

Calderas Volcánicas Gigantes

Peter Francis

TEMAS 8. Investigación y Ciencia. Edición española de *Scientific American*.
Prensa Científica, S.A.
Barcelona, España.

Publicación original: "**Giant Volcanic Calderas**" en *Scientific American*, Junio de 1983.

Traducción de la versión española: Montserrat Domingo.

Estos cráteres, de decenas de kilómetros de diámetro, los abrieron erupciones mucho más violentas que cualquiera de las registradas en la historia humana. En el último millón de años se formaron unos diez.

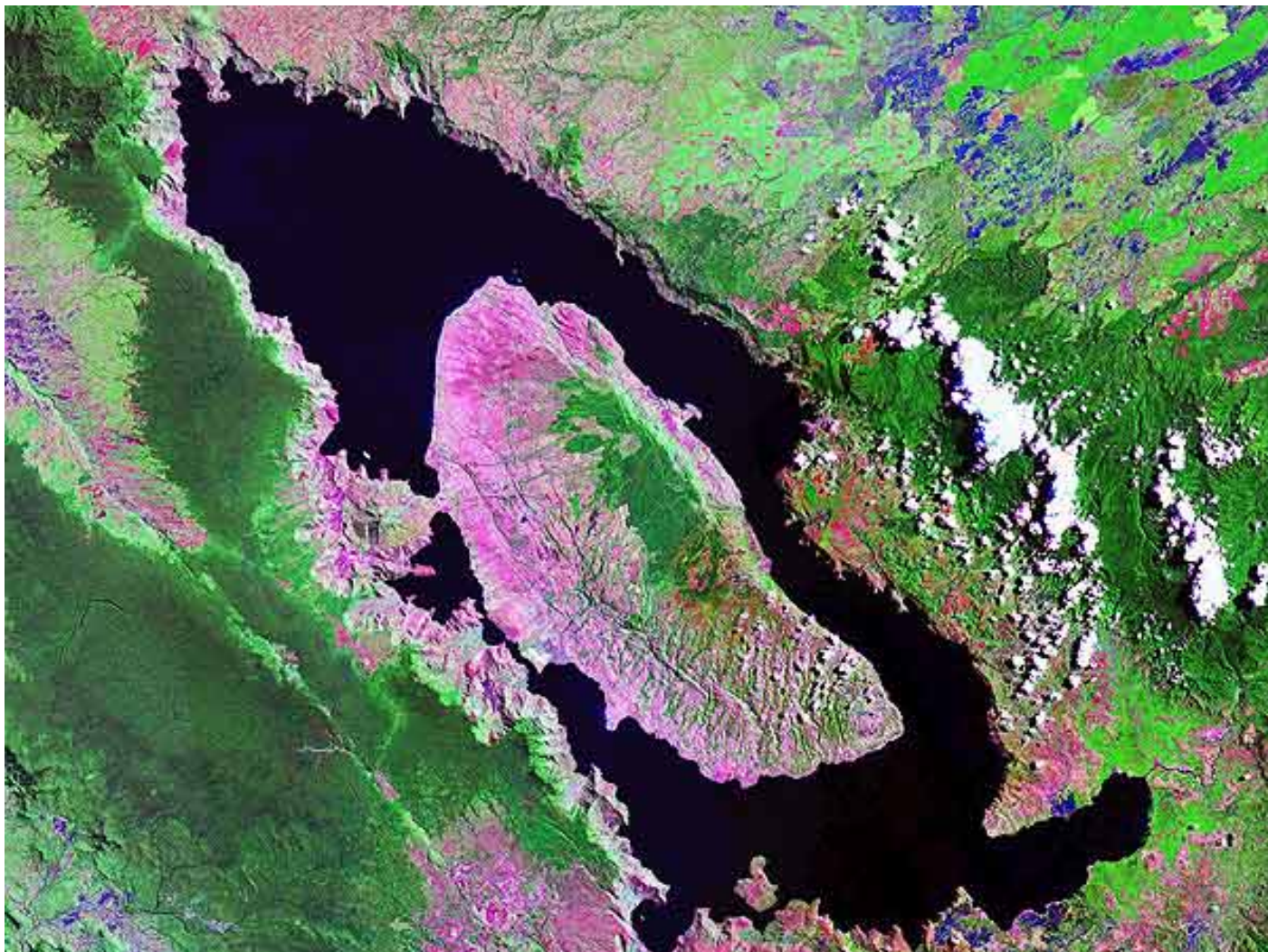


Imagen Landsat del Lago Toba (Sumatra, Indonesia). Haz click sobre la imagen para ver una versión de 1200 x 900 px y 158Kb

