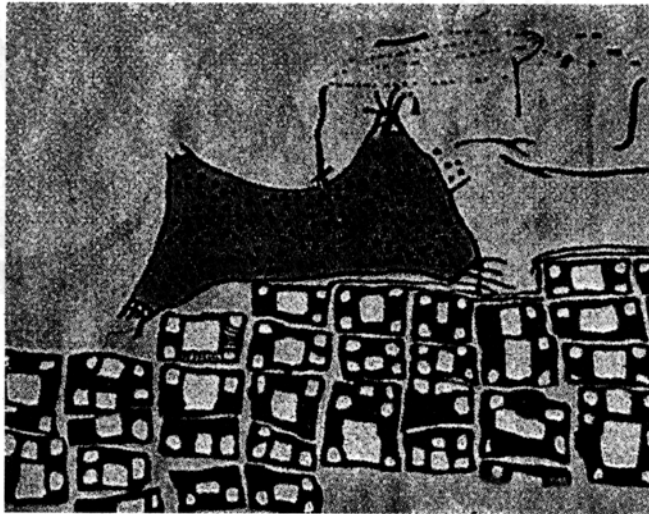


El vulcanismo



JUAN MANUEL ESPÍNDOLA

Y JOSÉ LUIS MACÍAS VÁZQUEZ

El vulcanismo es uno de los fenómenos más asombrosos de nuestro planeta. Hoy sabemos que no es exclusivamente terrestre sino que ocurre y ocurrió en otros cuerpos de nuestro sistema solar. En la Tierra, el vulcanismo ha sido un fenómeno importante en el desarrollo de la historia humana e influencia decisiva en sus actividades. Algunos de los asentamientos humanos más antiguos se han hallado en áreas volcánicas, y sus restos nos muestran el tremendo impacto del vulcanismo en los mismos. La representación más antigua de una erupción volcánica fue descubierta en Chatal Huyuk, Turquía, y tiene una edad de alrededor 8 000 años. Se trata de un fresco que probablemente representa la erupción del cercano volcán de Hassan Dag (arriba). Con el fin de explicarse las erupciones volcánicas, así como muchos fenómenos físicos, el hombre ha inventado mitos de gran colorido; sin embargo, los intentos

por explicarlos científicamente debieron esperar el nacimiento de las ciencias geológicas. A lo largo del desarrollo de estas últimas se han logrado comprender muchos aspectos del fenómeno, y se cuenta con un marco teórico general para explicarlo, a pesar de lo cual aún queda mucho por descubrir.

Si observamos en un mapa la distribución de los volcanes en nuestro planeta, nos podemos percatar de que se ubican preferentemente a lo largo de ciertas regiones (ver mapa página siguiente). Es posible explicar los rasgos generales de dicha distribución de acuerdo con la llamada tectónica de placas. Los aspectos básicos de dicha teoría son los siguientes: el cascarón externo de la Tierra, con un espesor de aproximadamente 100 km, llamado litosfera, se comporta como un cuerpo rígido que "flota" sobre un material más profundo o astenosfera. El entrecomillado en la palabra flota se deriva

del hecho de que la astenosfera se comporta como un material plástico-viscoso cuando se le aplican fuerzas por periodos de tiempo muy largos. Las rocas tienen este comportamiento que, incidentalmente, explica cómo se forman los plegamientos de rocas observados en la superficie terrestre.

La litosfera está fraccionada en varias partes llamadas placas, como los gajos de un balón de fútbol. Las placas sufren movimientos relativos, debidos a fuerzas que provienen del interior del planeta, resultado de su alta temperatura interna. Esta fuerza hace que en algunos de los márgenes de las placas, una de ellas, la más densa, penetre bajo la otra en la que los geofísicos conocen como zona de subducción o convergencia. Naturalmente, esto requiere que en otros de los márgenes, llamados de dispersión o esparcimiento, se cree nueva litosfera. Las zonas de dispersión se presentan en la superficie de la tierra sólida, como las cordilleras submarinas, mientras que las zonas de subducción forman a menudo trincheras submarinas de gran profundidad, seguidas de arcos volcánicos paralelos a las mismas.

Es precisamente en estos márgenes de las placas en donde se encuentra concentrado el vulcanismo, y constituyen por lo tanto las zonas de generación de magma, puesto que éste consiste precisamente en la salida a la superficie del material magmático. Cabe decir aquí que *magma* es una palabra acuñada el siglo pasado por el inglés George Poulett Scrope, y que denomina el material que se encuentra en el interior de la Tierra en estado fluido, del que provienen los productos del vulcanismo y otras rocas.

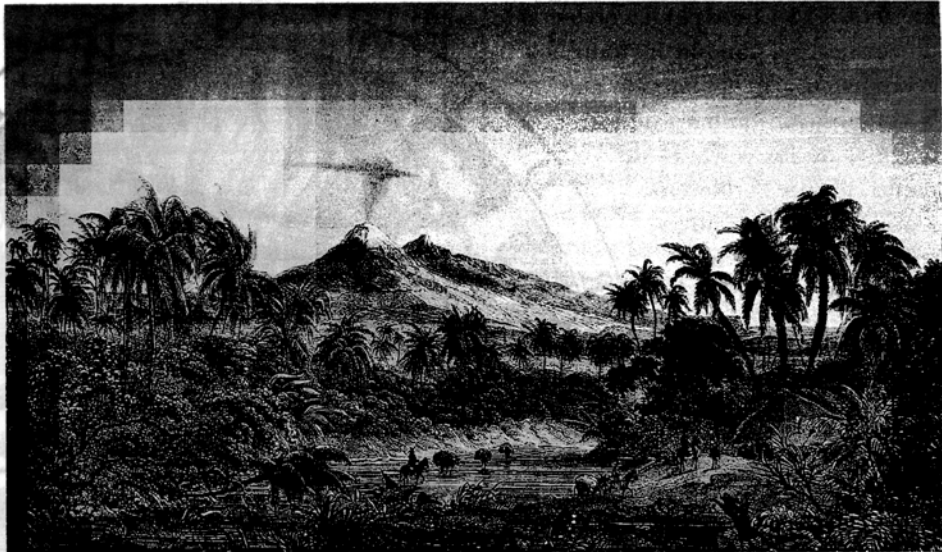
¿Por qué son los márgenes de las placas los lugares de generación de magma? Fundamentalmente el fenómeno consiste en un cambio de fase en el que el material sólido sufre una transformación total o parcial al estado líquido, cambiando de esta manera su densidad y poniendo en juego fuerzas internas de flotación

que lo desplazan hacia la superficie. La estabilidad de cada fase de la materia está en función de su presión, composición y temperatura, de manera que si para un sólido a una temperatura dada disminuimos la presión o, alternativamente, si para una presión dada aumentamos la temperatura, podemos lograr un cambio de fase. En el caso del vulcanismo de las zonas de dispersión, el cambio de fase se debe a que al ascender el material disminuye la presión de las rocas superiores mientras que su temperatura, debido a su baja conductividad, disminuye más lentamente, de manera que se produce un cambio de fase al estado líquido y la roca se funde para formar un magma.

En las zonas de subducción el cambio de fase se debe a que la placa que penetra en el interior de la Tierra arrastra parte de la astenosfera consigo. El hueco que queda en la astenosfera es llenado por material que proviene de zonas más profundas lo que, como en el caso anterior, produce un cambio de fase en las mismas. Por otro lado, las rocas de la placa subyacente contienen una cierta cantidad de agua que tiene el efecto de disminuir el punto de fusión de las rocas con su consecuente fusión parcial o total. Como el magma es generado a ciertas profundidades de la placa, el vulcanismo relacionado con las zonas de subducción es siempre paralelo a las trincheras que marcan el sitio de contacto entre placas.

