrimiento no dependerán de señales luminosas, sino de impulsos eléctricos.

—Charles Q. Choi



Una impresión del número 5 (*derecha*) se traduce en brillos con un sensor electrónico de sensibilidad humana.

ASTRONAUTICA

La precisión de las sondas espaciales

La estimación de la trayectoria de una sonda espacial en cada momento requiere un modelo de las fuerzas actuantes sobre la sonda y mediciones del espacio que recorre y de su velocidad. Como predomina la gravedad, los principales modelos de la fuerza son las efemérides de los planetas y de los satélites, que especifican las posiciones de los cuerpos principales del sistema solar en un instante dado cualquiera. Las efemérides se conocen con una precisión inferior a un kilómetro para los planetas interiores, e inferior a diez para Júpiter y Saturno. Las órbitas de las lunas de Saturno se han determinado con una precisión inferior a un kilómetro para Titán e inferior a 10 kilómetros para las otras. Las mediciones de la distancia recorrida y de la velocidad de la sonda sirven para ubicarla con respecto a la Tierra. En el caso de todas las sondas interplanetarias estadounidenses, las mediciones corren a cargo de las antenas de la Red Espacial Avanzada, que envían radioseñales a una sonda, que la reemite a la estación en tierra. Los navegadores emplean entonces las señales emitidas y las recibidas para calcular a qué distancia se halla la sonda y qué



velocidad lleva. Su velocidad radial podemos fijarla con una precisión menor que 0,05 milímetros por segundo y la distancia con un error de tres metros. Distribuyendo adecuadamente las mediciones a lo largo de días y semanas, nos es posible estimar la posición de la sonda con una precisión de un kilómetro. El proceso de estima mejora además los modelos de la fuerza. Los cálculos resultantes de la posición y de la velocidad de la sonda en cada momento y los modelos de fuerza refinados ayudan a predecir las posiciones futuras de la sonda. Esas predicciones se cotejan entonces con los objetivos de la misión para determinar las correcciones necesarias. Una misión típica tiene programada una secuencia de correcciones para minimizar el gasto de propulsante y optimizar la precisión. En el Proyecto Cassini hay tres correcciones programadas entre los encuentros con los satélites de Saturno, con una precisión en el acercamiento inferior a dos o tres kilómetros.

—Jeremy Jones, jefe del equipo de navegación del Proyecto Cassini del Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA

BIOLOGIA

Un lugar para el ARN

Las únicas estructuras celulares poseedoras, que se sepa, de genomas son los núcleos, las mitocondrias y los cloroplastos. Se ha descubierto ahora que los centrosomas, que supervisan la división celular, parecen poseer un aparato genético propio; curiosamente, no constaría de ADN, sino de ARN. Un grupo del Laboratorio de Biología Marina de Woods Hole, en Massachusetts, purificó cinco secuencias de ARN de huevas de macha. Aunque abundaban en los centrosomas, en otros lugares de la célula se hallaron pocas o ninguna copia de esos

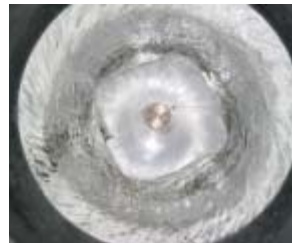
ARN. No se observaron sus secuencias en ninguna base de datos de genomas. Una de las secuencias parece codificar el mecanismo que interviene en la replicación del ARN y del ADN: da a entender que los centrosomas pueden duplicar su material genético. Acerca del funcionamiento interno de los centrosomas no se sabe demasiado, ni siquiera tras un siglo de estudio. El grupo de Woods Hole sostiene que su descubrimiento podría explicar la evolución y la función de los centrosomas.