La erupción, el 18 de mayo de 1980, del monte St. Helens, situado en el sur del estado norteamericano de Washington, arrojó 0,6 kilómetros cúbicos de magma y dejó un cráter de dos kilómetros de diámetro. Un acontecimiento espectacular, sin duda. ¿Cómo calificaríamos otra erupción que ocurrió, 950 kilómetros al este del monte St. Helens, hace unos 600.000 años? Este fue el cuadro: vomitó 1000 kilómetros cúbicos de piedra pómez y ceniza y dejó una caldera alargada de 70 kilómetros en su dimensión máxima (las calderas son grandes cráteres volcánicos). Los efectos encubridores de la vegetación y la glaciación hacen que resulte muy difícil identificar hoy las señales de dicha erupción; el vestigio más obvio es el géiser Old Faithful, del Parque Nacional de Yellowstone. Yellowstone es, sin duda, un producto de procesos volcánicos que funcionan a la escala máxima: una caldera resurgente, es decir, una caldera cuyo fondo se ha abovedado lentamente durante los milenios transcurridos desde la erupción. Las calderas en trance de renacer son, con mucho, las mayores del planeta. Por consiguiente, erupciones volcánicas como la que formó la caldera de Yellowstone deben contarse entre las mayores catástrofes de la naturaleza, comparables tal vez con el impacto de un asteroide.

Por suerte son raras. En los escasos milenios de historia escrita no se ha producido ninguna y, en los Estados Unidos, sólo se conocen tres ocurridas durante el último millón de años. Además de la de Yellowstone, una erupción de hace 700.000 años formó la caldera de Long Valley, en California, y otra abrió la caldera de Valles, Nuevo México, hace un millón de años. Tal vez se llegue a demostrar que ocurrieron erupciones de edad parecida en otras partes del mundo. Con todo, probablemente se constatare que durante el último millón de años no se han producido más de diez en todo el mundo. Por otra parte, una cartografía detallada de las montañas de San Juan, Colorado, a cargo de Thomas A. Steven y Peter W. Lipman, del Servicio Geológico de los Estados Unidos, reveló la existencia de por lo menos 18 calderas de 20 a 30 millones de años de antigüedad; se han identificado muchas otras de edad comparable en el sur de Nuevo México, Arizona y Nevada. En los últimos decenios, los vulcanólogos han avanzado a buen ritmo en la comprensión de los orígenes de calderas gigantes que renacen y de las catastróficas erupciones que las forman.

El mecanismo fundamental de formación de una caldera está claro. La súbita emisión de grandes volúmenes de magma desde una cámara magmática situada a pocos kilómetros bajo la superficie terrestre elimina bruscamente el apuntalamiento del techo de la cámara. El techo se hunde y aparece una caldera en la superficie. En una obra clásica sobre la geología volcánica de Escocia, publicada en 1909, C. T. Clough, H. B. Maufe y E. B. Bailey propusieron la primera explicación de este proceso, al que denominaron subsidencia de caldera. El proceso tiene lugar en una amplia gama de escalas, y genera calderas cuyo diámetro va de los pocos kilómetros a 50 o más.

Aparte de su tamaño, el rasgo definitivo de una caldera resurgente es el lento levantamiento de su techo, probablemente a consecuencia de la intrusión de nuevo magma en la cámara magmática que creó la caldera por primera vez. La magnitud de la resurgencia vertical puede rebasar el kilómetro. A diferencia de un volcán corriente, una caldera que renace es, pues, una ancha depresión con un macizo central. El fenómeno del resurgimiento lo identificó por vez primera, en 1939, el geólogo holandés R. W. van Bemmelen durante el estudio de la caldera de Toba, en Sumatra septentrional. Van Bemmelen calculó que el fondo de la caldera se había hundido hasta dos kilómetros, permitiendo que se formara un lago, y que luego se había elevado centenas de metros y creado la isla Samosir, situada en el centro del lago. La de Toba sigue siendo hoy la mayor caldera renaciente conocida: su dimensión máxima ronda los 100 kilómetros. Pero Toba apenas ha recibido atención suficiente por parte de los investigadores; los detalles sobre la resurgencia los han desvelado principalmente científicos adscritos al Servicio Geológico norteamericano que han estudiado las calderas del sudoeste de Estados Unidos. La misma expresión caldera renaciente la acuñaron, en 1962, Robert L. Smith y R. S. Bailey, del Servicio Geológico.