Dos tipos de vulcanismo que no ocurren en los márgenes de las placas sino en su interior son los conocidos como de *rift*. Las zonas de *rift* son regiones en las que las placas se han adelgazado considerablemente por efecto de fuerzas de tensión y que evolucionarán hasta convertirse en nuevas zonas de dispersión o esparcimiento. En este sentido la explicación del vulcanismo en estas zonas es semejante a la que ya conocemos anteriormente.

Un caso especial de vulcanismo es el de las islas hawaianas. Como puede verse en el mapa de placas tectónicas, estas islas volcánicas no se encuentran en zonas

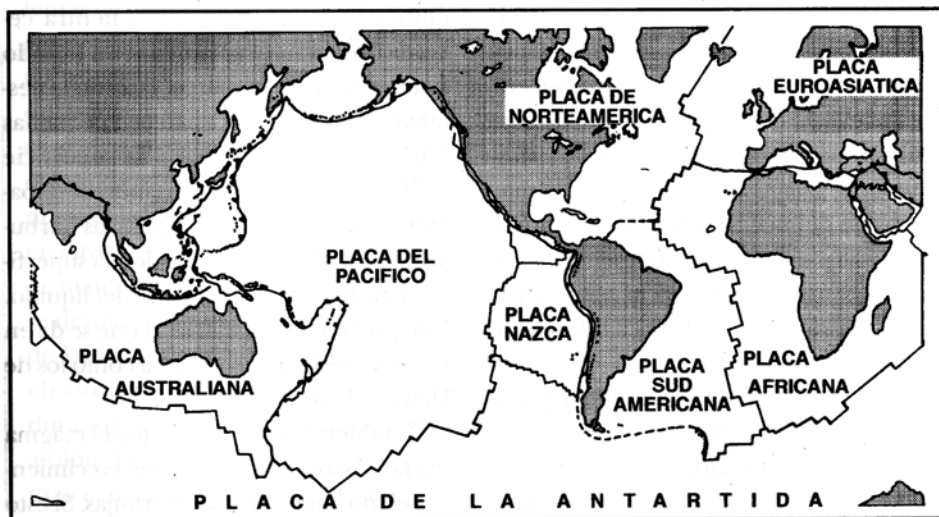


Volcán de Colima, Rugendas

de esparcimiento, subducción o *rift*, de manera que para conciliar su ubicación con la tectónica de placas debe encontrarse un mecanismo de generación que sea consistente con la teoría. Se sabe que éstas son de edades sucesivamente mayores en dirección noroeste: la más reciente es Hawai, cuyas lavas más antiguas tienen unos 700 000 años de edad, y la más antigua es Kauai, con cerca de 3 millones de años. De hecho, en la misma línea se encuentran una serie de islas y montículos submarinos de edad progresivamente mayor, por ejemplo, la isla de Midway, a varios miles de kilómetros hacia el noroeste de Kauai, tiene una edad de 2.8 millones de años. Esto sugiere que

existe una fuente de magma bajo la placa que permanece fija con respecto a la misma. Así, al moverse la placa en dirección noroeste va creando volcanes con edades progresivamente mayores en la misma dirección. A este vulcanismo se le ha llamado de "mancha" o "punto caliente" (desgraciadamente, como en otras ramas de la ciencia, la nomenclatura original fue hecha en inglés, *hot spot*, y la designación en español es la poco satisfactoria traducción literal).

La existencia de los puntos calientes se explica usualmente con la hipótesis de la existencia de plumas o corrientes de material caliente que se elevan desde algún lugar en el manto hasta la base de la



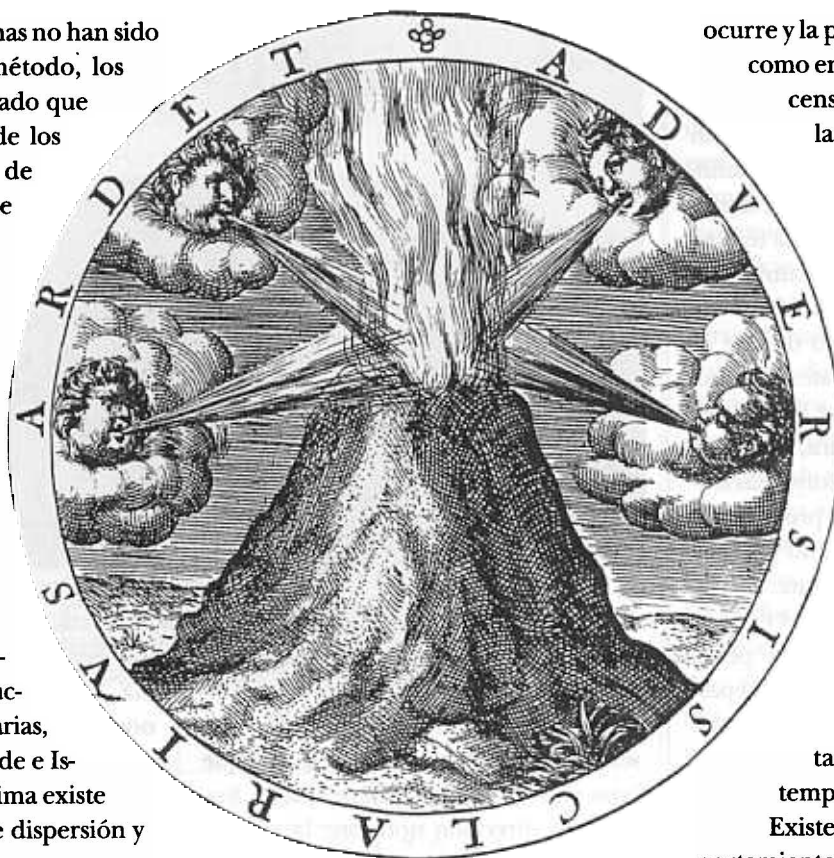
litosfera. Si bien estas plumas no han sido detectadas por ningún método, los geoquímicos han encontrado que la composición química de los magmas de los volcanes de punto caliente es diferente a la de los demás, como correspondería a un magma que asciende desde regiones más profundas del planeta, sin embargo, existen aún muchos problemas por resolver y, actualmente, investigadores de diversos países trabajan en ello.

De un vulcanismo de este tipo y magma de composición similar son producto las islas Galápagos, Canarias, Azores, Madera, Cabo Verde e Islandia, aunque en esta última existe un vulcanismo de zona de dispersión y de punto caliente.

Tipos de erupción

Si bien en esencia una erupción volcánica es simplemente la emisión de cierto material desde el interior de la Tierra, esta emisión puede ocurrir de diversas maneras. Los geólogos han llamado a estas maneras "estilos de erupción" y les han dado los nombres de los volcanes típicos en que ocurren. Así, se habla de erupciones hawaianas, islándicas, merapianas, peleanas, etc. Todos estos estilos ocurren entre dos extremos: erupciones efusivas con emisión de grandes cantidades de lava y erupciones explosivas, en las que la mayor parte del material es arrojado como fragmentos sólidos a alta temperatura. La pregunta que esta situación plantea es, entonces, ¿a qué se debe esta diferencia de comportamiento?

