

Ciencia y Cultura

elementos

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

No. 30 Vol. 5 abril-junio 1998 \$20.00



sumario

- 3 el **popocatépetl**
Désiré Charnay
- 13 **volcanismo**
Francisco Medina Martínez
- 20 evaluación de la actividad del
POPOCATÉPETL y de su sistema de monitoreo
Servando de la Cruz Reyna
- 25 los **glaciares** de México
Alejandro Rivera Domínguez
- 33 los mensajes del **volcán**
María Eugenia Mendoza Álvarez, Cristóbal Tabares Muñoz
- 37 de cómo **José María Velasco**
descubrió los volcanes
Montserrat Gali Boadella
- 41 A las faldas del volcán **POPOCATÉPETL**
Guillermo J. González Pomposo, Carlos Valdés González,
Alejandra Arciniega, Antonio Pérez Soto
- 50 estudio de las **propiedades térmicas** de
compósitos geológicos del **Popocatépetl**
Eliás López Cruz, Víctor Dossellí Romero
- 51 los **imaginarios** en el **POPOCATÉPETL**
Aurelio Fernández Fuentes
- 61 Xiutépētī-Xalliquéhuac-Popocatépetl,
las fases del volcán según la taxonomía indígena
Manlio Barbosa Cano
- 68 los **misioneros** del temporal
- 71 el **sueño** y el **sismógrafo**
Julio Glockner
- 78 **bajo el volcán**
Malcolm Lowry

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA: rector, Enrique Doger Guerrero • secretario general, Guillermo Nares Rodríguez • vicerrector de Investigación y Estudios de Posgrado, Carlos Contreras Cruz.

ELEMENTOS, revista bimestral de ciencia y cultura, número 30, volumen 5, abril-junio 1998 • director, Enrique Soto Eguibar • subdirector, Marcelo Gauchat • consejo editorial, Beatriz Eugenia Baca, María de la Paz Elizalde, Enrique González Vergara, Francisco Pellicer Graham, Leticia Quintero Cortés, José Emilio Salceda, Raúl Serrano Lizada, Cristóbal Tabares Muñoz, Gerardo Torres del Castillo • edición y diseño, Marcelo Gauchat, José Emilio Salceda • La selección del material para este número estuvo a cargo de Julio Glockner. La Dirección de Comunicación Social del Gobierno del Estado de Puebla colaboró para la edición de este número • portada, Sergio Javier González Carlos • fotografías, Rafael García Otero, pp. 58, 59, 70, 71, 72, 75, 77, Sergio Javier González Carlos, p. 78, Abraham Paredes, p. 46; Alejandro Rivera, 25, 27, 28, 29, 33, Pál Rosi, p. 68; Enrique Soto, pp. 52, 53, 61, 66, 67 • redacción, 14 Sur 6301, Ciudad Universitaria, Apartado Postal 406, Puebla, Pue., C.P. 72570 • email: elementos@siu.cen.buap.mx • Certificados de licitud de título y contenido 8148 y 5770. Evita los excesos.



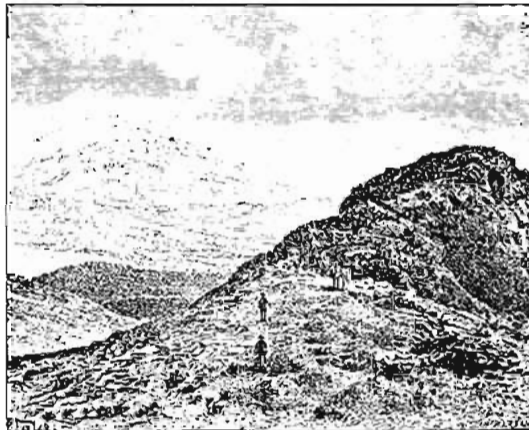
Désiré Charnay fue uno de esos viajeros cultos que en el siglo pasado recorrieron Méxi-

el popocatépetl

Désiré Charnay

co fascinados por su pasado arqueológico y por el exotismo de las costumbres de su población indígena y mestiza. Charnay hizo importantes descubrimientos de cerámica tolteca y de algunos restos óseos en zonas cercanas al glaciar del Popocatépetl. El texto que presentamos a continuación corresponde al final de su segundo viaje a nuestro país. Algunos años más tarde volvería a México prestando sus servicios como fotógrafo, además de proporcionar valiosa información y asesoría a la Commission Scientifique du Mexique, organizada por Napoleón III. Según Lorenzo Ochoa, quien prologa su obra Ciudades y ruinas americanas, de donde tomamos el capítulo correspondiente al Popocatépetl, los conocimientos que sobre México tenía Charnay pudieron haber sido utilizados por el Estado Mayor Francés durante aquella desventura conocida como el Imperio de Maximiliano.

Julio Glockner



No podía abandonar México sin intentar el ascenso del Popocatepetl, el volcán más alto de América del Norte. Había ahí bellísimas vistas que tomar y, como recuerdo al menos, deseaba reproducir el interior del cráter, el pico y sus alrededores. Fuera de esto, parecía halagador para mi amor propio de viajero el poder tomar fotografías a 17,852 pies sobre el nivel del mar. Así pues, preparé mi pequeño equipaje artístico compuesto de una cámara estereoscópica y de diversos productos. Llevaba conmigo a un joven llamado Luis, quien en México me había ayudado en mis trabajos fotográficos. Nuestra partida se fijó para fines de septiembre.

Existe un servicio de diligencias que transporta a los viajeros hasta el pie del volcán.

La diligencia atraviesa Ayotla, deja a la derecha la carretera de Veracruz y se introduce en la meseta, pasa delante de la hilandería de Miraflores, se detiene un instante en Tlalmanalco y luego desemboca en Amecameca.

Amecameca es un pueblo grande al pie del volcán y su posición en la meseta es una de las más bellas del valle. Había hecho amistad, en este último pueblo, con don Cirilo Pérez, comerciante, y con su hermano Pablo, juez de paz en Ameca.

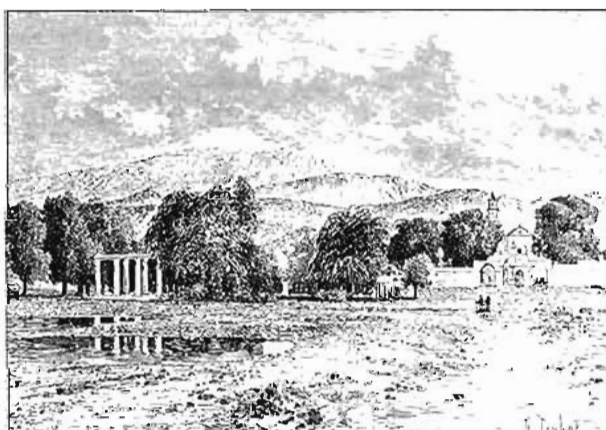
Este último se interesaba apasionadamente por la fotografía y nos acompañó en diversas excursiones; de esta manera, ambos caballeros hicieron lo posible para facilitarnos el ascenso al pico. Tuvimos sin embargo que retardar la partida; diez días de lluvia nos detuvieron en el pueblo y el volcán sólo se mostraba en raros intervalos. En tales condiciones el viaje hubiera sido un fracaso. Por fin, el tiempo cambió y partimos. Primero pernoctamos en la hacienda de Tomacoco, perteneciente a la familia Pérez y situada en medio de un maravilloso paisaje. Nuestros guías y mozos debían alcanzarnos allí.

Al día siguiente, muy temprano, estábamos en camino. Mi grupo se componía de dos guías, cuatro indios, don Luis y yo. El sendero se hunde en los bosques de pinos para volverse pronto abrupto y resbaloso. Cada paso hacia adelante da al panorama del valle una extensión más grande y, en los claros del bosque, la mirada descansa gozosa en los sitios más encantadores. El bosque se desarrolla grande y majestuoso, a cada instante pasamos árboles de enorme diámetro y altura gigantesca. Pero el frío nos congela y tenemos que desmontar para aliviar a nuestras bestias cuyos resoplidos ruidosos anuncian la fatiga y la opresión.

Alcanzamos entonces una primera meseta que cruza el sendero de Puebla. Esta ruta es la misma que siguió Cortés en su marcha de Cholula a México y pensamos que el lector estaría interesado en conocer la hermosa página que el historiador Prescott consagró a este episodio de la vida del conquistador español:

Los españoles desfilaron entre dos de las más altas montañas de la América septentrional, el Popocatepetl, 'la montaña que humea', y el Iztaccihuatl, 'la mujer blanca', nombre sugerido sin duda por el resplandeciente manto de nieve que se extiende sobre su amplia superficie accidentada. Una superstición pueril de los indios había deificado estas montañas célebres y el Iztaccihuatl era, a sus ojos, la esposa del formidable vecino. Una tradición de orden más elevado representaba al volcán del norte como la morada de los crueles jefes quienes, por las torturas a las que eran sometidos en su prisión de fuego, ocasionaban esos horribles estruendos y esas convulsiones terribles que acompañaban cada erupción. Era la fábula clásica de la Antigüedad. Estas leyendas supersticiosas habían rodeado a esta montaña de un misterioso horror que impedía a los naturales intentar el ascenso: había, es cierto, que considerar los obstáculos naturales, una empresa que representa enormes dificultades.

El *gran volcán*, como llamaban al Popocatepetl, se eleva a una altura de 17,852 pies sobre el nivel del mar, es decir, a más de 2,000 pies por encima del 'monarca de las montañas', la más alta cima de Europa. El Popo ha dado raramente, durante el siglo actual, señales de su origen volcánico, y la 'montaña que humea' casi ha perdido su título para esta apelación. Pero en la época de la Conquista, con frecuencia



estaba en actividad y desplegó sus furores sobre todo cuando los españoles estaban en Tlaxcala, lo que fue considerado como un siniestro presagio para los pueblos del Anáhuac. Su cima, formada en cono regular por los depósitos de erupciones sucesivas, afectaba la forma ordinaria de las montañas volcánicas desde el momento en que no se halla alterada por el hundimiento interior del cráter. Elevándose a la región de las nubes, con su envoltura de nieves eternas, se percibía a lo lejos desde todos los puntos de las vastas planicies de México y de Puebla. Era el primer objeto que el sol saludaba por la mañana, el último sobre el cual se detenían los rayos del ocaso. Esta cima se coronaba de una gloriosa aureola cuyo resplandor contrastaba de manera asombrosa con el horrible caos de lavas y de las escorias inmediatas a su base y la espesa y sombreada cortina de pinos funerarios que lo rodean.

El misterio mismo y los terrores que envolvían al Popocatepetl inspiraron a algunos caballeros españoles, dignos rivales del héroe de la novela de su país, el deseo de intentar el ascenso a esta montaña, tentativa en la cual la muerte debía ser, según decían los naturales, el resultado inevitable. Cortés los animó en su deseo queriendo mostrar a los indios que nada estaba por encima de la audacia indomable de sus compañeros. En consecuencia, Diego de Ordaz, uno de sus capitanes, acompañado de nueve españoles y de varios tlaxcaltecas enardecidos con su ejemplo, emprendieron el ascenso que presentó más dificultades de las que habían supuesto.

La región inferior de la montaña estaba cubierta por un espeso bosque que con frecuencia parecía impenetrable. Este oquedal se aclaraba sin embargo a medida que se avanzaba, degenerando poco a poco en una vegetación ra-

quílica y cada vez más escasa, que desapareció eternamente cuando llegaron a una altura de un poco más de 13,000 pies. Los indios, que habían aguantado hasta allí, asustados por los ruidos subterráneos del volcán entonces en actividad, abandonaron a sus compañeros. El camino escarpado que éstos tenían ahora que subir no ofrecía más que una negra superficie de arena volcánica cristalizada y de lava, cuyos fragmentos rotos tomaban mil formas fantásticas oponiendo continuos obstáculos al progreso de los españoles. Una enorme roca, el Pico del Fraile, que tenía 150 pies de altura perpendicular y que se distinguía perfectamente desde la base de la montaña, los obligó a hacer una gran desviación. Pronto llegaron a los límites de las nieves perpetuas; apenas se podía poner el pie sobre el pérfido hielo, donde un paso en falso podía precipitar a nuestros audaces viajeros a los abismos abiertos a su alrededor. Para acrecentar las molestias, la respiración se volvió tan penosa en estas regiones aéreas, que cada esfuerzo iba acompañado de agudos dolores de cabeza y de los miembros. Continuaron, sin embargo, avanzando hasta las aproximaciones del cráter donde espesos torbellinos de humo y una lluvia de cenizas calientes y de chispas vomitadas por el seno inflamado del volcán, estuvo a punto de sofocarlos al mismo tiempo que los cegaba. Era más de lo que sus cuerpos, endurecidos como estaban, podían soportar y se vieron, contra sus deseos, forzados a abandonar su peligrosa empresa en el momento en que llegaban a su meta. Trajeron, como trofeos de su expedición, algunos pedazos de hielo, producto bastante curioso en estas regiones tropicales, y su éxito, sin haber sido completo, fue suficiente para llenar a los naturales de estupor haciéndoles ver que los más formidables obstáculos, los peligros más misteriosos, no eran más que un juego para los españoles. Estos trazos, además, describen bien el espíritu aventurero de los caballeros de esta época, quienes, no contentos con los peligros que naturalmente se ofrecían a ellos, parecían buscarlos por el solo placer de afrontarlos. Una relación del ascenso al Popocatepetl fue transmitida al emperador Carlos V, y la familia de Ordaz fue autorizada a llevar, en memoria de esta hazaña, una montaña inflamada en su escudo de armas.

En la vuelta de un ángulo de la sierra, los españoles descubrieron una perspectiva que pronto los hizo olvidar las fatigas de la vispera. Se trataba del valle de México o de



Tenochtitlán, como lo llaman comúnmente los naturales. Era una mezcla pintoresca de aguas, bosques, planicies cultivadas, ciudades resplandecientes, colinas cubiertas de sombras, que se desplegaba ante sus ojos como un rico y brillante panorama. Los objetos alejados tienen, en la atmósfera extraña de estas altas regiones, una frescura de tintes y una nitidez de contornos que parecen disminuir la distancia. A sus pies se extendían, hasta perderse, los nobles bosques de robles, de sicómoros y de cedros; más allá, campos dorados de maíz y de altos aloes, entremezclados de vergeles y de jardines en flor; porque las flores, de las cuales hay un gran consumo durante las fiestas religiosas, eran todavía más abundantes en el poblado valle que en otras partes del Anáhuac. En el centro de este inmenso estanque se veían lagos que ocupaban en tal época una porción más grande en superficie; sus orillas se hallaban salpicadas de numerosos pueblos y aldeas. En fin, en medio del panorama, la bella ciudad de México, la "Venecia de los aztecas" reposando, como su rival, en el seno de las aguas. Encima de estos monumentos, se levantaba el monte real de Chapultepec —residencia de los monarcas mexicanos— coronado por estos mismos macizos de gigantes cosos cipreses que proyectan todavía en la actualidad sus anchas sombras sobre la planicie. En la lejanía, más allá de las azules aguas del lago, se distinguía, como un punto brillante, Texcoco, la segunda ca-

pital del imperio; más lejos todavía, el oscuro cinturón de púrpura que servía de marco al rico cuadro del valle.

Tal era la magnífica vista que asombró los ojos de los conquistadores. Y hasta hoy, que estos lugares han sufrido tan tristes cambios, hoy, que estos majestuosos bosques han sido abatidos y que la tierra, sin abrigo contra los ardores de un sol tropical, está, en muchos lugares, completamente estéril; hoy, que las aguas se han retirado dejando a su alrededor una ancha playa árida y blanqueada por las incrustaciones salinas, mientras que las ciudades y las aldeas que animaban antaño sus orillas han caído en ruinas; hoy, que la desolación ha puesto su sello sobre este risueño paisaje, el viajero no puede contemplarlo sin un sentimiento de admiración y de regocijo.

Los tiempos han cambiado, como podrá juzgar el lector después de este capítulo; y el ascenso, calificado de hazaña por el conquistador y que valió al autor un nuevo símbolo en su blasón, no nos parece actualmente, fuera de ciertas fatigas, más que un simple paseo. Pero continuemos.

Dejamos el sendero a la izquierda para internarnos, a la derecha, entre los montes Hueloxóchitl y Penacho. Los árboles han perdido su vigor y el bosque se vuelve claro. La pendiente, bastante suave, permite a los caballos avanzar con paso rápido y veinte minutos después alcanzamos la cima de Tlamacas, al pie de la cual se encuentra el rancho del mismo nombre. Éste no posee más que tres miserables cabañas, de las cuales una sirve de abrigo a los indios empleados para la extracción de azufre del volcán, otra es la habitación del dueño del rancho y la más grande alberga la fábrica donde se elabora el azufre bruto, de donde sale en masas cuadradas o redondas de cincuenta kilogramos aproximadamente.

El rancho de Tlamacas se encuentra a cerca de 4,000 metros sobre el nivel del mar; por esto, durante la noche, el frío resultó terrible, mi termómetro marcaba diez grados bajo cero. Tuvimos que retirarnos a la choza de los hornos entonces en plena actividad, pero los vapores sofocantes pronto nos hicieron salir con accesos de tos que duraron mucho tiempo. Yo no podía comprender la insensibilidad de los desdichados indios encargados de la fabricación.

Esa primera noche fue horrible y desperté helado, entumecido, casi insensible.