Otra característica de dichas calderas tiene que ver con la naturaleza de los procesos volcánicos. En cualquier erupción volcánica, el magma que llega a la superficie puede salir de tres maneras: en forma de lava, en chorro (“material que cae del aire”) o a modo de colada piroclástica. La lava no es más que magma que sale a la superficie, se derrama en forma líquida y se solidifica en roca ígnea finamente cristalina, o incluso vítrea. Según la composición del magma, la roca será basalto, material gris oscuro relativamente pobre en sílice (SiO₂), andesita o dacita y riolita, material gris claro rico en sílice. La erupción de magma en chorro está formada por piedra pómez o pumita (sustancia vítrea espumosa), junto con partículas más finas de ceniza y polvo (el término polvo suele aplicarse a partículas de menos de cuatro micrometros de diámetro, las partículas de entre 4 y 63 micrometros reciben el nombre de ceniza fina). El material se origina cuando fragmentos de magma solidificado son arrojados a la atmósfera arriba por gases convectivos muy calientes.

Las coladas piroclásticas también están compuestas de pumita, ceniza y polvo. Aquí, sin embargo, el material volcánico forma una nube incandescente pegada al suelo que corre por la superficie a velocidades de hasta 100 metros por segundo, flotando fluidizada por gas caliente. A menudo la nube deposita clastos, o sea fragmentos, de pumita a muchas decenas de kilómetros de la fuente de la erupción.

La mayoría de las erupciones volcánicas producen lava y cenizas que caen del aire; las coladas piroclásticas son menos comunes. En cambio, en erupciones que forman una caldera resurgente las coladas piroclásticas representan con mucho la proporción máxima de lo arrojado. Las coladas piroclásticas suelen acumularse en una caldera renaciente en lechos de más de un kilómetro de grosor; en la base de cuyo montón los clastos de pumita se ablandan y cementan entre sí, produciendo una roca característica e inconfundible. En 1935, P. Marshall, estudiando la roca resultante de coladas piroclásticas en Nueva Zelanda, la bautizó ignimbrita: roca de nube de fuego. Hoy el término se aplica a depósitos dejados por coladas piroclásticas pumíticas, estén o no cementados los clastos. Grandes grosores de ignimbrita soldada son un indicio excelente de calderas antiguas.

Las calderas renacientes son grandes, y es extraordinariamente voluminoso el material arrojado por las erupciones que las conforman. No obstante, cuesta identificarlas. En muchos casos quedan disimuladas por sus propias dimensiones. Años atrás, M. C. W. Baker y el autor emprendimos una búsqueda de calderas en la cordillera andina de Sudamérica por medio de imágenes obtenidas desde satélites Landsat. En la búsqueda se sacó partido de la gran ventaja que ofrecían las imágenes obtenidas desde satélite en comparación con la fotografía aérea tradicional: la altura de la nave espacial (900 kilómetros) brinda una vista sinóptica, imposible de obtener de otra manera, de grandes estructuras de la superficie terrestre. Descubrimos dos grandes calderas que habían pasado desapercibidas en prospecciones geológicas anteriores.

La más impresionante de las dos es la caldera de Cerro Galán, al noroeste de Argentina, de 34 kilómetros de diámetro y rodeada de un espectacular abanico de ignimbrita que se prolonga 70 kilómetros más allá de la linde de la caldera. Más tarde supimos que también habían detectado la caldera J. D. Friedman, del Servicio Geológico, y Grant H. Heiken, del Centro Espacial Johnson, en fotografías obtenidas en 1974 desde la nave espacial Skylab 4. La caldera es tan moderna (2,6 millones de años) y su estructura tan definida que apenas cabía dudar de su naturaleza.