La respuesta se encuentra en que los magmas pueden tener una composición química y un contenido de gases muy variados. La composición química es muy



importante puesto que determina la viscosidad del magma. Los gases se encuentran disueltos en el magma por la gran presión litostática que existe a profundidad. Cuando el magma asciende a la superficie disminuye esta presión y el gas comienza a separarse del magma. Este comportamiento podemos entenderlo si observamos una bebida gaseosa embotellada. Cuando se encuentra cerrada observamos solamente un líquido homogéneo; sin embargo, cuando la destapamos lentamente, aparecen pequeñas burbujas que ascienden a la superficie del líquido. Finalmente cuando destapamos completamente la botella las burbujas se multiplican y en su viaje a la superficie arrastran pequeñas gotas del líquido. Este proceso es semejante al que se da en volcanes de lava poco viscosa como los de Hawai e Islandia.

También puede ocurrir que el magma sea tan viscoso que dificulte el crecimiento y el movimiento de las burbujas. Si esto

ocurre y la presión sigue disminuyendo, como en efecto ocurre durante el ascenso del magma a la superficie, la presión concentrada en las burbujas puede ser tan grande como para fragmentar el magma en un proceso explosivo. Los magmas muy viscosos son además muy ricos en cuarzo y otros componentes que sólo permanecen líquidos a muy altas temperaturas. Así, el material fragmentado se solidifica muy rápidamente y en la parte final de su ascenso es una mezcla de gas y fragmentos sólidos de muy variados tamaños a altas presiones y temperaturas.

Existen así dos extremos de comportamiento, explosivo y efusivo, determinados por magma muy viscoso, por un lado, y por magma poco viscoso, por el otro. Por supuesto, entre estos extremos puede haber vulcanismo con grados intermedios de explosividad. En cuanto a los estilos eruptivos, en un extremo se encuentran las erupciones plinianas y peleanas, de gran explosividad, y en el otro las hawaianas e islándicas, que son muy efusivas, y las vulcanianas y estromboleanas, de explosividad intermedia.

Un factor adicional a considerar es la interacción de las aguas subterráneas con los materiales calientes asociados a un magma. La súbita evaporación de agua por efecto del cuerpo magmático puede ser de tal magnitud que produzca una explosión. A estas erupciones se les llama freáticas y pueden ser desde ligeramente explosivas hasta de explosividad moderada. En algunas ocasiones puede presentarse una explosión mixta con gases magmáticos y los provenientes de la evaporación de agua, o bien una explosión freática puede ser el preámbulo o disparador

de una emisión de material magmático; en dichos casos la erupción es llamada freatomagmática y puede ser de gran explosividad.

Desde el punto de vista del peligro que las erupciones volcánicas representan, las de tipo explosivo son mucho más peligrosas que las efusivas. Las erupciones del tipo hawaiano caracterizadas por emisiones de grandes coladas de lava que pueden formar ríos y lagos, causan pocas pérdidas de vidas humanas. Por otro lado, las erupciones peleanas, de gran explosividad, son en extremo peligrosas. Estas erupciones reciben tal nombre por la Montaña Pelada (*Mont Pelé*), en la Martinica, isla francesa del Caribe, que en 1902 hizo una erupción de tal magnitud que cegó la vida de los 30 000 habitantes de la cercana ciudad de Saint Pierre, en donde sólo dos personas sobrevivieron.

Aunque es cierto que las erupciones con grandes emisiones de lava son poco explosivas y por lo tanto representan un menor riesgo, no es menos cierto que pueden ocasionar graves daños económicos y sociales, como lo demuestran las erupciones del Parícutín, que durante su actividad de 1943 a 1952 emitió aproximadamente 700 millones de metros cúbicos de lava y otros sólidos volcánicos que cubrieron 24.8 km cuadrados de terreno, sepultando los poblados de Parícutín y San Juan Parangaricutiro. Sin embargo, aunque el número de muertes debidas a flujos de lavas es usualmente menor que el asociado con otros productos volcánicos éste no es nulo. Aun así, comparado con otros eventos, las emisiones de lava son en realidad poco peligrosas. La razón de esto es que su movimiento es relativamente lento y sigue los cursos de máxima pendiente, de manera que su trayectoria puede ser anticipada. Excepcionalmente, se emiten lavas de viscosidad tan baja que pueden cubrir grandes extensiones en poco tiempo. Un ejemplo lo constituye la erupción del Niyaragongo en Zaire, en 1977, que produjo un lago de lava que al derramarse cubrió 20 km²

en menos de una hora y ocasionó la muerte de casi 300 habitantes de la región. En algunos casos, si las pendientes son muy abruptas y la lava poco viscosa, ésta puede avanzar con velocidades de hasta 48 km/h.

Como ya vimos, en el caso de las erupciones explosivas se producen fragmentos sólidos, conocidos como piroclastos (palabra que proviene de las voces griegas *piros*, fuego y *clastos*, roto, quebrado), que en general son arrojados mezclados con gases y agua a altas temperaturas formando derrames de piroclastos. Éstos pueden ser arrojados lateralmente y arrastrar parte del edificio volcánico roto por la presión en el interior del volcán o formar una enorme columna y caer posteriormente por las laderas del volcán.

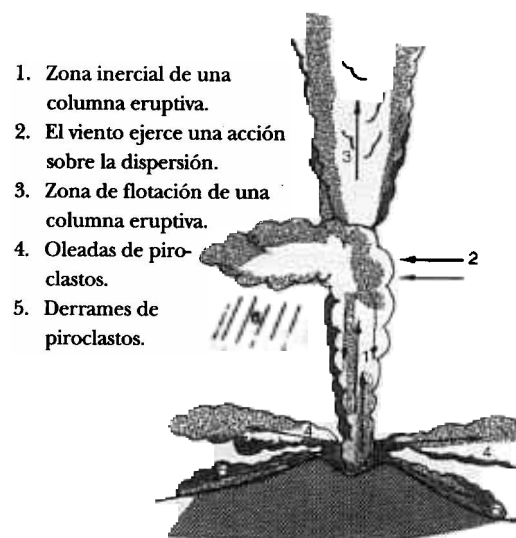
Estas avalanchas de material a alta temperatura y gases entre los que abunda el vapor de agua poseen gran movilidad y pueden avanzar con velocidades de varios cientos de kilometro por hora. Al igual que la lava, siguen las líneas de mayor pendiente, aunque cuando su velocidad es muy grande pueden remontar obstáculos topográficos de cierta importancia.

Si en la mezcla de fragmentos sólidos y gases la fracción de gas es mayor que la de los sólidos, su comportamiento mecánico cambia drásticamente y se torna muy turbulento, y se les conoce entonces como oleadas de piroclastos. Estas nubes turbulentas de material piroclástico muy fino y gases calientes pueden desplazarse a altas velocidades con menor dependencia de las irregularidades topográficas (derecha). Las oleadas de piroclastos se producen de varias formas. Una de ellas es durante la fase explosiva de una erupción en cuyo caso puede observarse un anillo de material turbulento y poco denso que se desplaza a gran velocidad por encima de las irregularidades topográficas. Este efecto fue observado por primera vez durante la explosión termonuclear del atolón Bikini, en 1946, que fue la primera prueba de la bomba "H" llevada a cabo

por Estados Unidos. Esta observación llevó a los geólogos a suponer que dicho efecto podría tener lugar durante erupciones volcánicas y explicar la existencia de depósitos de piroclastos con ciertas características en áreas volcánicas. Tal hipótesis fue comprobada posteriormente durante las erupciones del Bárcena en la isla mexicana Socorro en el Pacífico, el Surtsey en Islandia y el Taal en las Filipinas en los años de 1952, 1963 y 1965 respectivamente.