Désiré Chamay, 1828-1915.

La jornada no se anunciaba brillante. Desde la primera hora la cima del volcán se había cubierto de espesas nubes y debimos retardar el ascenso.

Nuestro tiempo fue empleado en excursiones por los alrededores, principalmente sobre la cima de una montaña que se halla frente al rancho de Tlamacas y desde donde la vista se extiende sobre los valles de Puebla y de México. Desde este elevado punto, el turista se encuentra bastante cerca del Iztaccíhuatl, del cual pude tomar una foto bien lograda.

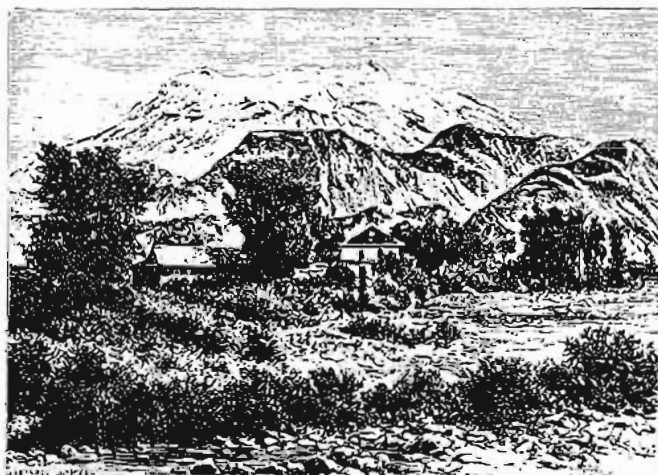
Lo que más me asombró en estas alturas, fue ver pasar a mis pies, en el bosque de pinos que cubre la montaña, tres o cuatro parejas de guacamayos verdes. No podía creer lo que veían mis ojos. ¡Guacamayos al pie de las nieves! Me parecía imposible, pero su plumaje esmeralda y sus gritos familiares al oído, no me dejaron ninguna duda. Seguramente llegaban de tierra caliente en busca de piñas de pino, pues los vi perderse en el bosque para salir mucho tiempo después y dirigirse en dirección del estado de Guerrero.

El mismo día, el guía nos condujo a la base misma del volcán, cerca del Pico del Fraile que domina la barranca de Mispayantla.

La subida, en esta arena mezclada con cenizas, resulta penosa y la respiración nos faltaba a cada instante. Al llegar a la altura, hice colocar la tienda, pero un viento terrible estuvo a punto de llevársela. En medio de tales dificultades, tomé varias fotos del Pico del Fraile, del caos de rocas volcánicas que lo rodean y de las profundidades de la barranca.

—Bajo sus pies —me dice el guía, se hallaba antes un cementerio y últimamente se descubrió en este mismo lugar toda una serie de vasijas aztecas.

Esta comunicación incitó nuestra curiosidad. Don Luis y yo, armados con un simple palo, nos pusimos a registrar la tierra, bastante suelta, del lugar y encontramos, en efecto, restos de huesos humanos y pedazos de vasijas antiguas. Este pequeño éxito no hizo más que inflamar nuestro ardor. Don Luis excavaba con su palo y, provisto de un puñal, yo limpiaba con precaución las vasijas porque, medio podridas por su larga permanencia en la tierra, eran de una fragilidad extraordinaria y sólo se volvían a endurecer secándolas al sol. Exhumamos de esta manera una docena de vasijas de formas diversas, de tierra roja, pero todas parecidas en su decoración. Ésta consistía en una burda imitación de la figura



humana obtenida por medio de pequeñas bandas de arcilla pegadas a la superficie de la vasija. Una de ellas, sin embargo, ofrecía cierta elegancia de forma. La pieza más notable era una lámpara de estilo etrusco, con diversas pinturas negras sobre el fondo rojo del barro cocido.

Es muy probable que esta sepultura date de los primeros tiempos de la Conquista, cuando los indios, acosados como bestias salvajes, se refugiaban en los bosques y en las alturas inaccesibles de la sierra. Su religión se conoce por las tumbas; podían esperar que, en estas tierras vírgenes de pasos humanos, los despojos mortales de los suyos quedarían al abrigo de las profanaciones españolas.

El día siguiente se pasó en la febril espera del gran momento. El pico se velaba sin cesar a nuestros ojos para prohibir nuestra cercanía; mientras tanto, abajo gozaban de un tiempo magnífico y de un sol espléndido. Distinguíamos los menores accidentes de la planicie y por la noche veíamos alumbrarse los faroles de Puebla. Nuestros guías mexicanos, hablándonos de la dificultad del ascenso, juzgaban mal nuestras fuerzas y nuestro ardor, nos tenían con miseria y expresaban en voz alta sus dudas bastante dolorosas para nuestro amor propio de viajeros. Impuse silencio a esta habladuría tan mexicana, bien resuelto a desmentir de la manera más formal la injuriosa profecía.

La noche del tercer día anunciaba una mañana favorable y nos pusimos a trabajar en nuestros preparativos. Fuera de los dos guías y los cuatro indios que nos acompañaban, había alquilado al dueño del rancho otros tres indios para dividir los bultos con los nuestros.

Mandé llenar doce botellas de agua porque no debíamos encontrar en el volcán, me aprovisioné de dos botellas de



mezcal para darnos fuerzas y con los pies envueltos en una tela de lana muy gruesa, esperamos el día siguiente con impaciencia

A las tres de la madrugada, Luis y yo montamos a caballo; nuestros hombres nos precedían a pie y guiaban nuestras monturas por el sendero del bosque. Poco después, llegamos al límite de la vegetación y nuestros caballos avanzaban con dificultad en la arena. Despuntaba el alba cuando atravesamos la barranca de Huiloac, precipicio profundo, formado en tiempo de lluvias por el recorrido de las aguas en la montaña y que estaba seco entonces. La Cruz y sus rocas se dibujaban delante de nosotros en el límite de las nieves, parecían hallarse a corta distancia; llegamos después de una hora de marcha con repetidas paradas. Eran las cinco y media.

En este lugar bajamos del caballo; un indio debía regresarlos a Tlamacas. Quedaba por hacer lo más difícil. Entumecidos por el frío, las piernas casi no nos soportaban y tuvimos que hacer ejercicios preparatorios. El disco del sol salía como un nimbo de las profundidades del horizonte, distribuyendo apenas un débil resplandor rosa pálido sobre el manto nevado del volcán. El sitio era salvaje, grandioso, terrible; nada podría dar una idea

La caravana se puso en marcha. Estábamos provistos de lentes azules para prevenir los accidentes oftálmicos tan frecuentes en estos casos, en medio de la cegadora luz que multiplica la reverberación de los hielos. Los indios del rancho se hallaban equipados de la misma manera. El guía estaba, además, provisto de una cantidad de *ocoxochitl*, yerba de virtudes singulares que consisten en aliviar la respiración en estas altitudes. Se llena con ella la copa del sombrero y, cuando la opresión se vuelve demasiado fuerte, se aspira el

aroma que expande, el cual es más violento a medida que la yerba está más seca

Le agradecí al guía el ofrecimiento de su yerba milagrosa y le aseguré que estaría bien sin ella. Él sonrió con un gesto de duda y tomó la delantera. Yo lo seguía, después venían don Luis y el resto del grupo. Todos me habían hecho un drama sobre lo difícil del ascenso y esperaba dificultades inauditas. Confieso que al principio no me sentía a mis anchas. Me habían predicho una espantosa sofocación, yo no experimentaba, en suma, más que una aprehensión, la cual se disipó rápidamente al ver que avanzábamos sin incidentes de ninguna clase. El trabajo de mis pulmones era admirable y no experimentaba más fenómenos que una resequedad en la garganta acompañada de una sed inextinguible. El remedio se encontraba al lado del mal; a cada instante, me agachaba para recoger puñados de nieve y tomarla. Sin embargo, nos deteníamos de vez en cuando. El guía se volvía a menudo con la sonrisa en los labios creyendo habernos dejado lejos de él, pero Luis y yo no perdíamos el paso y, si no hubiera sido por ignorar la ruta a seguir, hubiéramos podido dejarlo atrás. Sólo un indio nos seguía, los otros se hallaban a centenares de pasos más abajo.

Eran las ocho y cuarto cuando llegamos al orificio del cráter. El guía se detuvo en la entrada que llevaba al interior del volcán; tenía que esperar a los hombres para preparar la tienda, de manera que yo pudiera empezar inmediatamente mis operaciones. Luis y yo continuamos por la derecha para alcanzar la cima más alta de la montaña.

Nuestras piernas temblaban como las de un borracho, una ligera opresión se había apoderado de nosotros, pero desapareció después de algunos instantes de reposo. Tenía-



mos la nieve para quitarnos la sed y la mezclábamos en una copa con una cantidad igual de mezcal. Nos sentamos. La pendiente a pico y el oceánico panorama que se extendía sobre los cuatro puntos cardinales, nos habían hundido en una absorbente admiración. ¿Cómo atreverme a describir lo que he visto?

Sin embargo, voy a intentarlo, hablando tal como el infinitamente pequeño puede hablar de cosas infinitamente grandes. ¿No es acaso el infinito este horizonte de 80 leguas, que triplica la extensión del horizonte marino con la misma grandeza de líneas, pero más rico, con sus desiertos, sus campos cultivados, sus bosques y sus mil planos escalonados, donde el prisma resplandeciente de luz vierte pródigamente sus más brillantes colores?

Al llegar al punto culminante del labio superior del cráter, el viajero se encuentra entre dos abismos y el vértigo que al principio se adueña de él, parece más un deslumbramiento por los esplendores que su mirada abraza, que el efecto de los precipicios abiertos que osa desafiar. Tiene detrás de él el cráter inmenso, sus chorros de vapor sulfuroso y sus estruendos subterráneos; a sus pies, un caos de rocas mutiladas, escorias gigantescas se levantan de su cama de nieve y de cenizas, semejantes, en lo convulsivo y atormentado de sus actitudes, a los condenados de Dante buscando desprenderse de su círculo de hielo. A la derecha, el Pico del Fraile levanta su alliva cabeza, mientras que al fondo la mirada se pierde en los precipicios vertiginosos de la barranca de Mispayanlla.

En las primeras horas del día, la aurora se levanta apenas en las profundidades del valle. Sólo un largo cinturón de bosques se muestra en su verdor sobre las gradas de la

sierra, bañando sus pies en los blancos vapores que levantan los primeros rayos del sol.

Las planicies entonces, semejantes a inmensos lagos, ofrecen a la mirada el aspecto de enormes olas de nubes de donde surgen, en medio de este mar aéreo, las negras cimas de los picos del valle. Pero el sol sube y se asiste con maravilla a las mágicas transformaciones de esta naturaleza encantada. Los vapores se agrupan y se elevan, se forman claros y, semejantes a un cielo nublado donde por momentos se perciben las estrellas entre las nubes que se agitan, vislumbramos alguna casita blanca, una parte del pueblo, la ribera de un lago, un conjunto de flores o el centelleo de los campanarios lejanos.

Desde las alturas, un prodigioso reino se ofrece a nosotros: gracias a la transparencia de esta atmósfera luminosa, todo se aproxima y se dibuja, la distancia se acorta y la vista distingue, a veinte leguas, los más ligeros detalles de este cuadro. Ahí está Ameca, el *Sacro Monte* que la protege y la planicie florida que la rodea; a la izquierda, el valle de Ozumba; a la derecha, los montes de Tlalmanalco, Miraflores y sus campanarios moriscos; más lejos, Chalco se refleja al sol en las aguas de su laguna; aquí está el Peñón, el lago de Texcoco a las orillas del cual se arrastra lánguida, a la sombra de los sabinos centenarios, la heredera de la gran ciudad azteca; después, las murallas resplandecientes de la ciudad de México, los mil campanarios que la dominan y las encantadoras villas que la acompañan. Todas, a pesar de las veinte leguas que nos separan de ellas, se distinguen en la lejanía: ahí está San Agustín la juguetona, Tacubaya la rubia, Chapultepec de imperial memoria y Guadalupe la santa. Se trata de un conjunto extraordinario de desiertos, de planicies verdes, de mon-



tes volcánicos y de cimas boscosas. Como cinturón de este magnífico cuadro, la cordillera extiende a lo lejos las líneas oscuras de sus montes de pórfido.

Pero la planicie de Puebla nos llama ofreciendo las mismas perspectivas, con el horizonte más lejano todavía. A doce leguas, la ciudad parece estar a nuestros pies y la mirada, siguiendo el valle de Tehuacán, penetra hasta tierra caliente para percibir la silueta de los cactus gigantes y de las palmeras salvajes.

Cinco volcanes, cinco picos nevados: el Nevado de Toluca, el Iztaccihuatl, la Malinche, el Pico de Orizaba, el Popocatepetl —rey de los gigantes—, se elevan por encima de las mesetas del Anáhuac. Cada tarde el sol los dora con su fuego cuando ya ha abandonado desde hace rato las planicies. Se dirían cinco luces inmensas que la mano del Todopoderoso esparció en estas alturas para iluminar el más maravilloso panorama del globo.

Al bajar, encontramos la tienda establecida en el primer pliegue del cráter, en la explanada del "malacate" (éste es un cilindro de madera alrededor del cual se enrolla el cable que

permite bajar al fondo del cráter y subir las materias sulfurosas que se explotan en Tlamanca). Una hora fue suficiente para tomar las vistas del lado derecho del cráter, del fondo mismo del volcán y del Espinazo del Diablo, al lado izquierdo. Los baños de plata se velaban con una ligera capa de sulfuro, sin embargo, las vistas resultaron un éxito, sobre todo dos, muy bellas.

Quisimos bajar al cráter. Amarrados al extremo del cable, el cilindro se desenrolló lentamente, aislándonos en el abismo. Teníamos en la mano un bastón para alejarnos de las irregularidades de las rocas. Algunas piedras caían de vez en cuando amenazando con lapidarnos. La bajada parece larga, me pareció de más de 300 pies. Se llega entonces al cono truncado formado por la caída continua de la arena y las piedras de la cima. Este cono se lanza desde el fondo del cráter para alcanzar una altura de por lo menos 200 pies con una pendiente de 45 grados. Toda la superficie del fondo del cráter está cubierta de nieve, salvo los bordes de los respiraderos (hay dos, el más importante se encuentra a la izquierda). No es posible aproximarse a más de diez metros debido a la intensidad del calor y a las emanaciones sofocantes. Estos dos chorros de vapor que, desde lo alto del cráter parecen delgados hilos blancos y de los cuales el ruido es apenas perceptible, son, de cerca, dos enormes aberturas que lanzan con ruido atronador una especie de columna de vapor sulfuroso. Una fuente vierte sus aguas en un pequeño mar verdoso en medio del cráter. Este mismo manantial, me decía después don Cirilo Pérez, alimenta dos fuentes termales a doce y catorce leguas, una en Puebla y la otra en Cuernavaca, respectivamente. Una multitud de fumarolas se escapa silbando de las murallas del cráter y el azufre que se explota se encuentra, mezclado con la tierra, dispuesto en flores en las cercanías de los respiraderos, o bien, en pedazos de color amarillo claro; traje algunas muestras de ellos. A pesar de las grandes cantidades que yacen en el volcán, el azufre de Europa se vende en México más barato que el del Popocatepetl, lo cual puede dar una idea de la explotación de este producto en la pobre fábrica de Tlamanca. Eran las tres de la tarde cuando regresamos a la superficie del volcán.

El declive del pico es tan pronunciado, que los indios contratados para la extracción del azufre se conforman con imprimir un ligero empujón a las cargas de tierra azufrada que sacan del volcán, de manera que llegan solas al límite de las

nieves. Esto se llama "corrida". Cuando la nieve no se encuentra demasiado dura por las heladas, los hombres se montan sobre los bultos y bajan con ellos. Pero cuando la superficie está helada, la corrida resulta demasiado rápida y tienen que bajar a pie para evitar algún accidente. Esto me dio la idea de operar mi descenso de la misma manera.

Me senté entonces sencillamente sobre mi sombrero de fieltro doblado en cuatro y, sobre este simple trineo, me dejé resbalar por la pendiente con gran asombro de mis guías, quienes no se atrevieron a intentarlo. Don Luis me seguía. En poco tiempo alcanzamos una velocidad prodigiosa. Ibamos como un torbellino por lo flancos de la montaña; el bastón que debía guiar nuestra marcha no detenía en nada la rapidez de la caída y pasábamos como aerolitos. Fue un delirio.

Ninguna montaña rusa podrá dar la idea de semejante carrera; imposible detenernos. Cegados por un polvillo de nieve, ebrios de sensaciones extrañas, inconscientes del peligro, llegamos a las cenizas que bordean las nieves y, rodando más de veinte veces sobre nosotros mismos, nos levantamos emocionados e ilesos. Habíamos recorrido cerca de dos kilómetros en siete minutos. Sólo por eso valía la pena el ascenso. No pretendo decir que si alguien hace lo mismo saldría ileso, pero eso es lo de menos a cambio de un regocijo tan grande y, seguramente, yo volvería a hacer lo mismo con gusto, al mismo precio.

Al día siguiente, llegamos a Amecameca, donde don Pablo Pérez, sorprendido de nuestro éxito, admiraba con exclamaciones la belleza de nuestras fotos.