La segunda caldera era menos evidente. Las imágenes Landsat que examinamos nos indujeron a creer que el macizo montañoso boliviano Kan Kan, de cinco kilómetros de altura, probablemente representara el centro resurgente de una gran caldera antigua. Una cartografía anterior del Kan Kan, sin embargo, indicaba que el macizo era un batolito: una gran masa de roca ígnea cristalina de grano grueso que se había solidificado dentro de la corteza terrestre y había aflorado como consecuencia de la erosión. Nuestro trabajo de campo en el lugar pronto confirmó la identificación. La textura soldada de la roca del macizo demostró concluyentemente que se trataba de ignimbrita. El centro resurgente constituye la prueba de una caldera cuya dimensión mayor medía originariamente unos 36 kilómetros de diámetro. Tiene 20 millones de años. Hemos hallado algunas otras calderas en partes inexploradas de los Andes centrales.

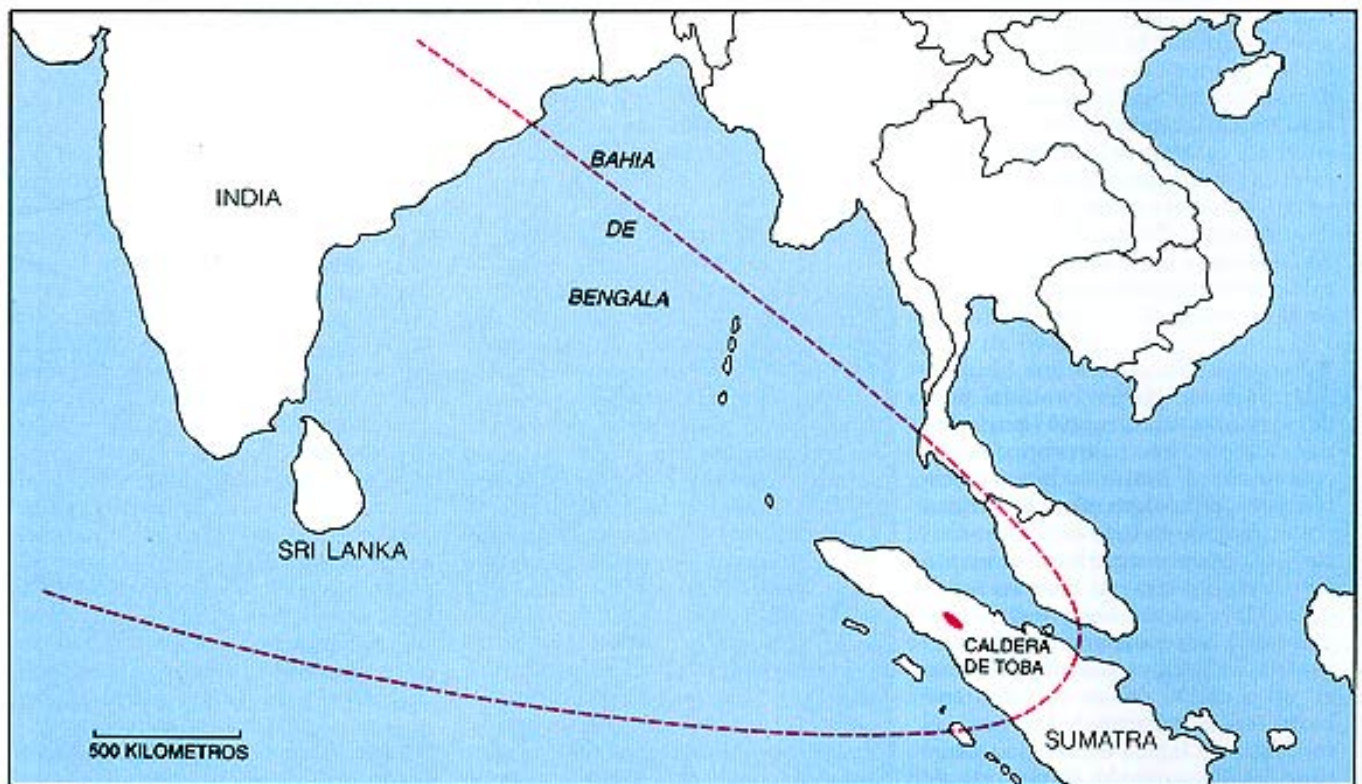
En principio, parece que el lugar donde con más probabilidad puede registrarse una erupción que forme una caldera renaciente es una zona de subducción, el límite, en la superficie terrestre, donde una placa de corteza oceánica resbala bajo una placa continental y se sumerge hacia el manto subyacente. Al fin y al cabo, las zonas de subducción son lugares de actividad volcánica y sísmica intensa. La caldera de Toba, en Sumatra, se halla en un contexto de ese tipo. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el contexto geológico es mucho menos sencillo. Por ejemplo, la mayoría de las calderas norteamericanas más recientes quedan a centenares de kilómetros de cualquier zona de subducción moderna.