Las oleadas piroclásticas también pueden formarse como resultado del escape rápido de gases durante la destrucción de domos volcánicos; con este nombre se conoce a las estructuras de materiales volcánicos formadas por la solidificación de la lava que aparecen lentamente en los cráteres de algunos volcanes y que tienen la apariencia de un tapón o domo. Las oleadas también pueden aparecer como una parte menos densa de un flujo de piroclastos, parecidos al fino polvo que suele haber en la parte superior de una avalancha de arena.

Como la parte sólida en una oleada piroclástica es considerablemente menor que en un flujo de piroclastos, podría considerarse como de baja peligrosidad. No es éste el caso, pues estas nubes pueden ocasionar grandes daños y destruir poblaciones enteras. El efecto de sus al-



tas velocidades y temperaturas las torna extremadamente destructivas. Como las oleadas son muy turbulentas (de allí su nombre), su acción es en ocasiones imprevista, pues suele dejar zonas muy dañadas junto a otras apenas perturbadas. En los lugares en que estas oleadas han causado estragos en ocasiones se observan troncos carbonizados en un frente e intactos en otro. Las oleadas piroclásticas suelen viajar a grandes velocidades sin guiarse por la topografía y sin perder súbitamente su energía dejando depósitos semejantes a las dunas de las tormentas de arena en los desiertos, por esta razón se les ha llamado también huracanes de ceniza.

Durante una erupción volcánica, sobre todo las de tipo explosivo, los materiales abandonan el cráter con velocidades de varios cientos de metros por segundo. Las partículas sólidas en el interior de estas nubes son arrastradas por las fuerzas de fricción; si la masa de las partículas es grande se desacoplan de la nube y realizan trayectorias balísticas hacia la superficie terrestre. Las partículas más finas permanecen en la nube, acopladas a los gases por efecto de la turbulencia, formando enormes columnas. La razón de que una columna pueda alcanzar tales alturas se debe a que en la columna el volátil más abundante es el vapor de agua, cuya densidad es menor que la del aire; por otro lado, la columna tam-

bién incorpora aire circundante y lo calienta, con lo cual disminuye su densidad, de manera que si la densidad efectiva de la nube es menor que la del aire circundante, ésta asciende por diferencia de densidad. A lo largo de su ascenso las columnas son arrastradas por los vientos y viajan grandes distancias mientras van depositando el material sólido que las compone. Por otro lado, algunas de estas columnas pueden ascender varias decenas de kilómetros e inyectar partículas muy finas en las capas más altas de la atmósfera, tal fue el caso de la columna causada por la erupción del volcán Chichonal, en marzo y abril de 1982, y de la más reciente del Pinatubo, en Filipinas, en 1991.

Por este mecanismo las nubes pueden viajar grandes distancias y depositar cenizas en lugares muy apartados. Durante la erupción del Chichón las cenizas llegaron hasta las ciudades de Veracruz y Tuxtla Gutiérrez, que se encuentran a unos 360 y 70 km respectivamente; aunque este no es realmente un récord mundial, pues la erupción del Chichón fue solamente una erupción moderada. Aun cuando las cenizas dispersadas de esta manera son poco peligrosas para la vida humana, sí pueden causar daños económicos en una región. Los depósitos de ceniza en los techos pueden ocasionar el colapso de construcciones ya que una capa de 10 cm de ceniza pesa alrededor de 100 kilos por

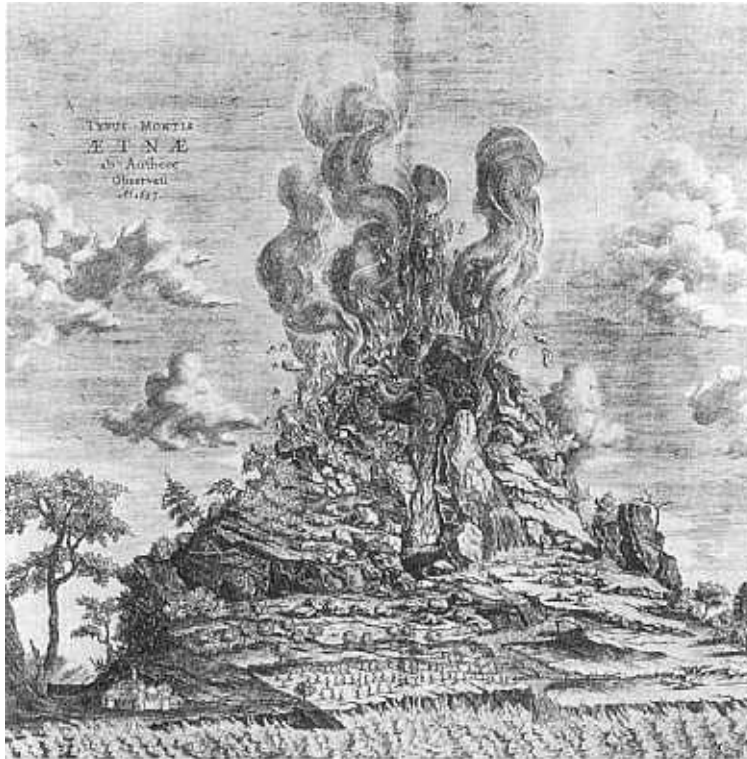
metro cuadrado e incluso más si está húmeda. También pueden arruinar vías de comunicación, la producción agrícola y pecuaria y presentar un serio peligro para la navegación aérea. Con respecto a este último punto debe mencionarse que en los pasados 15 años más de 60 aeronaves en tierra o en pleno vuelo han sufrido daños severos por efecto de las cenizas volcánicas. Al menos 6 aeronaves comerciales han tenido problemas que estuvieron a punto de ser fatales por haber volado, sin percatarse de ello, en nubes volcánicas. El problema es que a gran altura las nubes volcánicas no son distinguibles de las nubes ordinarias, ni detectables con radar. Sin embargo, el efecto de esas pequeñas partículas de vidrio o minerales en el interior de una turbina a alta temperatura es muy dañino.

Por fortuna, los depósitos de una nube volcánica también pueden ser benéficos con el tiempo, pues las cenizas volcánicas se degradan por la acción del intemperismo y sus derivados enriquecen el suelo. Esta es una razón por la cual las regiones aledañas a los volcanes son frecuentemente excelentes para diferentes tipos de cultivos.

En ocasiones las erupciones volcánicas pueden dar origen a inundaciones y avalanchas o a corrientes de lodo. En el lenguaje vulcanológico se las conoce como lahares, palabra con que se designan en Indonesia. Los lahares se produ-



cen por la mezcla del material arrojado con agua, que puede provenir de las lluvias, los casquetes helados que comúnmente tienen los volcanes, o lagos de sus cráteres. También se pueden presentar porque los materiales depositados usualmente azolvan las vías naturales de desagüe. De acuerdo con su contenido de agua y las pendientes encontradas, los lahares viajan a velocidades que pueden llegar a ser del orden de varias decenas y aun cientos de km por hora, y a distancias de varios cientos de kilómetros. En el Ecuador, la erupción del volcán Cotopaxi en 1877 ocasionó un lahar que



se extendió 300 km a lo largo del lecho de un río. En Colombia, la erupción del Nevado de Ruiz, en 1982, ocasionó un lahar que se deslizó a 35 km/h hacia el poblado de Armero, a unos 50 km de distancia, y que segó la vida de sus 20 000 habitantes.