Quince días después tomaba la diligencia para Veracruz: regresaba a Europa. Al salir de Ayotla, nos encontramos entre el fuego de dos partidos que tiraban a 100 metros el uno del otro. Tuvimos que detenernos al escuchar el silbido de las balas, lo que me dio oportunidad de juzgar la puntería mexicana. Durante una hora al menos, que fue lo que duró la escaramuza, no vi caer ni un solo hombre.

Cuando todo terminó, pedí informes: no había habido ni un solo herido. Pasamos y, al topar con la retaguardia de la otra tropa, me informé igualmente sobre el resultado de la batalla.

—¡Son unos torpes! No locaron a ninguno de mis hombres.

Encantador, ¿no es cierto?

Lo que resultó menos encantador fue que media hora después de haber dejado el pequeño cuerpo del ejército, en

el bosque de Río Frio fuimos detenidos por dos bandidos, tan descarados como jamás se haya visto. Como de costumbre, debimos echar pie a tierra. Estos bribones eran endebles criaturas que bien hubieran podido ser sometidos de un puñetazo, pero tal es la resignación de los viajeros o el temor de que luvieran camaradas escondidos en el bosque, que nadie manifestó la menor resistencia. Esta vez fui bien y debidamente despojado; tenía dos cajas, un baúl bien lleno y un poco de dinero. Me quitaron todo. Uno de ellos abrió primero mi baúl, haciendo como si escogiera algo de entre mis efectos.

—Para terminar pronto —dijo—, me lo llevo todo.

Y diciendo y haciendo, le pasó el baúl a su compañero. Mis papeles, mis notas, algunas curiosidades, todo, se perdió. Mis protestas fueron en vano. Traía sobre los hombros un gabán que esperaba poder conservar.

—¡Vaya! —dijo uno de ellos en el momento de irse. Pásame ese gabán, me gusta. Se lo di, lo que me hizo llegar a Puebla en mangas de camisa.

Ésta no fue de ninguna manera mi última aventura. Al salir de Puebla, teníamos una nueva compañera de viaje: era una joven de dieciséis años llamada Dolores Molina. Era muy bella, de una belleza peligrosa para afrontar en estos tiempos de desorden las aventuras de los grandes caminos. Iba a Córdoba a reunirse con su madre, a la que había dejado hacia tiempo.

La diligencia tuvo la suerte de llegar a Tehuacán sin contratiempos. Los viajeros que envolvían con sus miradas a la bella niña, no tenían nada mejor que hacer que espantarla con alarmas continuas. Si la diligencia disminuía un poco su velocidad, ella palidecía y temblaba, ante la alegría de estos



señores. Uno de ellos, al fin, más galante que los otros y creyendo dar una prueba de ingenio, le dijo:

—Señorita, es muy imprudente de su parte viajar en los tiempos que vivimos y si yo fuera un bandolero, no es en los bolsillos de estos señores que yo me interesaría; ambicionaría más dulces tesoros y la llevaría a usted tan lejos, que nadie volvería a verla nunca

Esta delicada broma hizo enojecer a la muchacha y las lágrimas inundaron sus ojos. Impusimos silencio al torpe galán, pero, a partir de ese momento, Dolores, bajo el golpe de dolorosos presentimientos, era presa de temblores convulsivos y de un espanto que nada podía calmar. Yo era silencioso testigo de este prólogo y podía sentir en el aire un vago olor a drama. Mientras tanto, llegamos a Tehuacán sin que nada justificara los temores de Dolores. Debíamos partir al día siguiente para Córdoba. Esta parte del camino no presentaba ningún peligro.

Pero la fatalidad quiso que la diligencia de Orizaba no llegara. Debimos permanecer en Tehuacán durante tres días esperándola. Aconsejé a la muchacha que se mostrara lo menos posible con el fin de no llamar la atención, así que no salió del interior de la fonda, viviendo en intimidad con las mujeres de la casa.

La diligencia llegó y al cuarto día, a las dos de la madrugada, partíamos hacia Orizaba. Éramos cinco viajeros: una vieja y sus dos hijos, Dolores y yo. Nuestros compañeros de Puebla habían tomado otros caminos. Viajábamos desde hacia dos horas y había una luna espléndida; las palmeras enanas y los grandes órganos que bordeaban el camino, las plantas espinosas donde desaparecían los coyotes, prestaban al paisaje la poética fisonomía del gran desierto. De repente, un ruido de cascos se oyó adelante y Dolores, temblorosa, se refugió en mis brazos. Un grupo de jinetes llegó hasta nosotros al galope, levantando una nube de polvo. La diligencia se detuvo.

—¡Bajen! —gritó uno de los jinetes. Y como sólo yo bajé:

—¿Sólo hay un hombre en tu coche? —le preguntó al cochero.

—Uno solo —respondió éste.

El cuadro parecía una escena de *Fra Diávolo* o de *Marco Spada*. Me encontraba en presencia de siete jinetes que montaban caballos admirables. Llevaban trajes caros, bonitas armaduras, chaparreras de piel de tigre y sus grandes sombreros mexicanos de toquillas enormes estaban galonados de oro.

Jamás había visto ladrones tan bien vestidos.

—Pase adelante, no le haremos daño —me dijo uno de ellos con gran cortesía.

Fogueado por una vida llena de aventuras, asistía indiferente a la escena que se desarrollaba. Hasta experimenté cierto regocijo, pues era el complemento de mi viaje. Sin embargo, cuando oí los gritos desgarradores de la pobre muchacha, no pude impedirme volar en su ayuda. Ella se echó sobre mí, rodeando mi cuello con sus hermosos brazos, llorando, suplicando, invocando a su madre.

—¡Sálveme, sálveme! —decía.

¡Pobre niña! ¡Salvarla! De todo corazón, pero... ¿Qué hacer? Siete hombres armados, solo y sin cuchillo... Estos señores, sin embargo, no emplearon ni amenazas ni brutalidad.

—Vamos, querida niña —decía el jefe—. Seque sus lágrimas, somos caballeros y no sufrirá ningún maltrato. Venga, el tiempo apremia, partamos.

Y como la pobre muchacha se debatía desesperada, dos de los hombres la tomaron por la fuerza y la montaron en uno de sus caballos. Desaparecieron en el monte, donde pronto los gritos de Dolores se perdieron en la lejanía. En el primer pueblo a donde llegamos, había una posta.

—¿No pondrá usted una demanda? —le pregunté al cochero.

—¿Para qué? —contestó. De todas formas, la devolverán a su madre.

Pasamos. Poco después bajábamos por las cumbres de Acultzingo y alrededor de las tres llegamos al hotel Las Diligencias, en Orizaba. La madre de Dolores estaba ahí esperando a su hija.

Tuvimos que decirle que había sido raptada. No diré nada sobre su dolor. Ignoro si su hija le fue devuelta algún día.

Un día más y llegaría a Veracruz, volvería a ver el mar y me embarcaría hacia Europa. No me atrevía a creer en tanta dicha, y este océano al que siempre había temido tanto, ahora me sonreía. El 28 de diciembre de 1859 decía adiós a las playas mexicanas; iba a atravesar de nuevo Estados Unidos, entonces en vías de insurrección. Después de cuatro años de ausencia, el 2 de febrero de 1861, pisaba tierra europea.

(Capítulo tomado del libro de Désiré Chamay, *Ciudades y ruinas americanas*, CONACULTA, colección Mirada viajera, México, 1994. Los grabados que ilustran este artículo fueron tomados del libro de Désiré Chamay, *Les anciennes villes du nouveau monde*, Librairie Hachette, París, 1885.)

EL INTERIOR DE LA TIERRA: CAPAS CONCÉNTRICAS

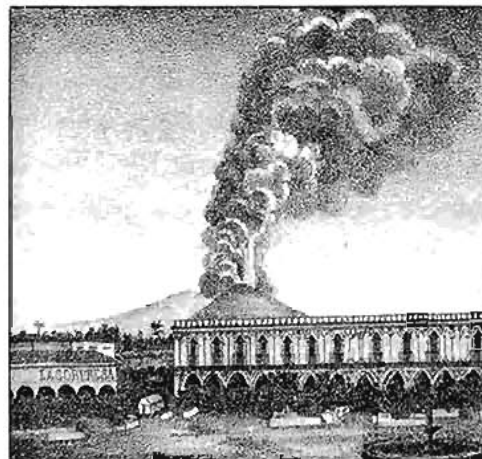
La Figura 1 muestra a la Tierra con un corte, donde se observa su interior. La Tierra está formada por una serie de capas que envuelven al *núcleo terrestre*; la capa más superficial se denomina *corteza* y tiene un espesor promedio de 35 a 40 km. Todos los océanos y continentes, así como los diferentes accidentes topográficos terrestres están comprendidos en esta capa. Por debajo de ella se encuentra la capa denominada *manto terrestre*, que consiste en dos partes: la primera o *manto superior*, con un espesor promedio de 670 km, y la segunda, denominada *manto inferior*, de 2,200 km de espesor. Estas capas envuelven al núcleo terrestre, el cual, a su vez, está formado por dos capas: el *núcleo externo*, de 2,250 km de espesor y el núcleo interno, de 1,215. Este último constituye el centro de la Tierra.

Ahora bien, tanto el núcleo interno como el núcleo externo están formados básicamente de hierro con pequeñas cantidades de níquel; pero mientras el núcleo interno se halla en estado sólido, el núcleo externo está parcialmente fundido, es decir, se comporta como un fluido. La temperatura estimada para esta capa es superior a los 3,000 °C, lo cual hace que se mueva con un movimiento llamado de *convección*.

Este movimiento es muy similar al que presenta un líquido (como el agua) cuando es calentado por la parte inferior y enfriado por la parte superior. Se debe a la diferencia de temperaturas que hay en las partes inferiores y superiores del núcleo: mientras que las inferiores están muy calientes, las superiores son relativamente frías. Ahora bien, los materiales calientes tienen menor densidad que los materiales fríos y debido a la baja densidad tienden a ascender, mientras que los fríos, más densos, tienden a descender, aspecto que se ilustra en el esquema de la Figura 2.

Francisco Medina Martínez

volcanismo



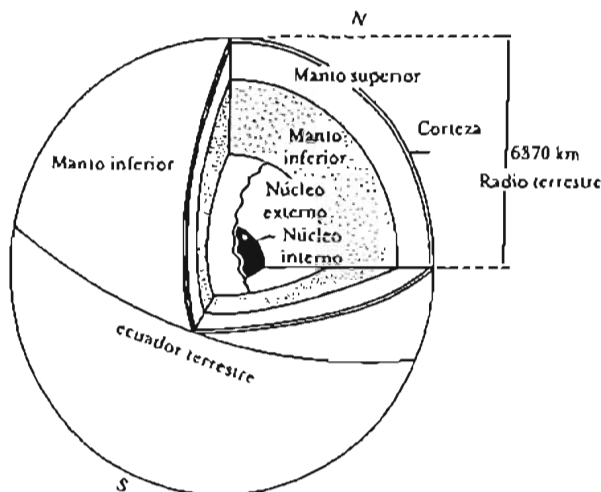


Figura 1. El interior de la Tierra está formado por capas concéntricas. La más extensa es la corteza, cuyo espesor promedio es de 35 km. Las demás capas tienen como espesor promedio: el manto superior, 670 km, el manto inferior, 2,200 km, el núcleo externo, 2,250 km y el núcleo interno, 1,215 km.

El núcleo de la Tierra tiene temperatura elevada probablemente desde que se formó, hace unos 4,500 millones de años, y se ha ido enfriando muy lentamente, pues aún conserva una temperatura muy alta. Esto se debe al manto terrestre que lo recubre, el cual está formado por una mezcla de diferentes minerales de sílice que actúan por una capa aislante muy eficaz. El movimiento de convección del núcleo externo es transmitido a las partes más bajas del manto inferior, por lo cual este tipo de movimiento también está presente en él, sólo que a una velocidad mucho más lenta que en el núcleo externo. Después, va transmitiéndose a las capas superiores hasta llegar a las situadas bajo la corteza terrestre; este aspecto se ilustra en la Figura 3. Es así como los movimientos son transmitidos a la corteza terrestre, la cual es más rígida y por lo tanto éstos producen fracturas en ella, a veces muy grandes. Esto hace que la corteza terrestre no sea de una sola pieza, como un cascarón que envuelve a la Tierra, sino que está fracturada y formada por diferentes pedazos. Cada pedazo se denomina *placa*, y las hay grandes y pequeñas como piezas de un enorme rompecabezas que forman la corteza terrestre. En la Figura 4 se ilustran las diversas placas que forman la corteza terrestre.

LAS PLACAS DE LA CORTEZA TERRESTRE

Debido al movimiento convectivo que se transmite a la corteza desde las capas inferiores, las diferentes placas se mue-

ven como grandes islas flotantes, o grandes pedazos del cascarón que envuelve a la Tierra y que "flotan" sobre un medio semifluido. Al moverse, las placas chocan unas contra otras y sus bordes interaccionan en diferentes formas.

Es conveniente explicar esta idea de las placas como islas flotantes encima de un material semifluido, ya que si no podría ser causa de confusión. El material del manto, o de la capa que está debajo de la corteza, no es exactamente un fluido, sino un sólido que tiene una pequeñísima capa semifluida. Pero los sólidos pueden llegar a tener un comportamiento similar al de un fluido al someterlos a presiones grandes durante periodos de tiempo de millones de años. Pongamos como ejemplo el caso de una viga de concreto, material evidentemente sólido, si la sometemos a una gran torsión se romperá, mostrando un comportamiento elástico; pero si aplicamos una torsión pequeña y la dejamos actuar durante decenas de años, se deformará como si fuera material plástico, esto es, como un material semifluido. De manera similar, el manto terrestre, que es sólido, puede conducirse como material plástico dado que está sometido a los esfuerzos del movimiento convectivo durante escalas de tiempo de millones de años, e incluso decenas de millones de años. Esto hace que el manto tenga comportamiento similar al de un fluido, siempre que tengamos en mente que las escalas de tiempo usa-

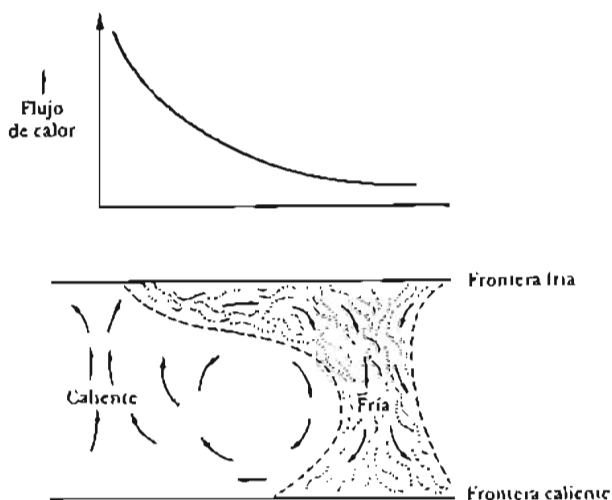


Figura 2. Cuando un fluido es calentado por su parte inferior y enfriado por la superior, se produce un movimiento en el seno del fluido denominado convección. Esto se debe a que la parte caliente disminuye su densidad y asciende por flotación, mientras que la parte fría, más densa, tiende a descender. Un fenómeno similar ocurre en el interior de la Tierra. Al medir la cantidad de calor que escapa por la frontera superior fría se obtiene un perfil como el que se muestra en la parte superior. Perfiles similares se obtienen al medir el flujo de calor que escapa por la superficie terrestre.

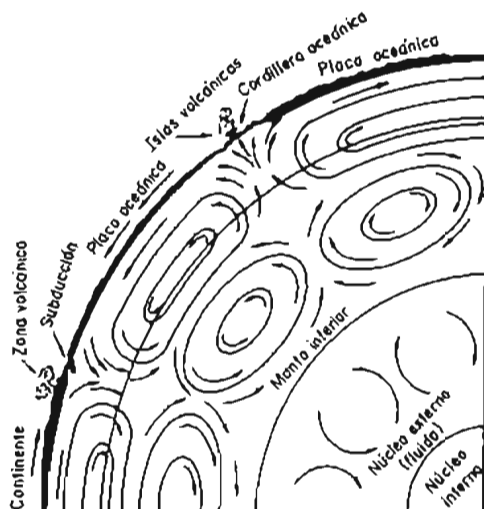


Figura 3. Esquema de los movimientos convectivos que tienen lugar en el interior de la Tierra, los cuales producen un movimiento de desplazamiento horizontal en los diferentes pedazos o placas de la corteza terrestre. Cuando las placas convergen se forma una zona de subducción; en cambio, cuando divergen se forma una cordillera centrooceánica que llega a desarrollar islas de carácter volcánico

das para observar este comportamiento son de decenas de millones de años. Si, por el contrario, usamos escalas de tiempo cortas —días o minutos—, el comportamiento que observaremos en él será el de un sólido elástico.

Cuando vamos en la carretera y pasamos junto al talud de alguna montaña podemos ver, en ocasiones, rocas deformadas y dobladas, rocas sólidas que han sido deformadas plásticamente al estar sometidas a esfuerzos de presión durante periodos de tiempo muy largos. Sirva este ejemplo para ilustrar lo que acabamos de exponer.