Con todo, las calderas renacientes no están distribuidas al azar por el planeta. Las ignimbritas que las caracterizan son resultado de la erupción de magma dacítico o riolítico, que es viscoso, rico en sílice y se produce típicamente en regiones de corteza continental gruesa. Por consiguiente, pueden formarse calderas renacientes en regiones de la corteza continental donde una pluma termal (un "punto caliente") del manto terrestre sea lo suficientemente grande y duradera para fundir vastos volúmenes de roca. La pluma no funde la corteza continental directamente; funde parte del manto y crea un magma basáltico. El magma basáltico asciende, fundiendo la roca a niveles más someros.

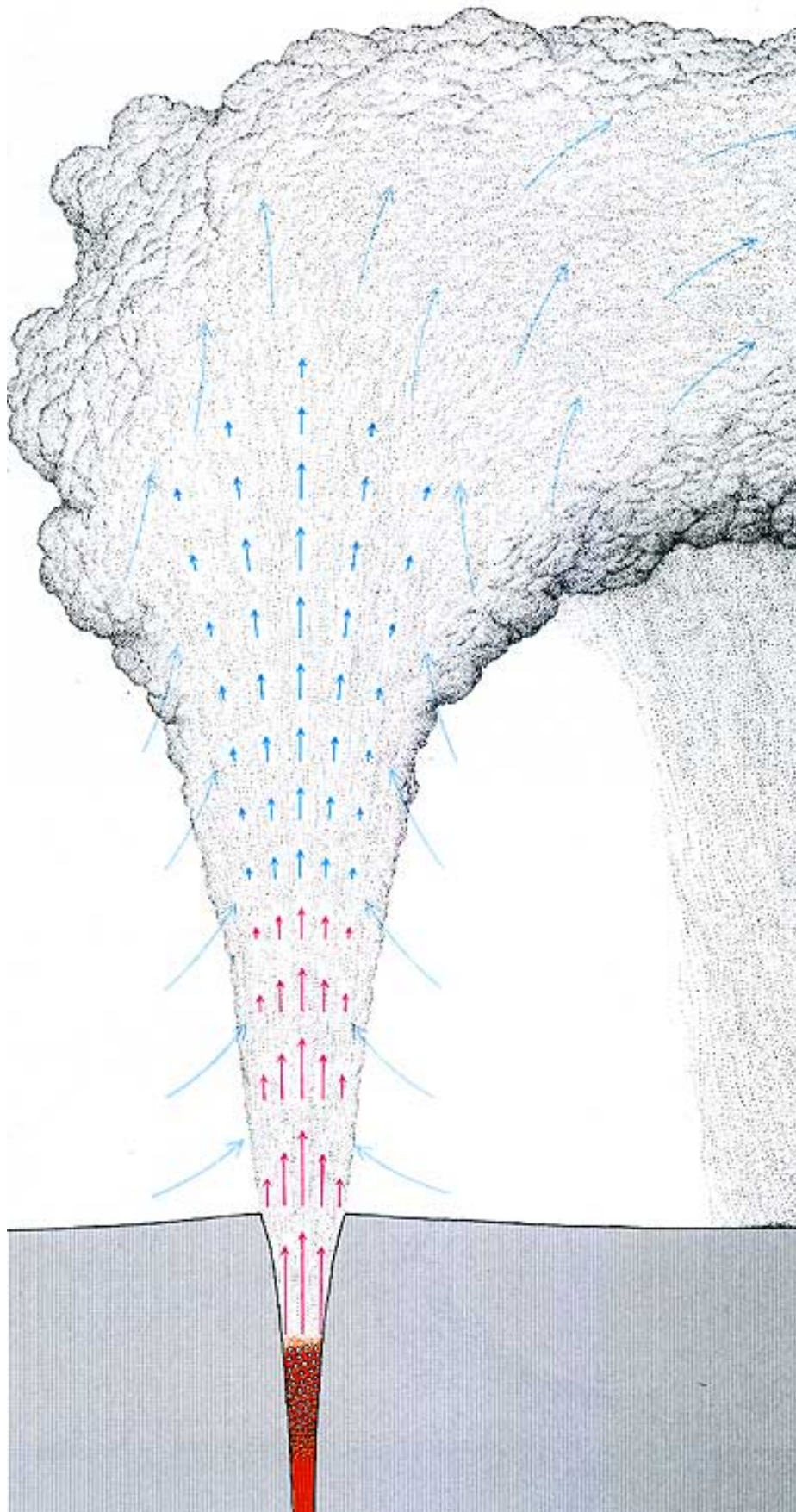
Consideremos algunas calderas en particular. En los Estados Unidos, la caldera de Yellowstone queda en el extremo nororiental de una senda de actividad volcánica que empieza en Idaho, en la roca basáltica de la llanura del río Snake. En el transcurso de los últimos 15 millones de años, el foco de actividad volcánica ha emigrado a lo largo de la ruta hasta su actual posición de Wyoming, tal vez en respuesta al desplazamiento de la placa que incluye la corteza continental norteamericana por encima de una pluma termal fija del manto. Varias otras calderas, de no más de escasas decenas de millones de años caen en una zona de centenares de kilómetros de anchura que abarca Nevada, Arizona, Utah y Nuevo México. La caldera más moderna del grupo queda en los flancos del valle de fractura ("rift") de Río Grande, que discurre centenares de kilómetros hacia el norte, a través de Nuevo México, hasta Colorado. Se considera que en el rift de Río Grande la corteza continental ha sufrido un cierto adelgazamiento, a causa del propio valle de fractura. Se supone que un proceso parecido ha abierto valles de fractura en la corteza oceánica en las cercanías de muchos de los arcos insulares del Pacífico.