Los magmas contienen gases que son liberados durante la actividad volcánica y sobre todo durante el clímax de la erupción. Los gases son principalmente vapor de agua, bióxido y monóxido de carbono y varios compuestos de azufre, cloro, flúor y nitrógeno en diferentes proporciones. Estos gases presentan diferentes grados de peligrosidad; el monóxido de carbono, por ejemplo, es tóxico; el bióxido de carbono, aunque no es tóxico, puede causar la muerte por asfixia al desplazar el aire, ya que al ser más pesado que éste, se desplaza cuesta abajo y llena de presiones donde pueden provocar la asfixia de personas y animales, pues su carencia de olor lo hace indetectable. Los otros gases son también muy venenosos, aunque su presencia puede ser detectada por los olores característicos que poseen, como el olor a huevo podrido del

ácido sulfídrico. También pueden reaccionar formando ácidos que son transportados como aerosoles y ocasionan quemaduras en los ojos y piel e irritaciones del sistema respiratorio. En agosto de 1986, unas 1 800 personas de varios poblados alrededor del lago Nyos, en Camerún, murieron en condiciones inexplicables, súbitamente, sin mostrar signos de pánico. Posteriormente pudo determinarse que su muerte fue debida a la asfixia por inhalación de bióxido de carbono. El lago Nyos es un cráter volcánico y se cree ahora que el gas provino de una erupción freatomagmática en el fondo del mismo.

Debe aclararse, sin embargo, que la emisión de gases depende de la composición química de las lavas y otros factores termodinámicos, y no siempre se presentan o pueden disiparse en el ambiente.

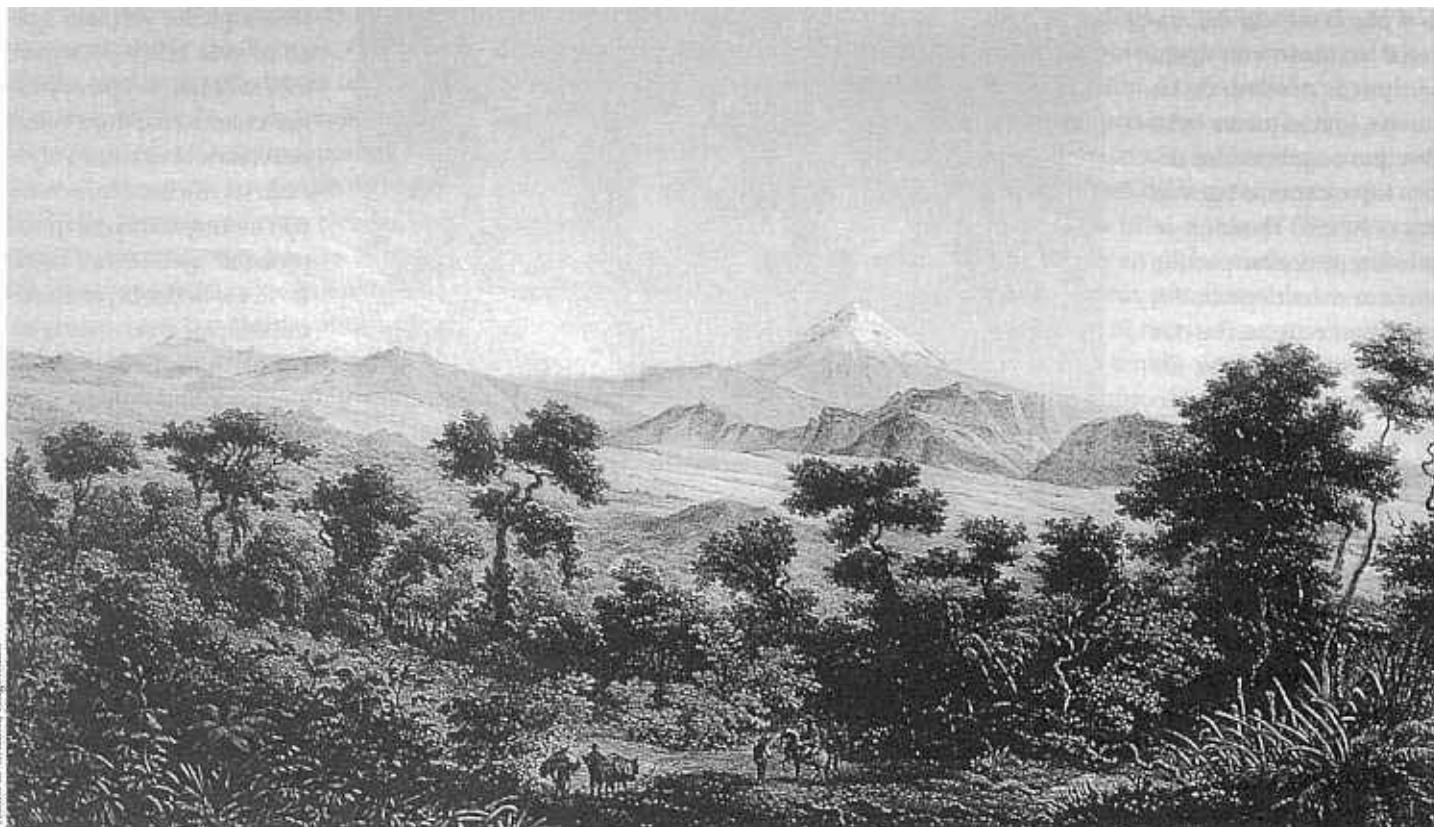
Para concluir esta sección es también importante mencionar algunos términos empleados en vulcanología y que se originan en otros criterios de clasificación de los volcanes. Se habla así, de vulcanismo monogenético y poligenético; con estos términos se designan, respectivamen-

te, a aquellos volcanes que en su vida activa presentan sólo una fase eruptiva y varios eventos eruptivos. Volcanes como el Parícutín o el Jorullo en Michoacán, son de tipo monogenético y es poco probable que vuelvan a activarse. De hecho la parte central del país está cubierta de conos monogenéticos en amplios campos de los estados de Michoacán, México, Jalisco, Guanajuato y el Distrito Federal entre otros. Los volcanes monogenéticos emiten lavas de una composición específica que aparentemente proviene de zonas profundas de la astenosfera. Por su parte, los volcanes poligenéticos pueden a su vez clasificarse de

acuerdo con su morfología. Los más conspicuos y bellos son los grandes estratovolcanes que reciben su nombre precisamente de su estructura compuesta por la sucesión de productos de sus múltiples erupciones.