Una vez aclarado este punto, es más fácil entender por qué los geofísicos definen las placas, e incluso los continentes, como grandes islas flotantes en un medio fluido, aunque el interior terrestre sea sólido, a excepción del núcleo externo. Los geofísicos consideran el comportamiento del manto en lapsos de decenas de millones de años, tiempo en el cual el movimiento de convección al que está sujeto llega a producir un flujo neto. Para observar este flujo debemos esperar decenas de millones de años, pues si observamos su comportamiento en lapsos de días o minutos, el manto se comporta como un sólido. Esto último es lo que sucede cuando ocurre un sismo, aspecto que aclararemos luego.

Teniendo en mente lo anterior, los geofísicos se han percatado del movimiento de las diferentes placas: por ejemplo, una enorme cantidad de estudios han podido demostrar que África y Sudamérica estuvieron unidas hace unos 200 millo-

nes de años. Si en un planisferio recortamos estos continentes y tratamos de unirlos, al igual que las piezas de un rompecabezas, veremos que embonan en forma casi perfecta, esto se ilustra en la Figura 5.

LAS ERUPCIONES VOLCÁNICAS

Hemos escuchado, seguramente, numerosas historias acerca de las erupciones volcánicas, desde las muy impresionantes de los volcanes de Hawai, en las cuales la lava corre como un torrente líquido a gran velocidad, extendiéndose como planchas de material caliente sobre decenas de kilómetros, hasta la erupción del volcán Santa Elena, en Estados Unidos, donde el edificio volcánico se rompió por uno de sus lados lanzando un chorro o columnas de gases y material magmático fragmentado, hasta una altura de varios kilómetros, pero en la cual casi no hubo lava en forma líquida. También en el caso del volcán Chichón o Chichonal, éste arrojó a la atmósfera una columna de gases y material magmático fragmentado hasta una altura superior a los 20 km; en esta erupción hubo lava en forma líquida, sólo una lluvia de arena o material fragmentado que cubrió más de 30 mil km² y que sepultó algunos poblados, como el de Francisco León, en un fenómeno similar al que provocó el Vesubio en el año 79 a.C., cuando dejó sepultadas las ciudades de Pompeya y Herculano.

Como hemos dicho, en la erupción del Chichón o Chichonal no se produjo lava en forma líquida tal como estamos acostumbrados a ver en las películas en que se hace referencia a las erupciones volcánicas; esto se debe en gran parte a lo que ya mencionamos: la composición química de lavas de los diferentes volcanes presenta variaciones importantes.

Los volcanes de Hawai arrojan magma poco viscoso, casi líquido, debido a su composición basáltica. Ahora bien, las burbujas que se forman de gases volcánicos o de agua, en este tipo de magmas, ascienden más rápido de lo que crecen radialmente, ocasionando una liberación de gases de manera tranquila y sin explosiones. En cambio, en los magmas andesíticos, como el del Chichón, estas burbujas crecen radicalmente más rápido de lo que ascienden en el seno del material debido a que los magmas son más viscosos. Al crecer rápido, producen altas presiones en el seno del magma y ocasionan explosiones en las que el magma es lanzado a la atmósfera

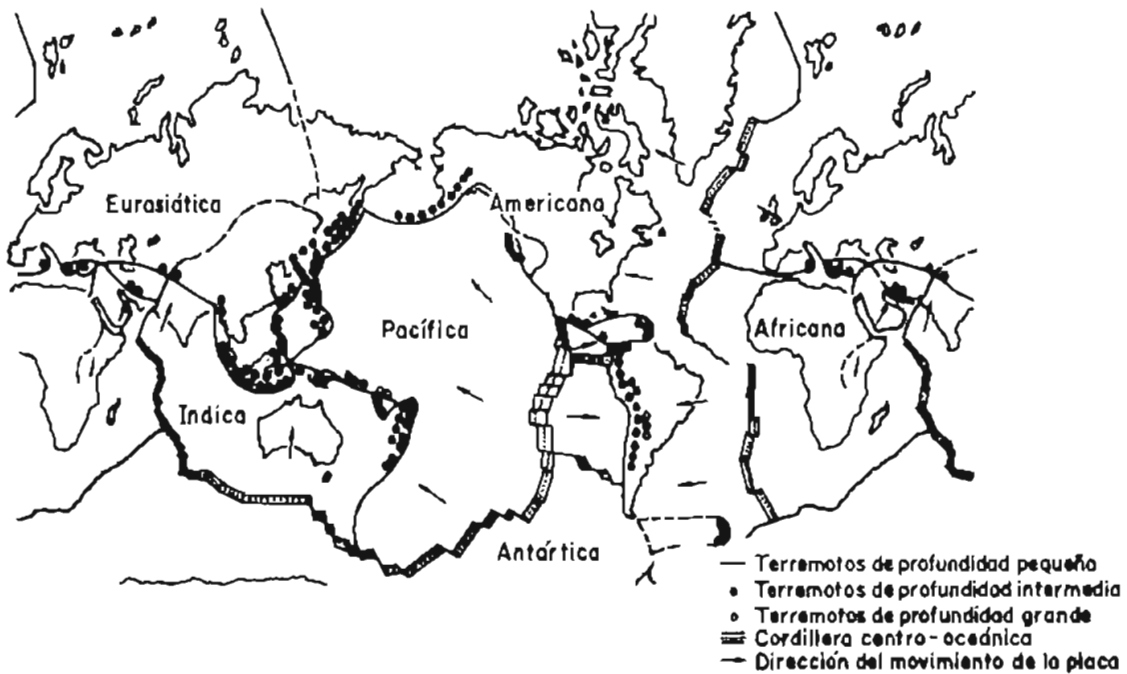


Figura 4. Las placas de la corteza terrestre. Las seis más grandes e importantes aparecen aquí con su nombre.

en forma de fragmentos incandescentes que se enfrían en la atmósfera y caen al suelo en forma de granos de arena de diversos tamaños.

El estudio de las erupciones volcánicas es bastante complejo ya que la composición de los magmas varía según se trate de diferentes volcanes, o de distintas erupciones de un mismo volcán. Incluso se llegan a presentar variaciones durante el desarrollo de una misma erupción. Por ejemplo, la composición de las lavas arrojadas al inicio de la erupción del volcán Parícutín es diferente de la que tienen las lavas arrojadas al final de su periodo eruptivo.

Este aspecto dificulta mucho el estudio de las erupciones volcánicas. Los cambios de la composición pueden deberse a la interacción del magma con los estratos geológicos en los cuales está un volcán; a que la corteza terrestre presenta heterogeneidad en su composición de un sitio a otro, etcétera. En muchos casos las variaciones en la composición son mínimas, pero pueden causar grandes cambios en el comportamiento del magma fluido, especialmente en la viscosidad del magma.

También diversos factores topográficos inciden en el comportamiento de las erupciones volcánicas, como el radio del conducto que une a la cámara magmática con el cráter, la pendiente de las paredes del edificio, la presencia de acuífe-

ros en los estratos inferiores del volcán, etcétera. El grado de explosividad de una erupción depende de la cantidad de agua, de óxidos de carbono, de óxidos de azufre, y de otros volátiles gaseosos liberados por descomposición de compuestos y minerales de las lavas y de los estratos presentes en el área del volcán. A grandes rasgos, según el grado de explosividad, las erupciones se clasifican en diversos tipos, siendo la *peleana* la más explosiva, la *vulcaniana* la menos explosiva y la *stromboleana* de un grado todavía menor.

Otro tipo de erupción volcánica corresponde a la que se presentó en el volcán Nevado de Ruiz, en Colombia, cuyos productos eruptivos sepultaron la ciudad de Armero. En estos casos, debido a que el volcán presenta gran cantidad de hielo y nieve en la cima, producto de su gran altura, al ocurrir la erupción la nieve y el hielo se funden y se mezclan con el material magmático fragmentado, formándose una especie de torrente de lodo que se desliza por las vertientes del volcán, siguiendo los ríos que se dibujan en sus faldas. A este fenómeno en el que intervienen torrentes de agua y material magmático fragmentado se le denomina *lahar*.

Así vemos cómo la cantidad de nieve o hielo que tenga un volcán, puede influir en el tipo de erupción. Ahora bien, aunque es cierto que la nieve y el hielo le restan explosividad a la erupción, también lo es el hecho de que se genera un fenó-

meno tan peligroso como el que puede producir una erupción explosiva, pues los lahares son fenómenos altamente destructivos y peligrosos.

En el desarrollo de una erupción explosiva, además de los elementos mencionados, interviene otra serie de factores atmosféricos. Por ejemplo, el viento puede desplazar las emisiones de ceniza hacia un rumbo determinado, aspecto en el cual interviene la dirección e intensidad del viento dominante durante el momento de la erupción. Por otro lado, las moléculas del aire se entremezclan con las del flujo gaseoso eruptivo y debido a la diferencia de temperaturas y a que el aire está relativamente frío, la columna eruptiva se enfriará y aumentará su densidad. Esto puede provocar que la columna se colapse y provoque derrames de piroclastos por las paredes del volcán, semejando flujos piroclásticos.

Como podemos darnos cuenta, son muchos los factores que intervienen en las erupciones, sobre todo en las de tipo explosivo, lo cual dificulta su estudio.

Hasta ahora hay varias escalas para medir el grado de explosividad de una erupción, aun cuando en todas ellas la cantidad de material arrojado por unidad de tiempo sea uno de los factores más importantes.

En ocasiones el grado de explosividad llega a ser sumamente considerable, como ocurrió el siglo pasado en el volcán Krakatoa. En este caso casi todo el edificio desapareció debido a la explosión, dejando sólo unos pequeños bordes de la parte inferior; a estos restos se les denomina *caldera*. El

volcán Krakatoa arrojó en unos cuantos minutos a la atmósfera más de 8 km^3 de material fragmentado; además, como es una isla, el agua de mar penetró en la cámara magmática y al evaporarse instantáneamente formó parte de la erupción y también se convirtió en una tremenda o *tsunami*, que causó daños considerables en las poblaciones cercanas. Hasta el momento, la erupción en la cual se ha visto mayor cantidad de material arrojado corresponde al volcán Tambora, en Indonesia, con cerca de 60 km^3 de material fragmentado.

Dado que acabamos de mencionar la cámara magmática del Krakatoa, aclaremos que la mayoría de los volcanes poseen depósitos de material magmático a unos cuantos kilómetros de profundidad debajo del edificio volcánico. Estos depósitos se forman tanto en los volcanes basálticos como en los andesíticos, y se deben a la acumulación del magma que asciende desde el manto superior por las fracturas de la corteza y se acumula en estos depósitos.

Las cámaras magmáticas son cuerpos dinámicos ya que están en constante cambio. Su profundidad y tamaño difieren mucho de un sitio a otro, pero en general la profundidad es de unos cuantos kilómetros y su volumen de algunos kilómetros cúbicos. Su dinamismo se debe básicamente a su alta temperatura, superior a los 800°C . Debido a esta temperatura se pueden descomponer muchos minerales presentes en los alrededores de la cámara magmática, dando lugar a gases como el bióxido de carbono o los óxidos de azufre, producto de la descomposición de carbonatos y sulfatos.

El agua se evapora instantáneamente a la temperatura de una cámara magmática, provocándose un flujo de vapor en el área, el cual disuelve sales y las transporta. Por esta razón, a veces las manifestaciones volcánicas también se presentan en áreas relativamente lejanas del cráter principal.

Muchos de los estudios acerca de las erupciones volcánicas son muy recientes, de hecho el estudio de las erupciones desde un punto de vista físico se inició hace poco menos de quince años. En éste se trata de medir diversos elementos para ver los factores que intervienen en forma predominante en una erupción volcánica. Sobre todo, nos interesa particularmente el estudio de las erupciones explosivas, ya que son las más peligrosas.

La erupción del volcán Chichón es una de las más estudiadas hasta el momento, y existe alrededor de un centenar de artículos científicos al respecto. Esto se debe a que la

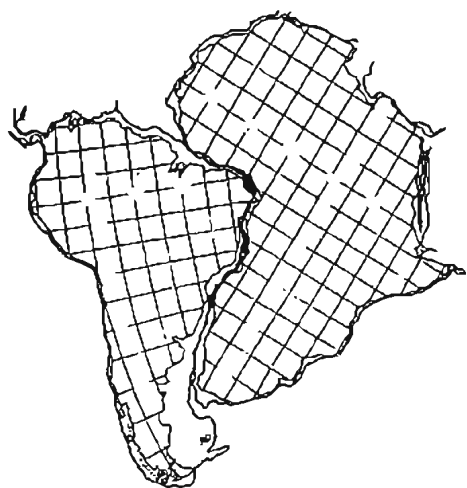


Figura 5. Posición de África y Sudamérica hace unos doscientos millones de años. En este ajuste del contorno entre América del Sur y el continente africano se toma en cuenta la plataforma marina, no el contorno de la costa actual.

columna eruptiva de este volcán, que ocurrió a fines de marzo y principios de abril de 1982, alcanzó más de 20 km de altura y tuvo serios efectos en la atmósfera. El material arrojado por el Chichón, sobre todo el de grano muy fino (menor a unas micras), permaneció en la atmósfera terrestre durante más de un año antes de depositarse nuevamente en la Tierra, y llegó a formar una gran mancha de varios kilómetros de ancho y más de 2 mil km de largo. Esto provocó variaciones en la cantidad de radiación solar que normalmente penetra por la atmósfera hacia la superficie terrestre. Además, debido a los estratos geológicos en los que se encuentra este volcán, el material magmático se contaminó con diversas sales de azufre y de cloro, materiales que perturban seriamente las reacciones químicas que dan origen a la formación del ozono.

Efectos atmosféricos y climáticos como los provocados por la erupción del volcán Chichón son poco comunes. Ya se habían visto efectos similares en 1903, a raíz de las erupciones del volcán de Colima en México y del Mont Palée en las Antillas. Estos fenómenos han llevado a los científicos a estudiar con mayor detalle las erupciones volcánicas, ya que es necesario entender mejor sus efectos en la ecología.

OTROS FENÓMENOS CONCOMITANTES A LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

Contrariamente a lo que en general se piensa, los flujos de lava rara vez son catastróficos o destructivos; la peligrosidad de los

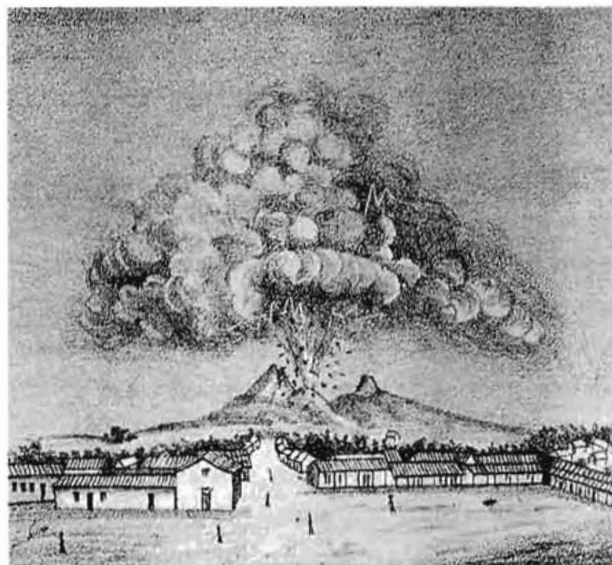
mismos depende básicamente de la topografía de la zona y de lo fluido de la lava. En el caso de México las lavas son pocas fluidas, lo cual genera derrames gruesos que alcanzan sólo unos pocos kilómetros y el avance es relativamente lento. Asimismo, la actividad sísmica rara vez es destructiva y debido a su baja magnitud es relativamente dañina dentro de un área de cuatro o cinco kilómetros alrededor del volcán.

Otros fenómenos que acompañan a las erupciones son más destructivos y peligrosos, y aunque no siempre se presentan, debe vigilarse muy de cerca su posible generación. Entre estos fenómenos se encuentra la emisión de piroclastos (fragmentos de material incandescente) que puede generar incendios de gran magnitud; si la emisión es de volumen considerable, puede hacer que los techos de las casas se colapsen por el peso. Por eso es recomendable que los techos de las casas que se encuentran en estas zonas sean muy inclinados, sobre todo cuando se sabe que el volcán suele arrojar grandes nubes de ceniza y piroclastos.

Un fenómeno mucho más destructivo es el *flujo de piroclastos*. Este proceso se lleva a cabo cuando en una erupción explosiva la columna de ceniza se colapsa, es decir, en lugar de conservar la forma de columna ascendente se hace densa y fluye por las laderas del volcán. Estos flujos pueden alcanzar grandes distancias y avanzar a velocidades de varias decenas de kilómetros por hora; como están formados por lava incandescente fragmentada y gases, van quemando y devastando todo lo que encuentran a su paso. En ocasiones los flujos tienen un espesor considerable, de hasta decenas de metros, por lo cual llegan a cubrir poblados completos; tal fue el caso de Pompeya y Herculano, en Italia, las cuales fueron sepultadas bajo densos flujos de piroclastos emitidos por el Vesubio. Un caso similar ocurrió en México con la erupción del 3 de abril de 1982 del Chichón, cuyos flujos piroclásticos sepultaron el poblado de Francisco León situado a cinco kilómetros del volcán. El alcance de estos flujos es, en general, menos de diez kilómetros, por lo que resulta recomendable que no haya poblado alguno en una distancia menor. Lo mismo se recomienda para el caso de los lahares ya mencionados anteriormente.

LA UTILIDAD DE LOS VOLCANES

La actividad volcánica desempeña un papel importante en la evolución del suelo, de la atmósfera, así como también de la



hidrosfera del planeta, por lo que no sólo debemos ver su aspecto destructivo.