2. LLUVIA DE CENIZAS de las tres erupciones que dejaron calderas renacientes en los Estados Unidos en el último millón de años. Una erupción de hace un millón de años produjo la caldera de Valles, en Nuevo México; una erupción ocurrida hace 700.000 años formó la caldera de Long Valley, en California, y otra de hace 600.000 años formó la de Yellowstone, en Wyoming. La cartografía la efectuaron, principalmente, G. A. Izett y sus colaboradores; el límite, incierto, de la ceniza de la caldera de Valles se representa por la línea a trazos. Los volcanes corrientes pueden esparcir ceniza por grandes extensiones, pero el grosor de la capa de ceniza dejada por una erupción que forma una caldera se mide en centímetros, no en fracciones de milímetro.



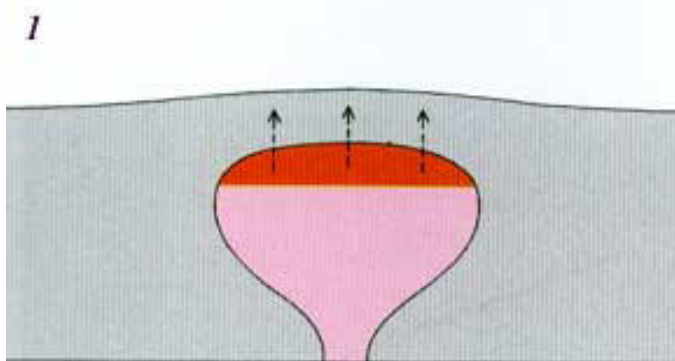
3. CENIZA DE LA CALDERA DE TOBA, en Sumatra, que se depositó hace 75.000 años sobre una región que comprende la mayor parte de la bahía de Bengala y zonas de Sumatra, Sri Lanka y la India. El modelo de distribución lo determinó un grupo encabezado por Dragoslav Ninkovich, quienes descubrieron una capa de ceniza de más de 10 centímetros de grosor en testigos extraídos del fondo marino a distancias de hasta 2000 kilómetros de la propia caldera de Toba.