El vulcanismo en México

En México gran parte del vulcanismo está relacionado con la zona de subducción formada por las placas subducentes de Rivera y Cocos, por un lado, y la gran placa Norteamericana por el otro. Éste tiene su expresión morfológica en la Faja o Cinturón Volcánico Transmexicano; zona en el que se encuentran concentrados una gran mayoría de los grandes estratovolcanes mexicanos y numerosos campos de vulcanismo monogenético. Este cinturón es una elevación volcánica con orientación este-oeste que se extiende por más de 1 200 km y tiene una anchura que varía entre 20 y 150 km. El vulcanismo que tiene lugar en ella es extremadamente variado y ahí se encuentran desde grandes estratovolcanes hasta extensos campos



monogenéticos con volcanes de escudo y conos de cenizas. Tal diversidad implica también una diversidad en la composición química de las lavas y las fuentes de generación de las mismas, aspectos que aún distan de ser explicados completamente, aunque es clara su relación con la subducción de las placas de Rivera y Cocos bajo la gran placa de Norteamérica. Por algún tiempo el hecho de que esta enorme zona no fuera paralela a la trinchera costera fue motivo de especulación; sin embargo, los estudios sísmicos más recientes apuntan al hecho de que las placas subducentes se introducen bajo la de Norteamérica con cambios importantes en su ángulo de penetración. Esto, junto con ciertas características estructurales de la corteza mexicana, explica a grandes rasgos la posición oblicua de dicha faja volcánica.

Otra zona de vulcanismo en nuestro país se encuentra en la Península de California. Estos volcanes tienen su origen en los procesos de esparramiento del fon-

do oceánico en el Mar de Cortés, que son los causantes de la separación de la Península del resto del continente.

En México también existen volcanes solitarios, cuyo origen es menos claro, tal es el caso de los volcanes Chichón y San Martín Tuxtla, que se apartan del cinturón volcánico y, en el caso del San Martín, ha emitido productos de composición diferente a los del cinturón volcánico. El Tacaná, último volcán hacia el sur de México, lo compartimos con la República de Guatemala, y forma parte de la cadena centroamericana.

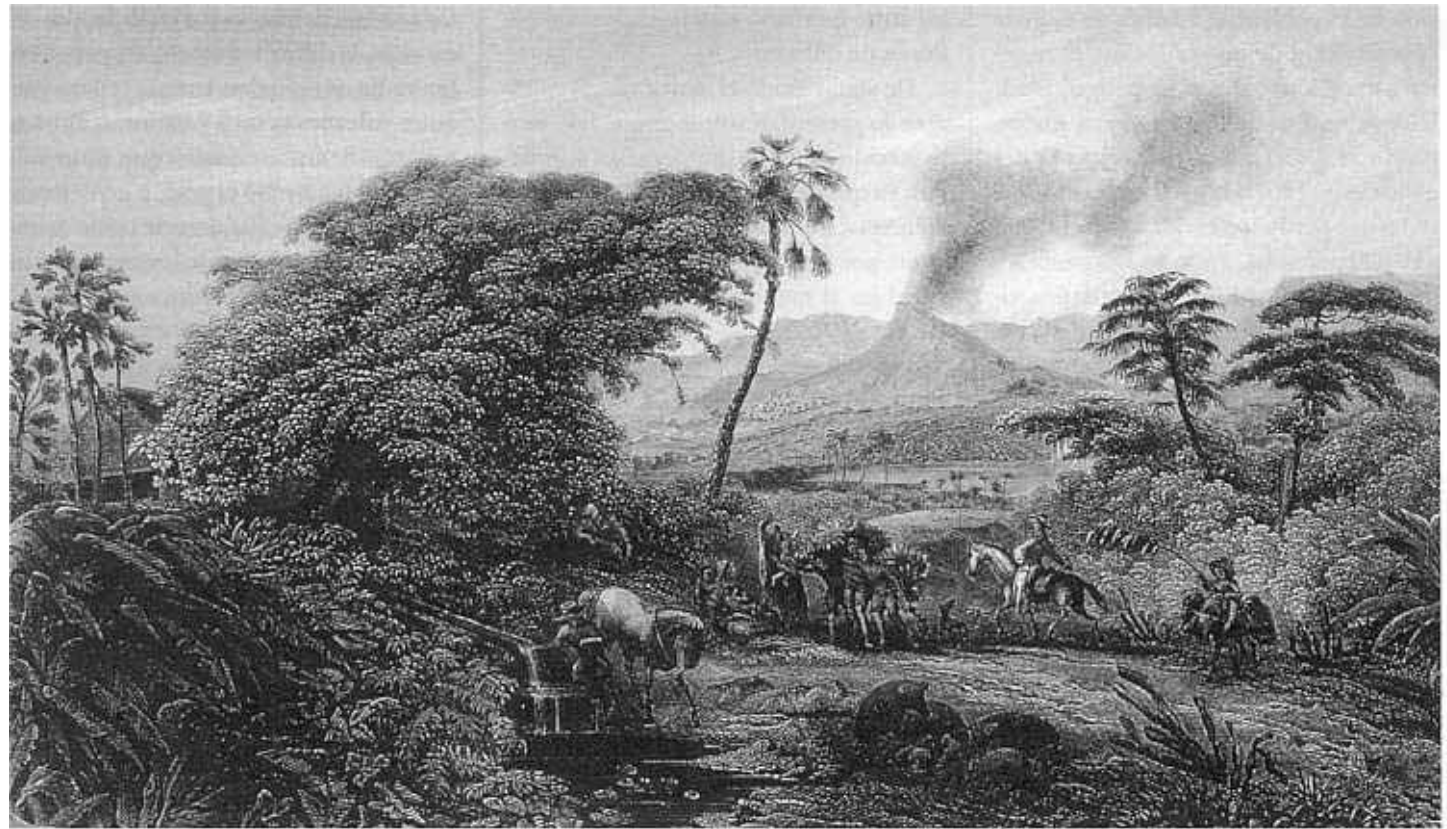
¿Cómo reducir el riesgo volcánico?

Una catástrofe que pudo ser evitada

En México el evento volcánico más desastroso ocurrido en tiempos históricos es la erupción del volcán Chichón o Chichonal, en 1982. Como sucede en muchos desastres, los aspectos más lamentables pudieron haber sido grandemente reducidos si

nuestro país hubiera contado con un sistema de protección civil bajo la asesoría de expertos con conocimientos sobre erupciones volcánicas. Desgraciadamente, en 1982 ni existía un sistema de protección civil ni se coordinó un grupo de asesores científicos para la evaluación del riesgo que presentaba el volcán, incluso después de la primera fase eruptiva que aún no había causado los mayores daños.

La erupción de 1982 dio sus primeros avisos en diciembre de 1981, cuando los habitantes de las inmediaciones del Chichón comenzaron a sentir temblores persistentes en el área, que continuaron durante los meses de enero, febrero y marzo de 1982, llenando de zozobra a los habitantes de la región hasta que, el día 28 de este último mes, una gran erupción produjo una columna de casi 18 km de alto. Esta erupción ocasionó lluvias de cenizas y piroclastos en los poblados circundantes, algunos de los cuales se encontraban a sólo unos cuantos kilómetros del crá-



Miguel Ferrás, Bugreñas

ter, causando pánico y desconcierto entre la población. Lo peor, sin embargo, estaba por ocurrir.

Algunos de los habitantes abandonaron sus hogares y se dirigieron a los poblados grandes más lejanos e incluso a las ciudades de Tuxtla Gutiérrez y Villahermosa. Los días siguientes fueron de gran incertidumbre y confusión. El ejército acordonó la región aunque, ante la ausencia de una voz autorizada y calificada para aconsejar y la contradictoria información de la prensa, no se efectuó una evacuación oficial y organizada. En este estado de cosas, las noches del 3 y 4 de abril se registraron dos grandes erupciones de gran violencia que produjeron derrames y oleadas de piroclastos. La columna eruptiva del último evento alcanzó más de 20 km de altitud e inyectó gran cantidad de partículas en la estratosfera.