La actividad volcánica se inició en la Tierra poco después de que ésta se formara; se piensa que en los primeros mil millones de años la actividad volcánica fue sumamente intensa. Esta actividad arrojó lava y gases, y estos últimos, entre los que estaba presente el vapor de agua, se incorporaron a la atmósfera terrestre.

Los océanos primitivos de la Tierra se formaron al condensarse el vapor de agua que arrojó la actividad volcánica, y muchos gases de la atmósfera primitiva de la Tierra, como el amoníaco, el ácido clorhídrico, el ácido sulfúrico, óxidos de azufre y nitrógeno, fueron también resultado de esa actividad. Así pues, los productos que arrojan los volcanes forman parte de la evolución química de la atmósfera y la hidrosfera terrestre; tal proceso evolutivo ha estado presente desde hace más de 3,800 millones de años.

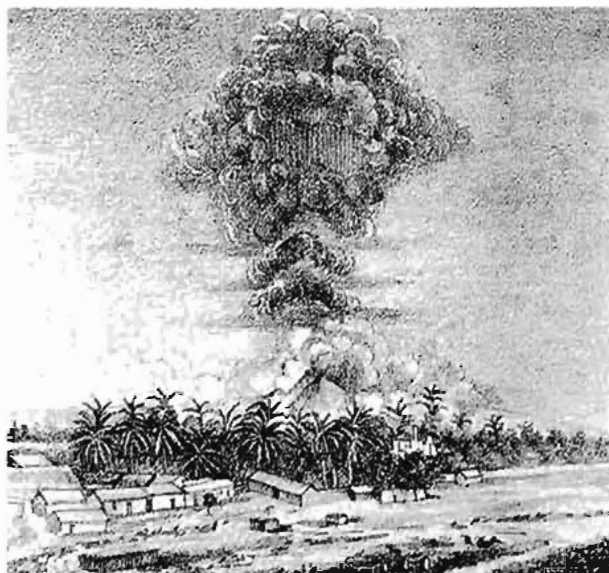
Asimismo, los productos volcánicos forman parte de la evolución del suelo. La lluvia disuelve las sales presentes en el suelo y por medio de los ríos las lleva al mar. Los productos eruptivos renuevan estas sales, por lo que no es casual que las tierras volcánicas sean muy fértiles y adecuadas para la agricultura.

En muchos casos ha podido comprobarse que meses después de una erupción la ceniza que ésta produce y que se deposita en una zona amplia, hace que las cosechas mejoren y el suelo se vuelva más productivo.

Además, la mayoría de los recursos minerales están asociados con procesos magmáticos, muchos de ellos en forma indirecta, como sucede con los procesos hidrotermales; en éstos el agua subterránea, al ser calentada por el magma, disuelve sales metálicas que posteriormente se depositan y forman fajas metalíferas.

Muchos materiales para la construcción proceden de productos volcánicos como las arenas y canteras; la piedra pómez y los vidrios volcánicos tienen un gran variedad de usos industriales pues con ellos se hacen fibras, abrasivos, materiales refractarios y aislantes, etcétera.

También son importantes los yacimientos geotérmicos, pues de ellos se extrae vapor de agua a alta temperatura para generar electricidad, por medio de turbinas, en las plantas geotérmicas. En México existen varias plantas de este tipo; la de Cerro Prieto, localizada al sur de la ciudad de



Mexicali, es una de las más grandes e importantes del mundo y genera energía eléctrica tanto para consumo nacional como para exportación.

Otra planta geotérmica está instalada en Los Azufres, en el estado de Michoacán, y otras más están en proceso de construcción, como la de los Humeros, en el estado de Puebla, y la de La Primavera, cercana a la ciudad de Guadalajara. De hecho, México parece tener un alto índice de zonas geotérmicas, muchas de las cuales aún no han sido exploradas. El vapor de agua que se encuentra en las áreas geotérmicas contiene sales de alto valor comercial. Por lo que una vez que se extrae su energía calorífica para generar electricidad, el agua es tratada para obtener dichas sales.

Desde el punto de vista científico, el estudio de los volcanes ha ayudado a entender muchos de los procesos que tienen lugar en el interior de la Tierra y el análisis de los productos volcánicos ha permitido esclarecer la composición química de las capas profundas de la corteza terrestre y del manto superior.

La mayoría de las zonas volcánicas son destinadas a parques nacionales, por lo que, en general, dichas zonas constituyen importantes reservas de la biosfera, con lo cual se fomenta la preservación de sistemas ecológicos.

(Artículo tomado del libro de Francisco Medina Martínez, *Sismicidad y volcanismo en México*, FCE-CONACYT-SEP, colección La ciencia para todos, número 151, México, 1997.)

evaluación de la actividad del **POPOCATÉPETL** y de su sistema de monitoreo

Servando de la Cruz Reyna



El volcán Popocatepetl está localizado en la parte central del Cinturón Volcánico Mexicano y es, con 5,432 metros sobre el nivel del mar, la segunda montaña más alta del país, después del volcán Pico de Orizaba. El Popocatepetl es un volcán maduro, que ha experimentado grandes cambios a lo largo del tiempo geológico. El volcán en su forma actual existe desde hace unos 23,000 años, cuando el edificio volcánico anterior se derrumbó durante una erupción excepcionalmente violenta, devastando un área cercana a los 1,000 km² al sur del volcán. Desde ese evento, el Popocatepetl ha producido numerosas erupciones de distintos tipos, y la acumulación de los productos emitidos ha contribuido a construir el edificio volcánico actual.

Las erupciones pasadas del Popocatepetl han variado desde actividad moderada, como la que se desarrolla en la actualidad, hasta la explosiva, que ha producido grandes flujos de ceniza caliente y de lodo.

Actualmente, arqueólogos de varias instituciones descubren con mayor frecuencia ruinas cubiertas por los depósitos de la erupción explosiva más reciente, ocurrida hace aproximadamente 1,000 años. Eventos de esa magnitud se han repetido tres veces en los últimos 5,000 años.

Desde la fundación de Tenochtitlán primero, y la Conquista después, hemos contado con una serie de reportes, algunos de ellos sumamente detallados, de trece episodios de actividad, de intensidad similar a la que se desarrolla en la actualidad. El episodio previo al actual se inicia en 1919 y termina hacia 1927. Tiene un desarrollo y características tan similares, que las descripciones y fotografías de esa época podrían aplicarse al presente. Se presentaron las fumarolas, las emisiones de ceniza, la formación de un

domo de lava en el fondo del cráter y la destrucción parcial de éste por explosiones subsiguientes.

El episodio actual de actividad del Popocatepetl se inicia en 1993, con un incremento en las fumarolas y un moderado aumento en la sismicidad del volcán. En octubre de 1994 se presenta un incremento mayor en la sismicidad y el 21 de diciembre de 1994 el volcán emite ceniza volcánica por primera vez en setenta y cinco años. La actividad de emisión de ceniza aumenta después del día 21 y la sismicidad incluye temores armónicos, que son señales consideradas como peligrosas, pues pueden indicar desplazamientos de magma. La actividad llega a un máximo y se estabiliza. Posteriormente, durante las primeras semanas de 1995, las emisiones de ceniza se hacen esporádicas dándoseles el nombre de "exhalaciones".

Esta situación estacionaria persiste por varios meses y luego tiende a declinar hacia la segunda mitad de 1995 y los primeros meses de 1996. En marzo de 1996 se presenta una situación similar a la de diciembre de 1994. Considerables emisiones de ceniza volcánica van acompañadas de sismicidad y temores de intensidad creciente. La actividad se estabiliza nuevamente durante las primeras semanas de marzo de 1996, y para la tercera semana de ese mes se detecta la presencia de un cuerpo creciente de lava en el interior del cráter del Popocatepetl.

La tendencia de la lava a cerrar temporalmente las bocas de salida del volcán y su presencia misma producen algunos eventos o exhalaciones de carácter moderadamente explosivo, el mayor de los cuales ocurre el 30 de abril de 1996, causando cinco víctimas entre excursionistas que intentaban filmar el interior del cráter. Estos eventos lanzan suficiente ceniza para producir leves lluvias de la misma en poblaciones localizadas a lo largo de la pluma o penacho, y lluvias de piedras (de 1 a 5 cm) sobre poblaciones en las inmediaciones del volcán. A lo largo de 1996, las exhalaciones se hacen más espaciadas pero, hacia finales de ese año, muestran una tendencia a volverse más explosivas.

Esa fase del proceso continuó durante la primera parte de 1997. La velocidad de emisión de la lava tiene un carácter fluctuante, dentro de ciertos límites. Esto es, la velocidad de la lava fue máxima al inicio del proceso en marzo de 1996. Esta velocidad disminuyó lentamente y, posteriormente, en marzo y en diciembre de 1997 vuelve a aumentar.

El 24 y 27 de junio de 1997, la red de monitoreo del Popocatepetl detectó señales de tremor sísmico de baja frecuencia y de duración creciente. Asimismo, los inclinómetros detectaron defor-

maciones significativas (deflaciones), especialmente en las zonas altas del volcán. El 30 de junio de 1997 ocurrió el evento explosivo de mayor intensidad del actual episodio eruptivo del Popocatepetl. Esta exhalación explosiva estuvo precedida por una serie de siete temblores de magnitudes entre 2 y 2.7, que fueron detectados en un intervalo de trece minutos. La exhalación explosiva tuvo dos pulsos principales. El primero se inició a las 18:11 y duró 135 minutos. La fase de mayor intensidad duró 35 minutos. El segundo se inició a las 19:26 y duró noventa minutos. Una señal muy intensa de tremor acompañó a estos pulsos. El radar Doppler del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) mostró fuertes señales reflejadas por una columna densa de ceniza sobre el volcán. La erupción del 30 de junio generó una importante pluma de ceniza que se elevó 13 km sobre el nivel del mar en pocos minutos. En las siguientes dos a tres horas se reportaron lluvias de ceniza en muchas poblaciones, incluidas Cuernavaca y la Ciudad de México. El Aeropuerto Internacional Benito Juárez de la Ciudad de México tuvo que ser cerrado por varias horas, y posteriormente se presentaron dificultades importantes para despejar la ceniza depositada en las pistas.

Fragmentos de pómez de hasta 10 cm cayeron en un radio de unos 10 km a la redonda del volcán, principalmente hacia el sector norte. Grandes fragmentos de roca de hasta varias decenas de centímetros cayeron sobre los flancos del volcán sin que, afortunadamente, se dañara ninguno de los dispositivos de monitoreo.

El cuerpo de lava que crecía en el fondo del cráter desde marzo de 1996 fue parcialmente destruido por la explosión del 30 de junio de 1997, formando una depresión en forma de cráter en su parte central. Posteriormente, el 4 de julio de 1997, se pudo observar que se emplazaba un nuevo cuerpo de lava sobre los restos del anterior. Este nuevo cuerpo de lava cordada era similar al domo formado en marzo de 1996. En forma paralela, la actividad sísmica y las manifestaciones externas de actividad del volcán decrecieron significativamente. Sin embargo, entre el 13 y el 19 de agosto de 1997, se detectaron nuevamente señales de tremor sísmico. Vuelos realizados en agosto de 1997, y el análisis de fotos aéreas del interior del cráter del Popocatepetl, obtenidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, revelaron la presencia de un pequeño domo de lava creciendo nuevamente en el interior de la depresión producida por la explosión del 30 de junio. El crecimiento de ese domo se detuvo por un tiempo y se reinició con mayor velocidad del 2 al 6 de diciembre de 1997. Posteriormente se registraron dos explosiones relativamente importantes, el 24 de diciembre de 1997 y el 1º de enero de 1998.

DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN

El proceso actual presenta varias características importantes:

a) Tiene un componente magmático que involucra un cierto nivel de riesgo, dado que esto lo hace potencialmente capaz de generar erupciones piroclásticas, esto es erupciones explosivas, que pueden producir flujos de ceniza caliente y todo de alto poder destructivo. La ocurrencia de eventos de este tipo en tiempos históricos y prehistóricos indica que este escenario es posible, aunque poco probable.

b) La presencia del componente magmático no necesariamente lleva a una fase paroxismal. La actividad actual, en forma similar a la del episodio 1919-1927, involucra el crecimiento del cuerpo de lava en el fondo del cráter (actividad efusiva) y exhalaciones esporádicas, o emisiones de ceniza de poder explosivo bajo a moderado.

La diferencia entre las dos modalidades eruptivas (explosiva y efusiva) depende de varios factores, principalmente de la composición de la lava y los gases que la acompañan, y de la velocidad con que estos productos son emitidos por el volcán. En ambos casos, el monitoreo continuo y permanente permite detectar cambios significativos en estos parámetros y con ello anticipar un cambio en el estado interno del volcán que pudiera llevar a una situación de mayor peligro.

VIGILANCIA

El diagnóstico técnico del volcán Popocatepetl se basa en una importante infraestructura de equipo de monitoreo y en el trabajo de más de veinte investigadores de diversas especialidades que integran el Comité Científico Asesor del Volcán, y que pertenecen a las más importantes instituciones académicas del país, principalmente a la Universidad Nacional Autónoma de México. Los trabajos del Comité reciben una aportación significativa por la participación de vulcanólogos internacionales del más alto nivel, especialmente los que pertenecen al Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (USGS). Recíprocamente, vulcanólogos de éste y otros centros del extranjero reconocen el nivel de los científicos mexicanos.

El CENAPRED coordina y apoya los trabajos del Comité y es el principal operador de la red de monitoreo; funge también como enlace entre los especialistas y las autoridades de Protección Civil.

Para evaluar la actividad del volcán, el Comité Científico y el CENAPRED se apoyan en el siguiente equipo de monitoreo:

- Once estaciones sísmicas distribuidas en el edificio volcánico.

Ocho de éstas transmiten sus señales las 24 horas del día al centro de registro ubicado en el CENAPRED.

- Cuatro estaciones inclinométricas para medir la deformación del edificio volcánico transmiten directamente sus registros al CENAPRED; además, se tiene distanciómetros para mediciones geodésicas, con los que se realizan mediciones directas sobre el volcán.

- Una cámara de video con antena de microondas que recibe la imagen del volcán en tiempo real durante las 24 horas del día en el CENAPRED.

- Un centro de adquisición, registro y procesamiento de datos localizado en el CENAPRED. Este centro cuenta con registradores en papel para graficar las señales sísmicas y una extensa red de computadoras que registran en forma continua la actividad del volcán.

- Un espectrógrafo de correlación (COSPEC), con el que se monitorea el dióxido de azufre; esta medición se realiza cuando menos una vez a la semana a través de sobrevuelos o por vía terrestre.

- Un radar Doppler para detectar emisión importante de ceniza.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes toma fotografías aéreas del interior del cráter, en promedio una vez cada dos semanas; realiza fotointerpretación y proporciona los resultados de los análisis sobre el crecimiento del domo de lava. Adicionalmente se realizan sobrevuelos en helicópteros proporcionados por la Procuraduría General de la República, para reconocer las condiciones del volcán.

- En coordinación con el Geological Survey de Estados Unidos se ha instalado, en fase experimental, un sistema de detectores de flujos de lodo en las cañadas de desagüe del glaciar.

- Se trabaja para reforzar el Sistema de Monitoreo y Vigilancia en la ladera sureste mediante un enlace satelital. Con este enlace satelital todas las señales de dicho sector del volcán se concentrarán y enviarán en forma directa del satélite Solidaridad I hacia el CENAPRED, sin la necesidad de repetidores susceptibles de fallas en nuestro sistema de comunicación.

Aunado a lo anterior, los miembros del Comité Científico Asesor realizan en el Instituto de Geofísica de la UNAM, diversas investigaciones en la zona del volcán, entre las que destacan:

- Monitoreo sísmico.
- Registro y análisis de los microsismos y tremores.
- Estudios geológicos para la estimación del riesgo en la zona del volcán.
- Actualización del mapa de peligros volcánicos.
- Monitoreo del glaciar del Popocatepetl.

- Estudio gravimétrico del volcán.
- Evaluación del riesgo por métodos geodesicos.
- Monitoreo químico de manantiales.
- Monitoreo de la distribución y la composición de las cenizas arrojadas por el volcán.

CALIDAD DEL MONITOREO Y PRONÓSTICO

EN EL POPOCATÉPETL.

ANÁLISIS COMPARATIVO CON OTROS VOLCANES

En términos generales, el nivel de vigilancia y la calidad del monitoreo que se mantienen en el Popocatepetl son similares a los de otros volcanes del mundo.

La Figura 1 muestra la distribución de trece estaciones sísmicas con que se monitorea el volcán Santa Elena. La Figura 2 muestra las siete estaciones utilizadas para monitorear al Pinatubo antes de la erupción de junio de 1991. Otros volcanes, principalmente en Japón utilizan las mismas tecnologías, aunque cuentan con mayor número de estaciones. Sin embargo, si bien con estos sistemas se han logrado pronósticos adecuados de los grandes eventos eruptivos, en ninguno de ellos se pronostican eventos repetitivos de baja intensidad. A este respecto, Newhall y Punongbayan (1996), los principales líderes científicos durante la erupción del Monte Pinatubo en 1991, señalan:

En principio, los riesgos volcánicos pueden ser sustancialmente mitigados. En la práctica, la mitigación de los riesgos volcánicos no es sencilla ni está garantizada. En ocasiones, el desastre impacta antes de que cualquier advertencia pueda ser emitida. En otros

casos, los pronósticos son correctos pero las advertencias no son efectivas, y el desastre se presenta. Y, a veces, aun los mejores pronósticos y advertencias fracasan en mover al escéptico, incluso hostil, público u oficial público.