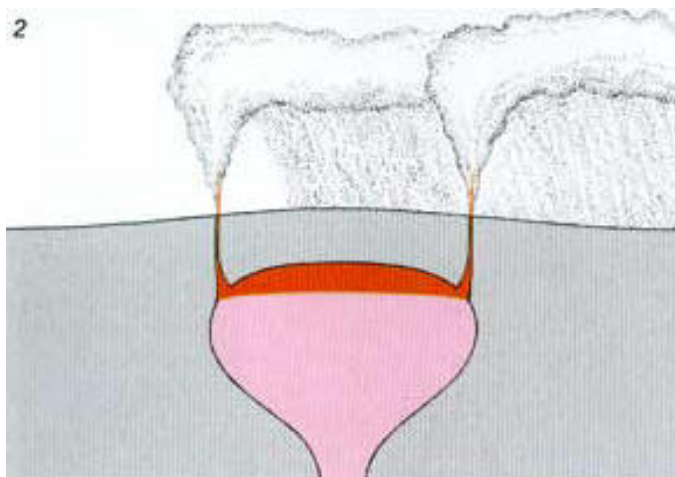
6. UNA COLUMNA PLINIANA se origina en una erupción volcánica cuando el ritmo de erupción es grande, cuando el magma arrojado comprende grandes proporciones de gas disuelto y cuando la fisura por la que sale el magma es angosta, tal vez de 50 a 100 metros de diámetro. Aproximadamente a un kilómetro de profundidad, el gas se desprende de la solución, lo que determina que el magma explote en piedra pómez y ceniza incandescentes. Las cenizas se disparan cual balas (*flechas rojas gruesas*) y forman la parte inferior de la columna pliniana. En la parte superior se elevan muchos kilómetros más (*flechas azules gruesas*) por acción de corrientes de convección atmosféricas. Se cree que, a menudo, las columnas plinianas constituyen la fase primera de la erupción catastrófica que forma una caldera resurgente.

9. ETAPAS CARACTERÍSTICAS en la evolución de una caldera renaciente.

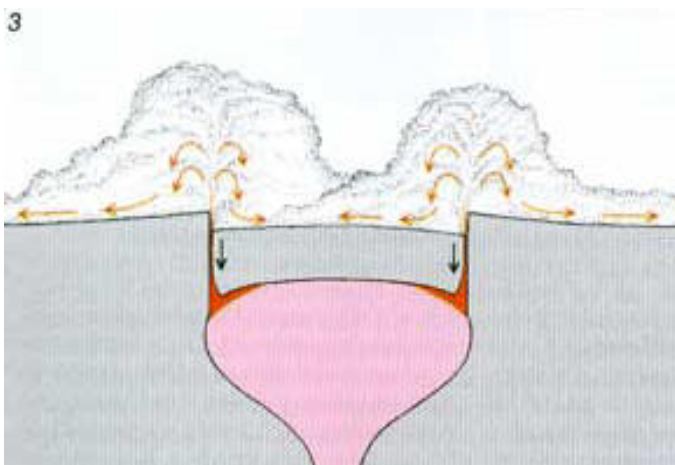
En la primera etapa, el magma, situado a sólo cuatro o cinco kilómetros de la superficie, forma un plutón, o cámara magmática, que va abovedando poco a poco la superficie (1).



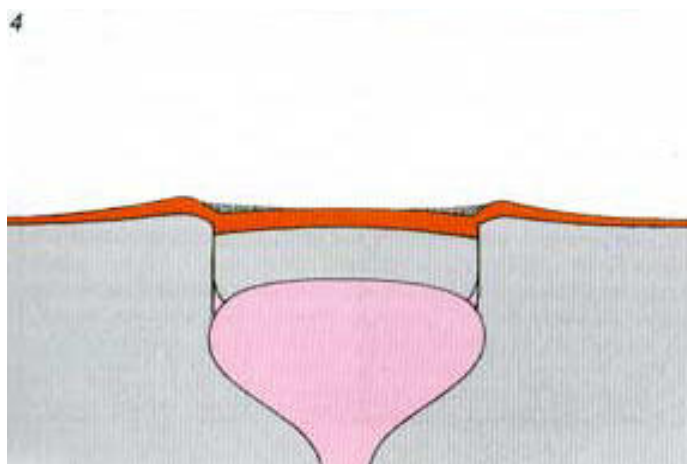
En el plutón existen zonas de composición diferente, con magma viscoso rico en sílice (SiO_2) y gases disueltos en el techo (naranja). En un momento dado se produce la erupción. Sobre una gran fractura anular se desarrollan columnas plinianas (2).