Desde un punto de vista social, las erupciones tuvieron un impacto destructivo tremendo. Varios poblados quedaron

cubiertos por flujos de piroclastos con algunos metros de espesor, entre ellos los poblados de Francisco León, San Isidro Tanchichal y El Volcán. El poblado de El Naranjo, localizado en la cima de una pequeña meseta, a unos 8 kilómetros del cráter, resultó completamente arrasado por las oleadas piroclásticas. Las vidas humanas segadas por la actividad del volcán sumaron alrededor de 2 000, al tiempo que la actividad económica de la región fue severamente dañada. Miles de campesinos tuvieron que ser reubicados lejos de la tierra en que nacieron y en que tenían todo lo que poseían. Un área de 30 000 kilómetros cuadrados, de los cuales 153 quedaron completamente devastados, fue cubierta por una capa blanquecina de cenizas de al menos 1 mm de espesor.

Finalmente, el material acumulado en el cauce del río Ostuacán formó una presa que se desbordó el 26 de mayo y formó un lahar con temperaturas de hasta 60°C que se desplazó hacia el poblado de

Ostuacán, donde afortunadamente no ocasionó daños gracias a la intervención del ejército, que llevó a los habitantes a las partes más altas del lugar. El Chichón presentaba, luego de estas erupciones, un cráter de 1 km de diámetro con un lago azul turquesa, de cuya superficie, hasta el momento, se levantan espesas columnas de vapor.

Por la cantidad de fenómenos con que el Chichón anunció su inminente actividad, sus más funestas consecuencias pudieron haber sido minimizadas; que no se tomaran medidas efectivas para lograrlo constituye una dolorosa lección que debe ser aprovechada en todas sus facetas.

Mitigación del riesgo volcánico

Las erupciones volcánicas, sobre todo las explosivas, son fenómenos imposibles de predecir. A pesar de esto, con una razonable vigilancia es posible disminuir significativamente el riesgo que representan.

Desde el punto de vista de la protec-

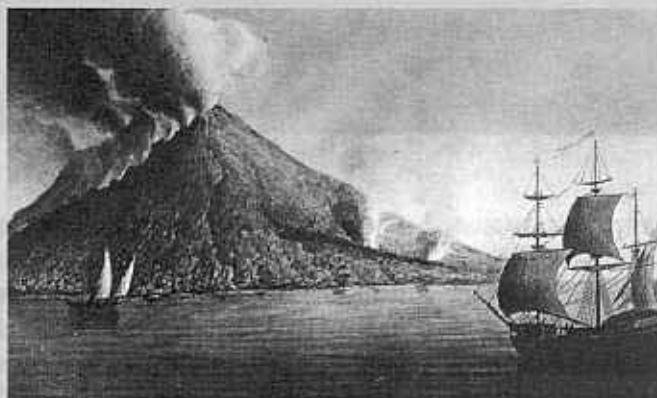
ción de la población, además de evaluar la posibilidad de una erupción, es necesario también estimar su peligrosidad. Una subestimación del peligro puede conducir a una catástrofe, como la del *Mont Pelé* en 1902 o la de Armero en 1982, en las que perdieron la vida más de 40 000 y 20 000 personas. Por otro lado, una sobrestimación puede ocasionar daños sociales y económicos serios como los de 1976, cuando 72 000 personas fueron evacuadas de los alrededores del volcán *La Soufrière* (en la isla francesa de Guadalupe en el Caribe) por casi 4 meses y con

un costo estimado superior a los 500 millones de dólares.

De algún modo el mayor riesgo volcánico lo presentan volcanes que han permanecido en calma por periodos muy largos, ya que la falta de actividad favorece la inconsciencia sobre el peligro. El Chichón, por ejemplo, no había tenido actividad en al menos 600 años, y el Santa Helena tenía un reposo de 1 500 años. En este sentido, se habla a menudo de volcanes extintos y volcanes activos, pero definir estos términos resulta difícil pues to que, si bien se pueden observar aparatos

volcánicos muy viejos y calificarlos de extintos, la dificultad estriba en poner un límite de antigüedad para la separación entre volcanes activos y extintos. Durante algún tiempo se pensó que si un volcán no había hecho erupción en tiempos históricos podía considerarse como extinto. Desafortunadamente los tiempos históricos comenzaron en diferentes épocas para los diferentes continentes o regiones; por otro lado, la erupción de volcanes considerados como extintos en este sentido, demostró lo erróneo de tal criterio. Actualmente, prefiere pensarse en

ALGUNAS ERUPCIONES, SOBRESALIENTES EN LA HISTORIA



Fecha	Volcán	Observaciones
1500 aC	Tera, Mar Egeo	Esta tremenda erupción causó grandes tsunamis. Ocurrió 50 años antes de la caída de la civilización cretense.
79 aC	Vesubio, Italia	Cubrió la ciudad de Pompeya y Herculano.
1815	Tambora, Indonesia	92 000 muertes. Formó una caldera de 6 km de diámetro y fragmentó el edificio volcánico, con lo que su altura se redujo de 4 000 a 2 850 msnm.
1883	Krakatoa, Indonesia	La erupción causó tsunamis que ocasionaron la muerte de 40 mil personas. La columna eruptiva se levantó 35-50 km y formó una caldera de 6 km de diámetro.
1877	Cotopaxia, Ecuador	Produjo un lahar de 300 km de largo.
1902	Mont Pelée, Antillas Francesas	30 000 muertes. Destruyó la ciudad de Saint Pierre.
1943-52	Pancutín, México	Nacimiento del volcán en un campo de cultivo. Destruyó varios poblados.
1980	Santa Helena, EUA	Erupción Lateral, 30 muertes. Una de las erupciones que más datos ha aportado a la vulcanología moderna.
1982	Chichón, México	Causó 2 000 muertes e inyectó aerosoles en la estratosfera.
1982	Nevado de Ruiz, Colombia	Produjo un lahar que destruyó el poblado de Armero ocasionó la muerte de 20 000 habitantes.
1991	Unzen, Japón	41 muertos, entre ellos los vulcanólogos Maurice y Katia Kraft y Harry Glicken.
1991	Pinatubo, Filipinas	Ésta es la erupción más importante de este siglo. Inyectó gran cantidad de bióxido de azufre en la atmósfera.

términos probabilísticos y designar como volcanes de alto riesgo a aquellos que tuvieron erupciones en las últimas decenas de miles de años.

Por lo que respecta a la actividad pertinente para mitigar los riesgos, ésta incluye varios aspectos que pueden clasificarse de la siguiente manera:

1) *Zonamiento y elaboración de mapas de riesgo volcánico y uso del terreno.* Esta actividad consiste en el estudio de los depósitos que dejaron las erupciones previas de un volcán determinados. Con estos estudios, los científicos pueden averiguar la edad y el estilo de las erupciones antiguas y estimar valiéndose de estos datos y otros conocimientos teóricos, los tiempos típicos de reposo de un volcán y el tipo de erupciones que puede tener, así como elaborar mapas en los que se señalan las áreas sujetas a la acción de los diferentes fenómenos que hemos visto. Corresponde después a las autoridades, diseñar reglamentos de uso del terreno para destinarlo a las actividades más apropiadas.

2) *Vigilancia.* La vigilancia de los volcanes activos es una actividad permanente que consiste en el análisis sistemático de datos geofísicos, geológicos y geoquímicos, lo que incluye la operación continua de sismógrafos e inclinómetros, así como de medidas sistemáticas del valor de la gravedad, del campo magnético y de las temperaturas alrededor del volcán. En los análisis geoquímicos se incluyen los de los gases de las fumarolas y solfataras, así como de las aguas de manantiales aledaños y las variaciones de gas radón liberado en la superficie.