Primarios entre los problemas encontrados en los volcanes Santa Elena y Pinatubo fueron.

- El poco tiempo disponible para la instalación de monitoreo, el análisis de los datos y la emisión de advertencias.
- El escepticismo de muchos líderes de la comunidad y de la mayoría de los ciudadanos y la ineffectividad de argumentos puramente científicos contra ese escepticismo
- Expectativas fuera de la realidad sobre la capacidad de los vulcanólogos de predecir detalles de las erupciones y dificultades afines al describir situaciones complejas.
- Preocupación necesaria acerca del riesgo en áreas cercanas al volcán, a expensas de aquellos en riesgo lejos del mismo.
- Incomodidad y dificultad sobre el carácter forzoso con que los vulcanólogos debían recomendar medidas de mitigación.
- Insuficiente personal y financiamiento para el monitoreo y la respuesta a la crisis, hasta después de la gran erupción.

En forma análoga, McNutt (1996) señala:

En general, las erupciones grandes son relativamente más fáciles de pronosticar que las pequeñas. La cantidad de magma involucrado es grande y los temblores tienden a ser numerosos y distribuidos por grandes áreas y volúmenes. Otros precursores, como deformación y fumarolas, se manifiestan junto con los enjambres sísmicos. Recientes ejemplos incluyen al Monte Santa Elena, al Pinatubo y al Spurr en Alaska. En contraste, las erupciones pequeñas y la mayoría de las erupciones freáticas involucran cantidades mucho más pequeñas de magma, tienen precursores muy sutiles o se presentan sin precursores. Son por lo tanto mucho más difíciles de pronosticar. Ejemplos recientes incluyen Galeras, enero a junio de 1993; Arenal, agosto de 1993, y White Island, febrero de 1992.

En el caso del Popocatepetl el Comité Científico, utilizando la información del Sistema de Monitoreo del CENAPRED, ha logrado un alto grado de confiabilidad en sus pronósticos sobre las tendencias de la actividad volcánica. Pronósticos enviados a Protección Civil desde 1994 y 1995 siguen vigentes.

Sin embargo, la actividad explosiva de bajo nivel en muchos casos no presenta precursores reconocibles, o bien éstos se pre-

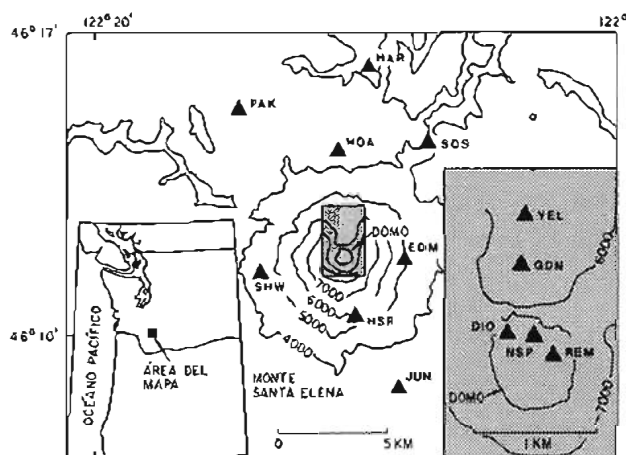


Figura 1. Distribución de las trece estaciones sísmicas con que se monitorea el volcán Santa Elena

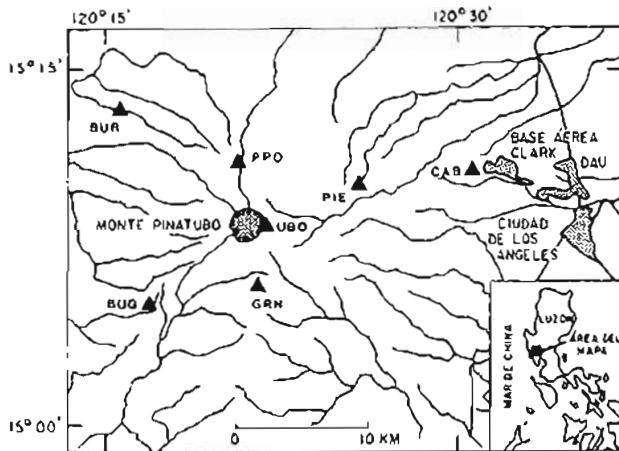


Figura 2. Distribución de las siete estaciones sísmicas utilizadas para monitorear al Pinatubo antes de la erupción de junio de 1991.

sentan con una antelación demasiado corta para tomar alguna medida preventiva. Así lo prueban las 43 víctimas causadas por los flujos piroclásticos producidos por el colapso de parte del domo y explosión subsiguiente en el volcán Unzen, con un muy alto nivel de vigilancia y monitoreo. Este volcán se encontraba en actividad, y los pronósticos del grupo científico sobre las tendencias eruptivas del volcán fueron correctos: las 43 víctimas se encontraban en zona declarada de alto riesgo. Sin embargo, no fue posible pronosticar esa explosión individual en un volcán en estado de actividad.

En el caso del Popocatepetl, las cinco víctimas del 30 de abril de 1996, se encontraban en un área que había sido declarada de alto riesgo.

PRONÓSTICO PARA EL POPOCATÉPETL

El pronóstico a corto plazo de la actividad del volcán se puede hacer a dos niveles:

a) Si la actividad se mantiene en el rango actual, esto es, si no se presentan cambios mayores en la composición y la velocidad de salida de la lava.

En lo que respecta a los episodios de actividad dentro del rango observado hasta la fecha, el cuerpo de lava que crece en el interior del cráter ha incrementado en cierta medida su capacidad de cerrar temporal y parcialmente las bocas de salida que permiten el desahogo de presión del interior del volcán. Cuando se tapan las bocas de desfogeo aumenta la sismicidad y se incrementa el nivel y el número de las exhalaciones, alcanzando algunas de ellas intensidad de explosiones moderadas. Si las bocas de desfogeo se destapan, las exhalaciones y la sismicidad decrecen, pero aumentan la

emisión continua de gas y las fumarolas. Esto implica que se cuenta con una capacidad limitada de pronosticar exhalaciones o explosiones individuales leves.

Las emisiones de ceniza que se producen dentro del rango de intensidades de la actividad actual no se considera que pongan en peligro la seguridad de la población que habita alrededor del volcán. Pueden sin embargo involucrar un riesgo para la navegación aérea, ya que aun la relativamente baja cantidad de ceniza volcánica acarreada por la pluma, durante las exhalaciones, puede afectar seriamente los motores de aviones que la atraviesen.

La posibilidad de que esa lava se desborde no se considera como un riesgo significativo a mediano plazo, dado que a la velocidad actual de crecimiento del cuerpo de lava, tardaría varios años en llenar la capacidad del cráter.

La probabilidad de que la actividad se mantenga dentro del rango actual por algunos años y eventualmente desaparezca se estima mayor al noventa por ciento.

b) Si la actividad sale del rango actual, esto es, si se presentan cambios importantes en la composición y la velocidad de salida de la lava.

En este caso, se espera que se presenten manifestaciones precursoras que pueden ser detectadas por los sistemas de monitoreo, antes que se desarrolle una actividad altamente explosiva y con la anticipación suficiente para permitir a los sistemas de Protección Civil tomar medidas preventivas (días a semanas). La probabilidad de que se presente un escenario de esta naturaleza se estima menor al diez por ciento. Sin embargo, la alta vulnerabilidad de un amplio sector de la población que vive en el entorno del volcán, ante una actividad de este tipo, requiere tomar a este escenario en alta consideración.

Como puede percibirse, si la actividad se mantiene dentro de la modalidad observada hasta el momento, el pronóstico del comportamiento del volcán Popocatepetl sólo puede hacerse en forma genérica y no siempre es posible que se pronostiquen explosiones individuales.

Si el Popocatepetl evolucionara hacia una fase diferente que implicara el desarrollo de una actividad eruptiva de gran escala, los síntomas precursores pueden ser reconocidos con la anticipación suficiente para tomar medidas preventivas.

(Servando de la Cruz Reyna es investigador titular del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México y coordinador de investigación del Centro Nacional de Prevención de Desastres.)

A Frida, quien navega por el Mar del Norte fascinada por el hielo.

los glaciares de México

Alejandro Rivera Domínguez

¿Qué es lo que admiró Bloom, amante del agua, chupador de agua, aguador, volviendo al togón? Su universalidad; su democrática igualdad y su naturaleza fiel a sí misma que la lleva a buscar su propio nivel; su vastedad oceánica sobre la proyección de Mercator... el incansable movimiento de sus olas y partículas de su superficie, que visitan por turno todos los puntos de sus orillas... su esterilidad en los congelados casquetes circumpolares, su importancia climática y comercial... su ubicuidad ya que ella constituye el noventa por ciento del cuerpo humano; lo nocivo de los flujos lacustres, los pantanos pestilentes, el agua descompuesta de los floreros, los charcos estancados en la luna menguante.

James Joyce, *Ulises*



El agua, ese sorprendente e inagotable problema de la ciencia, decisiva para la vida planetaria, desperdiciada sin objeto, el agua en sus formas gaseosa, líquida y cristalina es fundamental para el clima, la biosfera y los glaciares, esos cuerpos de hielo que se deslizan lentamente y que representan uno de los grandes problemas a resolver por la paleontología y la paleoclimatología. Hace apenas un millón de años, al menos cuatro avances de hielo cubrieron Europa, Canadá y tuvieron efectos hasta latitudes bajas como el centro de México. El rudo clima frío apenas retiró los hielos hace ocho mil años, ¿estaremos en un periodo interglaciar o el famoso cambio climático actúa derritiendo definitivamente todo vestigio de los glaciares actuales? Los glaciares son objeto de estudio profundo. En México, tenemos al menos cuatro zonas con hielo permanente producido de manera natural, cuyo estudio es de enorme interés debido a que son fenómenos que tienden a desaparecer por causas diferentes. Los actuales, en las altas montañas de México, son la última fase de una era con un clima mucho más frío que el actual y que tuvo fin hace unos 8,000 años. Los pocos mantos de hielo permanente quizá sean relictos de una época donde la fauna y la vegetación en el centro del país eran notablemente diferentes a las actuales.

¿Que produce un glaciar? Indudablemente estamos hablando de agua, pero no es tan fácil explicar los mecanismos de formación y eventual desaparición de estos cuerpos tan importantes para el clima de una región: los glaciares son esencialmente Hidrógeno y Oxígeno que forman un compuesto sorprendente que puede presentarse en tres estados: líquido, gaseoso y sólido.

El agua es uno de los compuestos más interesantes e importantes de la física, química, ingeniería, geología, y muchas otras

ciencias que permite de una manera relativamente fácil comprender las fases sólida, líquida y gaseosa. El agua (H_2O) es de los pocos compuestos que al pasar al estado cristalino disminuye su densidad, es decir, el estado cristalino es menos denso que la forma líquida y este fenómeno ha tenido una importancia decisiva para la evolución y permanencia de la vida en la Tierra.

Al examinar diferentes líquidos se observa que la relación temperatura-densidad, tiene propiedades que hacen a la mayoría de los líquidos incrementar su densidad en función de una disminución de la temperatura, fenómeno que se debe esencialmente a que la amplitud del movimiento molecular del líquido disminuye y permiten el acercamiento de las moléculas.

En el H_2O la mayor densidad se obtiene cuando se llega a los 4 °C y la fase cristalina (hielo) es menos densa que la fase líquida. Es fácil observar este fenómeno simplemente al mezclar hielo y agua. El hielo sobresale del líquido inmediatamente.

La interpretación de que el agua tenga una mayor densidad a 4 °C resulta del hecho de que a esa temperatura el agua comienza a formar una estructura cristalina. Experimentalmente se ha encontrado que a menor temperatura, el agua contiene muchas vacancias ligadas en estructuras cristalinas que influyen considerablemente en la disminución de la densidad. El tamaño de las vacancias aumenta al disminuir la temperatura. Este fenómeno constituye la pretransición que se ha observado en otros líquidos, sin embargo, en el caso del agua, es anómalo. Algunas propiedades fundamentales del agua quizá nos sean familiares, ya que por su abundancia relativa en la naturaleza ha servido de referencia para algunas unidades ampliamente utilizadas en ciencia y tecnología (Tabla 1).

TABLA 1

Peso molecular	18.06
Punto de congelación	0 °C
Punto de ebullición	100 °C
Calor de fusión	79.7 cal / g
Calor específico	1 cal / g / °C

Se ha dicho que el agua incrementa su densidad anormalmente, en comparación con la mayoría de los líquidos, cuando se incrementa la temperatura de 0°C a 4°C (exactamente 3.98 °C) temperatura en la que alcanza el valor máximo de 1 g/ml. Por encima o debajo de esta temperatura, el agua se dilata y la densidad disminuye (Tabla 2).

Estas mediciones se han realizado experimentalmente bajo control de laboratorio y en condiciones normales de presión (1 atmósfera), pero con el hielo, forma cristalina del agua en la naturaleza, la situación es algo diferente.

En la Tierra la forma sólida del agua es, no obstante su importancia, relativamente trivial, en comparación con las condiciones que se encuentran en el espacio vecino.

De las investigaciones espaciales recientes se sabe que en la Tierra se encuentra sólo una forma cristalina del agua. Los hielos de los glaciares, de los casquetes polares o del congelador de casa, tienen una característica común: el hielo presenta una estructura hexagonal. Se trata del hielo llamado Ih. Esta forma obedece a las circunstancias de presión y temperatura que definen las condiciones terrestres.

TABLA 2

TEMPERATURA °C	DENSIDAD (g/ml)
0	0.917
-10	0.988
5	0.999
3.98	1.000
100	0.9583

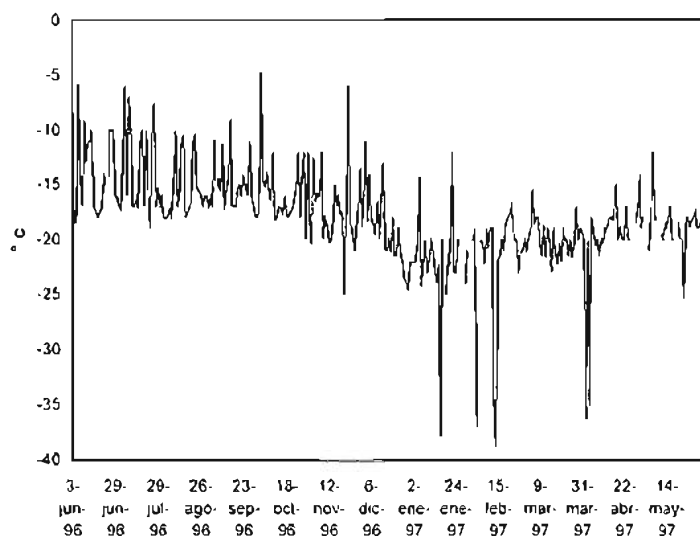


Figura 1. Curso temporal de la temperatura en la cima del Popocatepetl.

En la atmósfera terrestre, la única variedad de hielo que por refracción forma los halos solares y lunares, es también hielo Ih, una de las diez formas cristalinas conocidas del hielo; existe además una variedad amorfa. Por ejemplo, el hielo Ic es una forma que se obtiene en el laboratorio y se observa en algunas atmósferas planetarias o cuando en el laboratorio se condensa a partir de vapor de agua entre 130 y 150 °K (grados Kelvin; 0°K= -273.15 °C, teórico). Existe una presentación amorfa, hielo Ia, que se obtiene por condensación de vapor de agua a temperaturas inferiores a 110 °K. El hielo amorfo se transforma en cristal cúbico a una temperatura de transición de 153 °K. Sin embargo, estos aspectos termodinámicos del comportamiento del hielo bajo condiciones que no se encuentran de manera natural en la Tierra, salvo en laboratorios y bajo criterios experimentales, es de interés en muchos campos espaciales y en la investigación de atmósferas planetarias.

Una vez examinadas de manera breve algunas propiedades del agua y sus presentaciones físicas, pasamos a un tema de especial interés que es la formación de glacia-

res, sus mecanismos e importancia en la modelación del paisaje y su papel fundamental en la configuración del clima regional y planetario.

Los glaciares tienen una existencia dinámica: el glaciar es una masa de hielo en lento movimiento; al ser formado por hielo y agua líquida se comporta como un fluido con características especiales. Son también notables y únicos algunos de los mecanismos que los mantienen en un proceso dinámico, que han modelado el paisaje durante buena parte de la historia terrestre y tenido a lo largo de miles o quizá millones de años una presencia preponderante en la configuración climática de la Tierra.

La formación de hielo de un glaciar comienza cuando se produce una acumulación, principalmente de nieve, sobre un suelo donde la temperatura media anual del aire oscila pocos gra-

dos del punto de congelación y, además, se ablanda menos nieve en el periodo de verano que el acumulado en invierno. Las estaciones anuales son fuertemente determinantes para los ciclos de un glaciar que crece y decrece en función de la temperatura ambiente, de el régimen de lluvias, de las nevadas y de la insolación.

La formación de un glaciar considera diversos mecanismos que comienzan con la caída de nieve, sublimación, derretimiento, recongelación y deformación plástica.