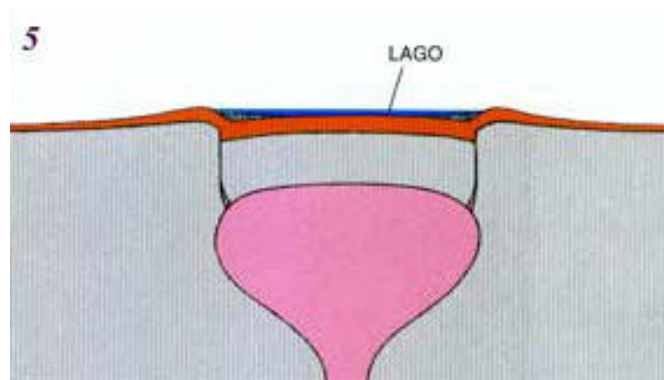
Minutos u horas después, se hunde el techo del plutón a todo lo largo de la fractura, dejando una caldera; las columnas plinianas ceden paso a coladas piroclásticas (3).



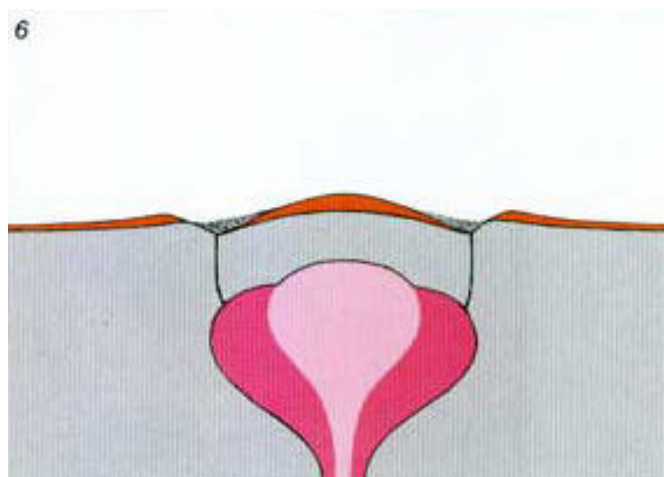
La erupción dura pocos días. Colmata la caldera con ignimbrita y cubre la región circundante (4). La pared de la caldera empieza ya a erosionarse (punteado negro).



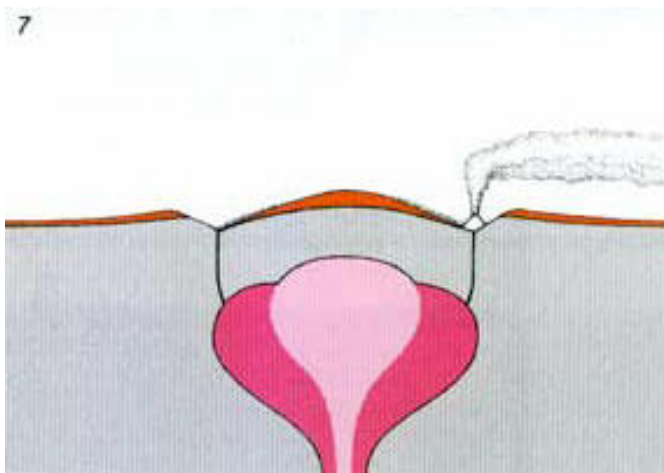
También puede formarse un lago (5).



Mucho después, durante un período de algunos centenares de miles de años, la intrusión de magma nuevo en el plutón provoca una nueva ascensión de parte del fondo de la caldera (6).



Persiste una actividad volcánica menor a lo largo de la fractura anular (7).



El calor del plutón puede impulsar corrientes convectivas de agua rica en minerales (8) y dar lugar a manantiales termales y géiseres en la superficie durante millones de años.