La actividad asociada a una erupción volcánica comienza mucho antes de que ésta se presente en la superficie. El transporte de magma desde las profundidades de la Tierra ocasiona una serie de cambios que, si son detectados en la superficie, constituyen una advertencia del peligro inminente. En particular, el movimiento del magma ocasiona temblores de varios tipos que constituyen un elemento de premonición. Asimismo, el terreno

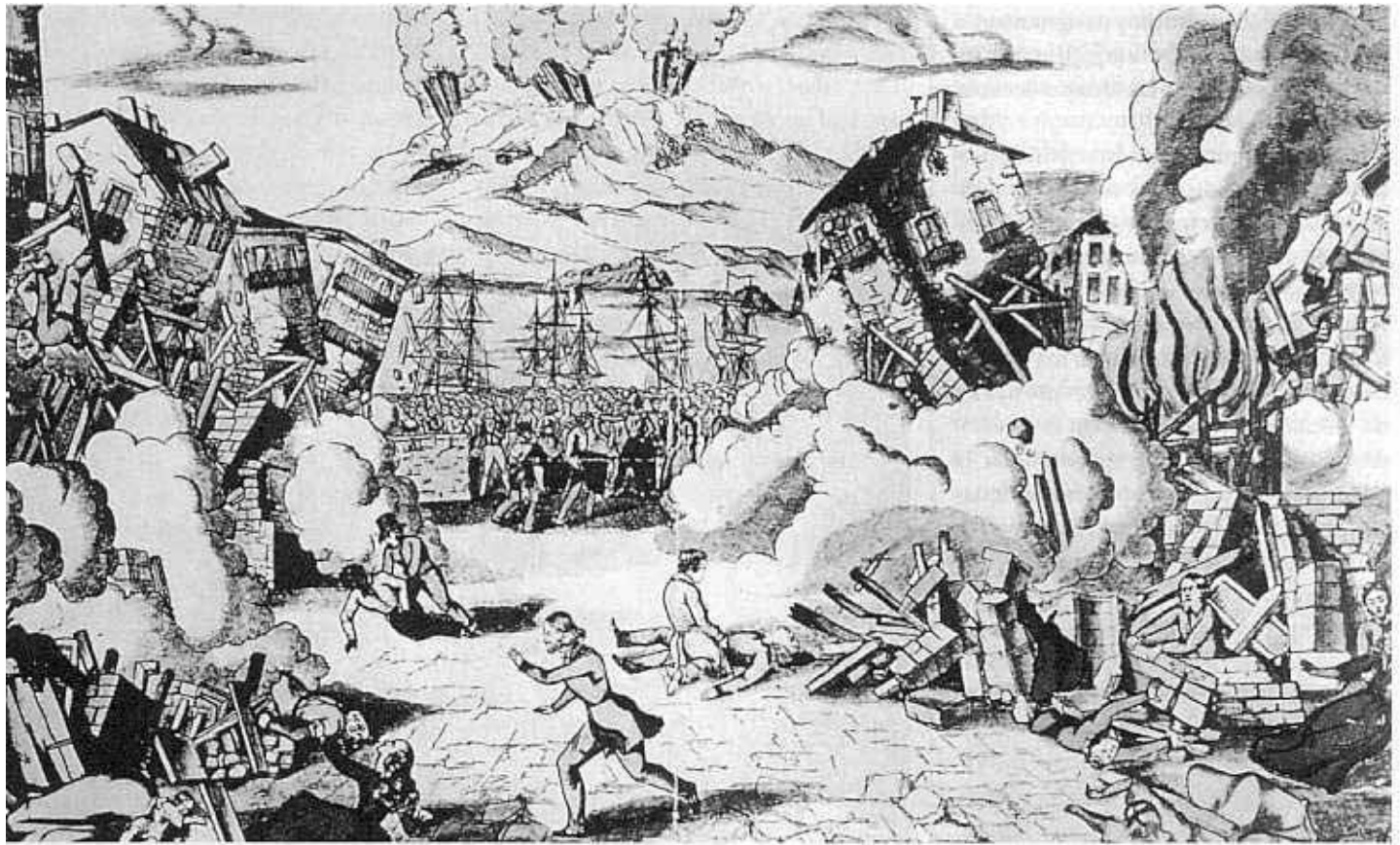


se deforma por efecto de la intrusión magmática. Tal deformación es detectada por medio de técnicas topográficas convencionales o por medio de inclinómetros. Estos instrumentos ocupan la posición de una burbuja o un fluido para detectar inclinaciones tan pequeñas como un milímetro por kilómetro.

Por otra parte, los magmas contienen una gran variedad de gases que son emitidos a través del cráter volcánico y su sistema geohidrológico asociado; la salida de un material magmático produce cambios en la composición, contenido y temperatura de las emanaciones, que pueden ser determinados y utilizados para inferir la proximidad de un cuerpo magmático. Las tensiones a las que el terreno se somete debido a la inyección de magma hacen crecer los poros de las rocas y crean fracturas por las cuales, el gas radón, con-

tenido en los poros de las rocas, viaja hacia la superficie donde puede ser detectado. Este gas proviene del decaimiento radiactivo del uranio contenido en muy pequeñas cantidades en todas las rocas, y migra continuamente hacia la superficie por medio de pequeñas fracturas en las mismas. Cuando las rocas se sujetan a tensiones o compresiones, las fracturas crecen y se interconectan de manera que el gas escapa con mayor facilidad hacia la superficie donde se detecta el aumento en su salida, si el área se vigila sistemáticamente.

Además de las técnicas mencionadas, se utilizan algunas otras cuando son aplicables a un tipo de volcán en particular o se desea vigilar algún aspecto específico. Por ejemplo, en cráteres o calderas ocupadas por lagos se han usado mareógrafos, con objeto de utilizar la



superficie del lago como inclinómetro natural. En otros casos se observa el edificio volcánico con detectores infrarrojos para distinguir posibles fracturas que pudieran ser el prelude de un derrumbe del edificio volcánico.

En general no existe una metodología fija, y en cada país se ha experimentado con técnicas diversas que dependen de condiciones logísticas y económicas; sin embargo, la observación de los cambios en la sismicidad, deformación y emisiones geoquímicas son (en ese orden) los más ampliamente utilizados en la actualidad.

Para finalizar, debe aclararse que no siempre los cambios en las variables mencionadas indican una erupción violenta; sin embargo, estas erupciones se anuncian en la generalidad de los casos con cambios en varios de los parámetros mencionados.

Perspectivas

Como parte del cinturón de fuego del

Pacífico, México cuenta con una docena de volcanes activos, (abajo) de éstos, sólo el Popocatépetl y el Volcán de Colima tienen una vigilancia satisfactoria, lo que es natural, pues cerca de estos dos volcanes se encuentra una gran densidad de población; sin embargo, todos los demás constituyen un peligro cuyo riesgo no ha sido suficientemente evaluado. Es de de-

searse que en el futuro el país cuente con mayores recursos, tanto económicos como humanos, para realizar una tarea cuya necesidad solo sería conspicua si ocurriera una nueva catástrofe. ☹

Juan Manuel Espindola y José Luis Macías Vázquez: Instituto de Geofísica, UNAM