La nieve es una formación de cristales de hielo laminares, de manera que una masa de nieve en realidad tiene una alta proporción de aire y, bajo ciertas condiciones, alcanza una densidad de sólo el 0.1, es decir, un volumen dado de nieve pesa sólo el 10% de un volumen igual de agua líquida; no obstante, la nieve seguirá un proceso que la convierte en el principal alimento de la masa helada.

Los copos de nieve se subliman fácilmente y pasan del estado cristalino al gaseoso a causa de las estructuras cristalinas, de área relativamente grande. Si la temperatura es baja y la nieve se derrite poco, se produce un proceso de recongelación favorecido por la tensión superficial del agua. Con frecuencia se observa que el agua de



Foto 1. Estrias dejadas por el deslizamiento de masas de hielo y rocas que dejan marcada la dirección del flujo.

fusión glaciár se congela alrededor de los núcleos, al transcurrir el tiempo se incrementa el fenómeno y se forma una superficie que cambia su configuración al de hielo llo mezclado con nieve y agua líquida. El hielo que sobrevive al período de verano se denomina "geloide" o neviza y tiene un peso volumétrico de 0.5, a ciertas acumulaciones que no maduran completamente se les denomina "ventisqueros".

A medida que se acumulan capas anuales sucesivas, la neviza profunda se compacta, los gránulos individuales de hielo se congelan en grandes masas y el aire es expulsado o, eventualmente, es encerrado dentro de la estructura. Es así, por definición, que la neviza o geloide se convierte en glaciár. El peso específico volumétrico es de 0.8 hasta 0.9, que es el peso específico del hielo sin gas.

Una propiedad muy interesante de los glaciares es que el hielo no forma un sistema cristalino "fuerte", el sistema cristalino hexagonal hace a la estructura susceptible de sufrir deformaciones plásticas. Si un volumen de hielo se somete a una presión de 1 kg/cm², la estructura se deformará por los ajustes que demanda la red cristalina. Este fenómeno tiene una importancia relevante cuando se trata de analizar los movimientos

del geloide y del glaciár. Un cubo de hielo obtenido del congelador casero es, en cierta forma, un glaciár en miniatura. Si se coloca el cubito sobre un alambre delgado, pasados unos minutos, el alambre estará soldado con el hielo. Si además se coloca el hielo de manera que quede sujeto a la fuerza de gravedad, el hielo no se partirá en dos, el alambre penetrará y fundirá un poco de agua en la zona de contacto, pero el agua de derretimiento se congela otra vez. El alambre ha pasado a través del hielo pero no ha dejado una huella notable y el cubo permanecerá casi intacto, con muy poca pérdida.

Otras propiedades del hielo que constituyen parte de la dinámica glaciár están vinculadas con su calor latente, que es de 80 cal/gr, lo que significa que al derretirse un gramo de hielo se requieren justamente 80 calorías que son absorbidas por el ambiente. Otra propiedad es que el hielo y el agua coexisten bajo cualesquiera condiciones de presión en el caso terrestre. El agua que convive con el hielo bajo la presión de 1 atmósfera, permanece a 0 °C hasta que las condiciones termodinámicas ablacionen todo el hielo o congelen toda el agua, fenómeno que ocurre estacionalmente: en primavera-verano, cuando las temperaturas son mucho más elevadas, el glaciár tiende a fundir-

se pero las lluvias de otoño y una menor insolación, producen un recongelamiento del cuerpo glaciár. El equilibrio general se conserva anualmente y oscila entre la ablación-recongelación.

Ya examinaremos otra propiedad del hielo que consiste en su escasa conductividad térmica, fenómeno que garantiza la permanencia del cuerpo helado en condiciones que a primera vista parecerían no permitirlo, por ejemplo, en algunos glaciares de Islandia, los flujos lávicos no han logrado derretir totalmente algunos glaciares. En el Popocatepetl se ha registrado caída de material incandescente sobre el hielo y sólo ha producido orificios en el lugar del impacto.

La pobre conductividad térmica del hielo es notoria sobre todo cuando hay mucho aire atrapado, cada capa de hielo depositada y conservada anualmente, conserva la temperatura de deposición. Este fenómeno convierte a los glaciares en magníficos indicadores de climas pasados. Los paleoclimatólogos aprecian mucho los datos aportados por los glaciares por su índice de conservación y por su precisión.

La temperatura de cada capa dentro de los pocos decímetros superiores del glaciár depende de la época del año de depósito, sin embargo, a unos 10 m de profundidad,

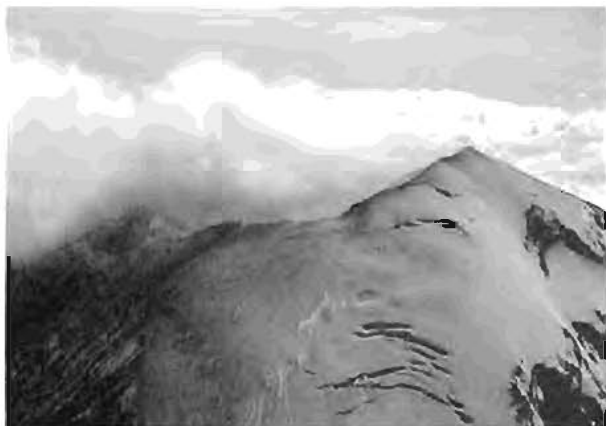


Foto 2. Sistema de grietas del glaciár del Popocatepetl (29-12-94).



Foto 3. Circos glaciares en la cara occidental del Iztaccíhuatl (15-08-97).

las variaciones estacionales de temperatura son irrelevantes y entonces se considera que la capa mantiene la temperatura media del aire de la región. Los glaciares de Groenlandia y de la Antártida se exploran con el propósito de averiguar pequeños cambios climáticos, depósitos de ceniza de erupciones antiguas y otros fenómenos. Los glaciares son justamente llamados la "biblioteca del clima terrestre".

Aunque en Europa y Norteamérica se ha intentado clasificar a los glaciares, en general estas clasificaciones obedecen más a la estructura topográfica que a características termodinámicas. Con este criterio, en el planeta se observan dos grandes grupos glaciares: el polar o frío, que mantiene casi todo el año temperaturas debajo de la temperatura de fusión del agua, y el templado, cuya característica es una oscilación térmica.

Los glaciares mexicanos se encuentran en esta categoría, es decir sufren modificaciones importantes en función de las estaciones del año, crecen unas hectáreas durante el verano y gelan en invierno reduciendo sus dimensiones en algunas hectáreas. Durante los meses cálidos de junio y julio se producen algunos deshielos importantes que no llegan a la inestabilidad, ya que los glaciares intertropicales (aquellos que

se encuentran entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, es decir a 23° 27' de latitud norte o sur) dependen esencialmente de la altitud y de la contribución de corrientes térmicas de ladera, que transportan mucha humedad. Al chocar contra el cuerpo volcánico estas corrientes son obligadas a subir; a temperatura de altitudes mayores a 4,700 m, condensan el agua produciendo nevadas que alimentan el gelido antecedente del glaciar.

En verano, cuando las temperaturas medias regionales en el centro de México se incrementan y las precipitaciones provenientes del régimen del Golfo o del Pacífico arrastran humedad al Altiplano, la lluvia, casi diaria, forma charcos con una temperatura superior a 0 °C. El enfriamiento es rápido e intercambia calor de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, al fusionar la superficie del glaciar, por cada gramo de agua se desprenden 80 calorías, causando modificaciones locales en la superficie. El agua se cuela hasta la profundidad, donde la temperatura es muy baja y el agua inicia el proceso de recongelación (Figura 1). Este proceso hace inestables algunas regiones de la masa glaciaria, pero todo el período de lluvias no es suficiente para romper el equilibrio térmico del sistema atmósfera-ablación-recongelación-glaciaria.

Cuando en el edificio volcánico se desarrolla un glaciar, llama la atención que las grandes masas de hielo actúen como aislantes del calor geotérmico. Dado que son más frías en la base que en la superficie, el flujo de calor no ascenderá fácilmente a través de la placa de hielo y, aunque un volcán tenga actividad, la transmisión térmica es muy pobre. En general, las zonas glaciadas están sujetas al flujo térmico anual de la Tierra, que es de 40 cal/cm², suficiente para derretir 0.5 cm en la base. Este fenómeno térmico es la causa del lento deslizamiento producido sobre una delgada capa de agua en contacto con la base del glaciar y el lecho rocoso.

El cabalgamiento, más precisamente, la fluencia de la masa, se origina mediante algunos mecanismos que actúan simultáneamente y se basan en la deformación interna de los cristales de hielo, fusión y recongelación, deslizamiento del hielo por la pendiente entre la roca y la superficie de contacto, fractura y fallamiento del hielo además de la participación de la fuerza de Coriolis* debido a la rotación terrestre.

* La fuerza de Coriolis aparece en los cuerpos que rotan. Su expresión es: $F_c = 2\pi w r$ (donde w es la velocidad angular de la tierra y r el radio terrestre).



Foto 4. Glaciar del pecho del Iztaccihuatl (diciembre de 1994)



Foto 5. Glaciar norte del Popocatepetl (10-07-97).

Un glaciar aumenta su fluencia cuando granizadas, nevadas o lluvias torrenciales se acumulan súbitamente en la parte superior. La neviza absorbe las lluvias y las aguas estivales al igual que un secante; el agua que se hiela contribuye a compactar la nieve suelta mediante la expulsión de aire. En el origen de todos los glaciares existen grietas arqueadas que constituyen la "rimaya" (el término más usual en la literatura especializada es la voz alemana *Bergschrund*). Estas grietas se forman porque al avanzar el hielo de la parte más profunda del glaciar se rompe la porción superficial. Las grietas son más notorias en verano pero, paradójicamente, se llenan de nieve que forma puentes incluso en el invierno. Las rocas por donde fluye el glaciar sufren alteraciones de compresión, pero las huellas más notables son rayones de rocas arrastradas por la masa de hielo que, bajo su enorme peso, dejan el típico "rasguño glaciar" (Foto 1). Esta es una prueba del lento movimiento de la masa de hielo por la pendiente de una montaña o de un volcán. Al llegar a las zonas más templadas el hielo se derrite completamente dejando, sin embargo, un depósito de rocas de arrastre a las cuales se les identifica con el nombre de "morrenas".

El sistema de grietas del Popocatepetl, y en general de los glaciares, muestra que la profundidad de las grietas no supera los 50-60 m debido a que la masa de hielo se comporta plásticamente. Al fluir la masa de agua por el fondo del glaciar tiende a cerrar las vías abiertas por el agua líquida; la presión hidrostática mantiene abierto el conjunto de pequeñas vías profundas (Foto2).

La mayoría de los glaciares tiene una zona de acumulación a gran altitud —misma que excede la pérdida— y una zona de ablación más baja donde tiene lugar la pérdida neta del hielo.

La ablación incluye fusión, evaporación y otras pérdidas como la deflación eólica, fenómeno que consiste en la formación de hojas en la superficie glaciar que es desprendida fácilmente por el viento. La altitud más baja de acumulación neta anual en un glaciar está delimitada por la neviza, que es equivalente al límite de los mantos perennes en una isolínea alrededor de los 5,000 m, altitud en la cual casi todos los volcanes de México tienen nieve algunos días del año. Bajo determinadas circunstancias algunas nevadas logran formar campos nevados que permanecen unos cuantos días. La Malinche es un caso típico. Su altitud de 4,161 m apenas alcanza el límite de los 0 °C durante algunas semanas al año. Lo mismo ocurre con el Cofre de Perote y otros volcanes de 4,000 m (Tancitaro).

En la zona de acumulación se está añadiendo hielo nuevo de manera que la trayectoria general del flujo de una partícula de hielo es hacia abajo, hacia el interior del glaciar. El escurrimiento generalmente es absorbido por el terreno y reaparece en las regiones bajas donde el agua aflora en manantiales o se acumula en mantos freáticos.

Antes del proceso eruptivo del Popocatepetl, en diciembre de 1994, los glaciares habían recibido una atención mínima por parte de unos cuantos especialistas; el trabajo más destacado, sin duda, fue el del recientemente fallecido doctor José Luis Lorenzo, quien se dedicó a explorar y registrar diferentes aspectos de los glaciares mexicanos. Más recientemente, Hugo Delgado, de la UNAM, ha trabajado en aspectos glaciológicos, particularmente en el Popocatepetl, ya que el glaciar norte representa un caso de amenaza volcánica de la mayor importancia. A estas observaciones sistemáticas se ha incorporado personal del CUPREDER-BUAP, con el objeto de construir modelos

que permitan evaluar la amenaza que significa la súbita ablación del glaciar y su descenso por la ladera noreste del cono, mismas que afectarían a numerosas poblaciones cercanas al lecho de las barrancas.

Al encontrarse sobre volcanes, los glaciares mexicanos son susceptibles de modificaciones importantes cuando aquéllos inician un proceso de actividad.

Los glaciares que encontramos en México se desarrollan a partir de los 4,500 m. A partir de los 4,000 m existen huellas de morrenas que revelan glaciares importantes, incluso la Malinche o Matlacueytl, volcán poco estudiado, muestra morrenas que llegan hasta una porción del canal de riego de Valsequillo y que son indicios indudables de grandes glaciares permanentes durante al menos cuatro periodos glaciares y cortos periodos interglaciares. También el Cofre de Perote muestra morrenas y zonas de intensa erosión glaciar producto de un clima que cambió hace unos ocho mil años y modificó radicalmente el clima y, con él, la flora y la fauna en casi todo el Altiplano. Ahora quedan sólo cuatro volcanes con glaciares permanentes: Citlaltepetl (Pico de Orizaba), Zinacantan (Nevado de Toluca), Iztaccihuatl y Popocatepetl. Todos ellos con cotas de 5,000 o más metros sobre el nivel del mar, hecho que facilita la condensación de agua y caída de copiosas nevadas. Estos volcanes pertenecen al Eje Volcánico Mexicano (EVM) y de hecho son los de mayor altitud. Vale la pena mencionar que el EVM es uno de los complejos volcánicos continentales más importantes de la Tierra. La mayoría de estas estructuras son denominados andesíticos por su composición química, esencialmente de SiO₂. Los grandes volcanes mexicanos son geológicamente jóvenes, casi todos han tenido manifestaciones eruptivas durante el Pleistoceno superior (>1 millón de años) y

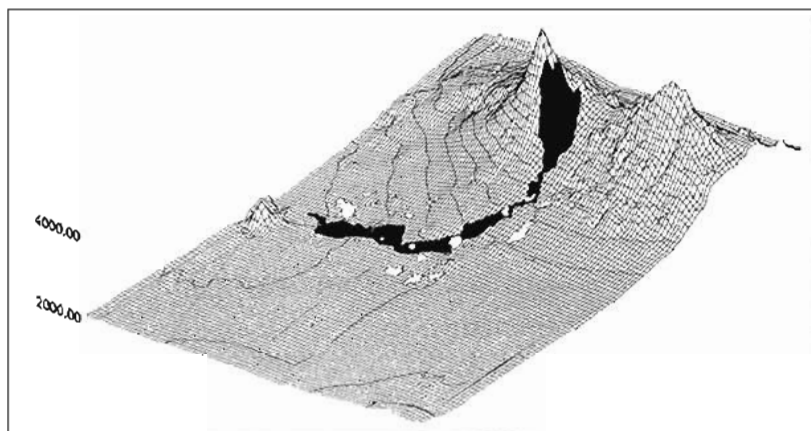


Figura 2. Sector oriental de los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl. Zona máxima de inundación por ablación del glaciar norte del Popocatepetl. Análisis de riesgo por flujos de lodo (Raúl Mayorga R. y Alejandro Rivera Domínguez, CUPREDER-BUAP).

evidentemente el volcanismo a lo largo del EVM sigue activo, dando lugar incluso al nacimiento de volcanes (Xitle, hace unos 2,000 años; Xonulco, en 1756; Parícutin, en 1943; Everman, en 1950). Como consecuencia de la gran actividad volcánica y por el hecho de que todos los glaciares están emplazados sobre las laderas de los volcanes, el estudio de los glaciares templados de México es urgente. Estos glaciares y sus huellas señalan aspectos del clima regional y planetario, asunto que hoy se ha convertido en uno de los objetivos más urgentes de la ciencia (Foto 3). Por ejemplo, algunas regiones del subsuelo de la ciudad de Puebla fueron formadas por los grandes escurrimientos glaciares de la Malinche, restos de megafauna, *elephas americanus*, *mamulthus* y otras especies encontradas en las inmediaciones de la ciudad de Puebla y la región de Valsequillo, muestran un clima radicalmente distinto al actual.

Entre 1958 y 1962, a raíz del Año Geofísico Internacional, los científicos mexicanos participaron en algunos proyectos, entre los cuales se encontraba el estudio de los glaciares y los cambios que habían sufrido desde el retiro de las grandes placas heladas hace ocho mil años. Sin duda, el más destacado investigador de este tema fue el doctor

José Luis Lorenzo, quien fue el primero que realizó mediciones y observaciones sistemáticas en las zonas glaciadas e investigó los cinturones periglaciares, es decir, la frontera entre ambientes que permiten o no el desarrollo de capas heladas. En 1958, Lorenzo encontró en el Citlaltépetl cuatro glaciares que cubrían una superficie total de 9.5 km², misma que es actualmente el área glaciada más grande del país. Exploraciones recientes indican, sin embargo, una drástica reducción del área observada hace treinta y nueve años.