—Charles Q. Choi

DINAMICA DE FLUIDOS

Líquidos platónicos

Isaac Newton puso a girar un cubo de agua y observó un vórtice redondo. Ahora, unos investigadores daneses han cuadrado ese círculo rotando sólo el fondo de un cubo lleno de agua. Conforme hacían subir la velocidad hasta algunas vueltas por segundo, el vórtice adoptaba primero una forma de trébol; luego, se volvía cuadrado, pentagonal y hexagonal. Puede que la capa externa de agua, más lenta, amplifique pequeñas variaciones del radio del vórtice y cree entonces esos picos, según afirma Tomas Bohr, nieto del famoso padre de la mecánica cuántica Niels Bohr. El grupo que encabeza, en la Universidad Técnica de Dinamarca, ha realizado



Según la velocidad de rotación, el agua adopta forma de trébol, de cuadrado o de pentágono.

la investigación. Cabe comparar un ciclón a un cubo semiestacionario; así se podría explicar la estructura de los ojos de los huracanes. El principio de fondo podría aplicarse también a los desagües de las bañeras.

—J. R. Minkel

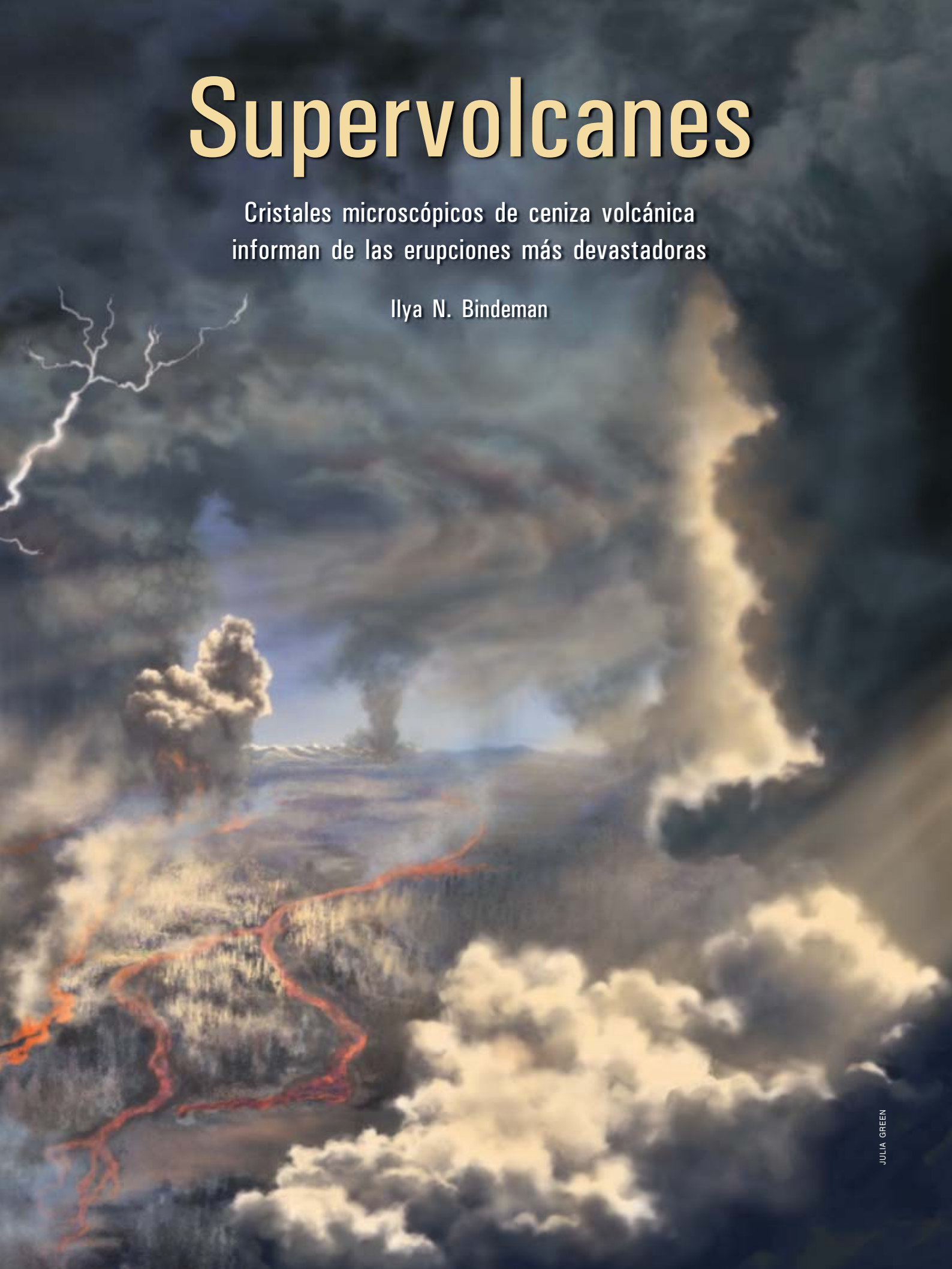


1. ANILLO DE FUEGO: Bocas del tamaño de una montaña que explotan a lo largo del borde exterior de un supervolcán activo esconden el paisaje con nubes ardientes de gas caliente y ceniza.

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.

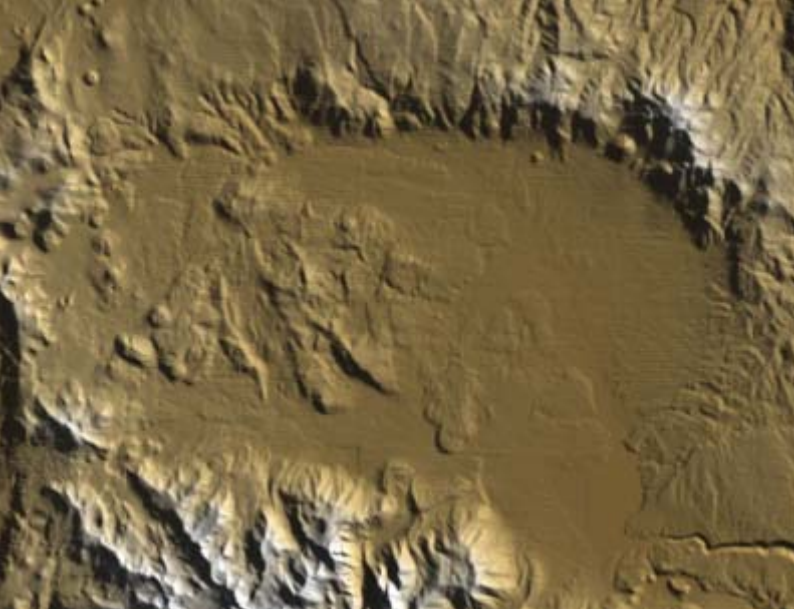
Cada fragmento de roca está constituido por miles de diminutos cristales, cada uno con su historia, edad y composición. A finales de los años ochenta, el refinamiento de la técnica permitió analizar cristales individuales con cierta precisión. Se empezó así a constatar que algunos cristales —y los magmas 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.

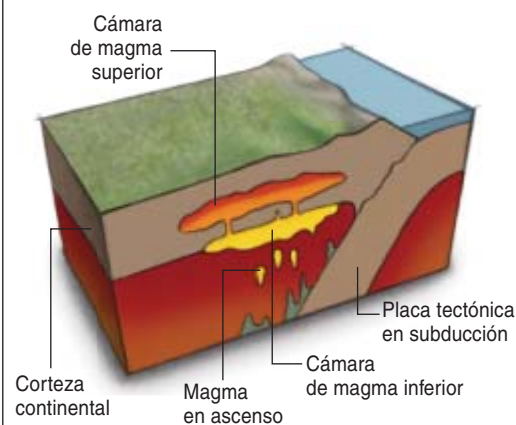
Durante décadas, muchos han dado por sentado que tuvo que ocurrir una serie de erupciones a lo largo de millones de años para que se produjera la toba de Bishop. Sin embargo, la investigación minuciosa de las burbujas microscópicas rellenas de magma y atrapadas en diminutos cristales de cuarzo nos lleva 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.