En general todos los glaciares mexicanos, y la mayoría de los glaciares del planeta, muestran una reducción de sus dimensiones que se debe, probablemente, a cambios climáticos de escala planetaria. Aunque ciertos indicios son más o menos claros en este sentido, lo cierto es que no se ha llegado a un criterio definitivo y concluyente.

Ha resultado dramático observar la reducción del tamaño de los glaciares e, incluso, su desaparición, sobre todo en el Iztaccihuatl y el Popocatepetl. En el primero, Lorenzo registró doce áreas que cubrían 1.2 km². Actualmente existen sólo cuatro masas de hielo que cubren un área considerablemente menor a la reportada por Lorenzo. Además, muchos montañistas reportan que los glaciares del cue-

llo, cabeza y rodillas de la "mujer blanca" desaparecieron al finalizar la década pasada (Foto 4). Han desaparecido casi totalmente el glaciar del cuello, el "ala de ángel", entre otros menores. El área de los hielos permanentes se redujo en un 16%.

En el Popocatepetl los glaciares son pequeños, incluso se ha pensado que son sólo ventisqueros; sin embargo, aunque pequeños, tienen las propiedades que ya hemos señalado para los glaciares. El área medida por Lorenzo en 1958 era de 0.72 km²; actualmente apenas llegan a 0.3 km². Los glaciares del Popo son tres pequeños cuerpos, el mayor es el situado directamente en la cara norte que comienza en la cota de 5,600 m y desciende a los 4,600 m. El glaciar del Ventorrillo o de Teopizcalco, donde el arqueólogo Charnay encontró el oratorio prehispánico más alto del continente (4,950 m), cubría una superficie de 0.4 km² y hoy casi ha desaparecido y sólo es un campo de nieve intermitente. Su línea de alimentación se encontraba a 5,300 m y descendía a 4,800 m; el área cubierta era de 0.2 km².

En el costado de "La herradura" había otro glaciar conocido como Nororiental que comenzaba a los 5,400 m y descendía a los 5,000 m. Actualmente casi ha desaparecido y sólo ocasionalmente se forma un campo nevado que en tres o cuatro días se derrite (Foto 5). El glaciar Noroccidental también ha sufrido modificaciones importantes en sus dimensiones; actualmente apenas alcanza 200 m de longitud y un área variable difícil de medir.

El glaciar más importante del Popocatepetl es el Norte o Ventorrillo, que tiene una profundidad de 60 a 65 m observado directamente desde un sistema de grietas maestras que se generan de manera perpendicular a la línea de fluencia del cuerpo helado. La primera se localiza a los 5,300 m y es

justamente la zona de inicio. Es de hecho la rimaya más importante y tiene unos 300 m de longitud y una anchura de cinco o seis metros. Cabe mencionar que otros sistemas de grietas en el glaciar han sufrido una profunda transformación desde que el volcán se reactivó en diciembre de 1994. La salida de vapor de agua, gas a una temperatura de 30 °C, que roza la superficie y, sobre todo, la caída de ceniza que actúa térmicamente sobre la superficie glaciar, han modificado prácticamente todo el sistema reduciendo notablemente el área total. El sistema de glaciares del Popocatepetl ha perdido al menos 40% del campo glaciado con respecto a las mediciones realizadas por Lorenzo.

No cabe duda que el régimen eruptivo del volcán con las constantes fumarolas, eventuales caídas de ceniza y roca incandescente que rueda o penetra la superficie glaciar, ha sido decisivo para reducir las dimensiones del cuerpo helado.

Debe mencionarse también la existencia de áreas que se consideran periglaciares, denominadas por los montañistas "hielo negro", que son zonas donde el agua intersticial en la ceniza y suelo volcánico se congela y forma una superficie denominada *permafrost*, es decir, suelo permanentemente congelado.

La evolución del sistema glaciar del Popocatepetl es de especial interés para los habitantes de la ciudad de Puebla, ya que muchos de los mantos freáticos de los que se surte agua a la ciudad podrían sufrir algunas alteraciones o perder aforo.

La reducción del área glaciar del Popocatepetl nos parece natural debido al proceso eruptivo que no ha finalizado; es preocupante una ablación y eventual remoción de la masa glaciar por una erupción mayor, la cual causaría una remoción de agua líquida que descendería formando flujos por el sistema de barrancas del noreste del cono e invadiría en unos minutos numerosas poblaciones (Figura 2).

En el Citlaltépetl se encuentra el mayor glaciar mexicano: el glaciar norte con un área de 9 km², al que se vinculan la lengua del Chichimeco y la del Toro. Otro importante cuerpo helado es el Jamapa. Los glaciares del Citlaltépetl han mantenido una mayor estabilidad debido a las corrientes húmedas del Golfo de México y, por tanto, una alimentación más estable. También han sufrido reducciones significativas debido probablemente al cambio climático global y a la deforestación del bosque, factores que alteran las condiciones climáticas locales.

Las lenguas de los glaciares del Citlaltépetl tienen un límite relativamente bajo de 4,650 m, que es la zona de transición entre la zona periglacial y los glaciares.

¿Cuál es el futuro de los glaciares de México? Podemos suponer que su reducción continuará de acuerdo al patrón mundial de pérdida de masa de los glaciares. La pérdida de la capa de ozono, el efecto invernadero, el cambio climático global, el fenómeno de *El Niño* y otros muchos factores locales (crecimiento de ciudades, reducción de regiones boscosas, etcétera) han incrementado en unos pocos grados la temperatura del planeta. Algunos especialistas aseguran que la temperatura media anual ha subido unos 5 °C desde que se inició la revolución industrial a mediados del siglo pasado. No pretendemos aquí analizar esos factores, pero sí señalar que estos cam-

bios modificarán el delicado equilibrio de los glaciares y que la humanidad deberá prepararse para enfrentar regímenes climáticos más extremos con la probable reducción de zonas agrícolas en ambos hemisferios.

BIBLIOGRAFÍA

CUPREDER/BUAP, Gobierno del Estado de Puebla, *Reporte de vuelos 1996-1997. Vuelos 020897, 241197.*

Reportes del programa de expediciones de montaña, Agrupación Universitaria de Montaña de la BUAP, Campañas 1987-1992

Delgado, H., *Monitoring volcanic activity through study of contaminated glacier ice at Popocatepetl volcano*, General Assembly of IAVCEI, 1997.

Lorenzo, J.L., *Los glaciares de México*, Serie Investigaciones, Instituto de Geofísica UNAM, 1962

Fletcher, N.H., *The chemical physics of ice*, Cambridge University Press, 1970.

Hobbs, P.V., *Ice physics*, Clarendon Press, Oxford, 1974.

Peterson, W.S.B., *The physics of glaciers*, International Glaciological Society, Pergamon Press, Oxford, 1991.

Goody, R.M., *The atmospheres*, Harvard University, Prentice Hall, 1985.

Bloom, A.L., *The surface of the Earth*, Prentice Hall, 1989.

Laporte, L.F., *Ancient environments*, Prentice Hall, 1990.

Martin, P.S., *Quaternary extinctions, a prehistoric revolution*, Arizona University Press, 1984

Jáuregui, E., *Aspects of monitoring local/regional climate change in a tropical region*, *Atmósfera*, 5, 1992.

Saunders, J.J., *Le mastodon americaine*, *La Recherche*, 92, 1991.

Lamb, H.H., *Climate: present, past and future*, Vol. 2, Methuen, 1997.

Rivera, A., Mayorga, R. y Tovar, C., *Evaluación de amenazas del Popocatepetl, Cartografía y análisis espacial*, CUPREDER-BUAP, 1997.

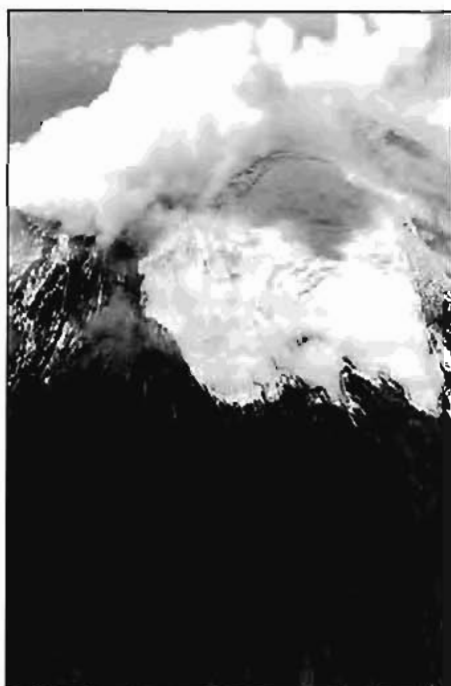
(Alejandro Rivera Domínguez es director académico del Centro Universitario de Prevención de Desastres de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.)

TABLA 3

ÁREA ESTIMADA DE LOS GLACIARES DE MÉXICO	
Citlaltépetl	9,000 ha
Popocatepetl	400 ha
Iztaccíhuatl	≈7,500 ha

los mensajes del **volcán**

María Eugenia Mendoza Álvarez
Cristóbal Tabares Muñoz



En una fría noche de invierno de 1994, los habitantes del Valle de Puebla experimentamos un fenómeno excepcional, la caída de ceniza proveniente de uno de nuestros compañeros habituales del paisaje del ocaso, el Popocatepetl.

Desde entonces, con mayor o menor intensidad en la región sur y sureste del volcán, llueve ceniza. Podemos decir que, hasta cierto punto, ya nos acostumbramos a ella, pero valdría la pena preguntarnos qué es la ceniza.

La ceniza volcánica está constituida por microcristales de minerales, esto es, cristales muy pequeños. Sólo con ayuda de un microscopio podemos ver las características geométricas típicas de estos materiales cristalinos. En la ceniza encontramos microcristales cuyo tamaño puede ser inferior a 10 micras, (¡menor a 0.01 milímetros!) La Figura 1 muestra algunos cristales provenientes del Popocatepetl cuando se observan con el microscopio óptico, y la Figura 2 cuando se observan con el microscopio electrónico de barrido. Estos minerales tienen su origen en las profundidades, donde los procesos de cristalización de las rocas magmáticas ocurren entre 700 y 1,200 °C, y los constituyentes están sometidos a presiones que oscilan entre 500 y 5,500 bars (para tener una mejor idea de estas magnitudes, 1 bar equivale a una presión de aproximadamente 1 kilogramo por centímetro cuadrado). También pueden formarse minerales a partir de los gases emitidos durante la erupción, proceso que se conoce con el nombre de neumatólisis. Entre los gases que normalmente son emitidos por los volcanes están el vapor de agua, el cloruro y sulfuro de hidrógeno, el óxido de azufre y el bióxido y el monóxido de carbono. Un ejemplo de una reacción de neumatólisis es la correspondiente a la formación de azufre en la cual dos moléculas de ácido sulfhídrico reaccionan con una de oxígeno produciendo dos moléculas de agua y dos de azufre.

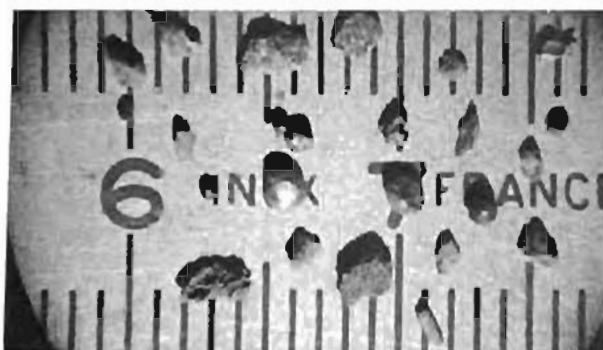


Figura 1. Cristales del Popocatepetl observados con microscopio óptico.

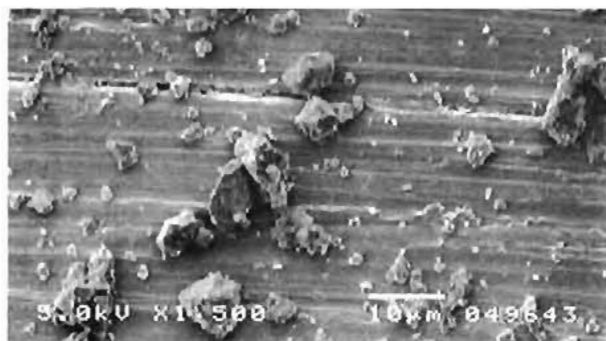


Figura 2. Cristales del Popocatepetl observados con microscopio electrónico de barrido.

Los minerales cristalinos más usuales en la ceniza volcánica son los silicatos, aluminosilicatos y óxidos. También hay material vítreo, conocido con el nombre de vidrio volcánico. Los silicatos y los aluminosilicatos son los minerales más abundantes en la corteza terrestre. Existen centenas de ellos y su composición química es variable. En el caso de los cristales de silicatos existe una "red", hecha a base de iones de silicio y oxígeno, en el seno de la cual están otros iones metálicos como por ejemplo sodio (1+), potasio (1+), berilio (2+), magnesio (2+), calcio (2+), titanio (4+), hierro (2+), etcétera, mientras que en el caso de los aluminosilicatos, la red está formada por iones de aluminio, silicio y oxígeno, incluyendo iones metálicos en el interior de esta red.

A pesar de la variedad y complejidad de estos minerales, su clasificación ha sido posible gracias a la identificación de una unidad estructural de ellos: $[\text{SiO}_4]^{4-}$ que en términos geométricos puede visualizarse como un tetraedro en cuyo centro está un ión silicio (4+) y en los vértices cuatro iones oxígeno (2-). Dependiendo de cómo están unidos los tetraedros en la red de los silicatos, éstos se clasifican en los grupos que se muestran en la Tabla 1. La Figura 3 muestra esquemáticamente algunas de estas uniones entre tetraedros en los silicatos.

TABLA 1

NOMBRE	CONEXIÓN ENTRE LOS TETRAEDROS SiO_4
Nesosilicatos	Aislados
Sorosilicatos	Unión de dos
Ciclosilicatos	Anillos
Inosilicatos	Cadenas continuas
Filosilicatos	Láminas continuas
Tectosilicatos	Enrejados tridimensionales

Para identificar la presencia de estos minerales en la ceniza hacemos uso de tres métodos complementarios: la difracción de rayos X (DRX), la espectroscopía de dispersión de electrones (EDS) y la microscopía óptica de polarización (MOP). El primer método se basa en el hecho de que cada material cristalino, cuando se somete a un haz de rayos X, produce un patrón de difracción de esos rayos que le es característico, es decir, este patrón es su huella digital. Aunque, claro, si la estructura del compuesto en cuestión es muy parecida a la de otro material cristalino, las huellas también lo son y no es tan simple la identificación. La Figura 4 muestra un patrón de difracción de la ceniza emitida por el volcán Popocatepetl en mayo de 1997. Mediante EDS lo que obtenemos es la identificación de los elementos químicos presentes en el mineral, así como su proporción relativa, lo que nos permite cuantificar la relación en peso entre los constituyentes y llegar a proponer su composición. La Figura 5 muestra un espectro EDS de algunos microcristales de la ceniza emitida por el volcán en marzo de 1996.

La microscopía óptica de polarización nos permite separar los diferentes tipos de microcristales mediante el examen

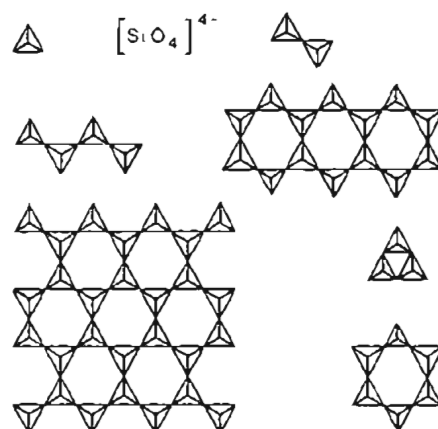


Figura 3. Uniones entre tetraedros en los silicatos.

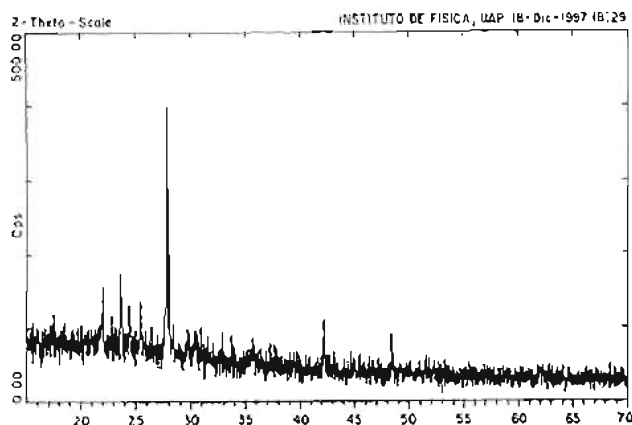


Figura 4. Patrón de difracción de ceniza emitida por el volcán Popocatepetl en mayo de 1997.

del conjunto de fases que forma la ceniza. La Figura 6 es una fotografía de un conjunto de silicatos provenientes de la emisión de marzo de 1996. Una vez separados los tipos de cristales, se mide una propiedad óptica que desde el siglo pasado se ha empleado para identificar a los minerales, la birrefringencia, porque el valor de ésta es también característico para cada mineral.

Cruzando la información proveniente de estos métodos es como logramos identificar con un alto grado de confiabilidad los minerales que forman la ceniza, los cuales nos traen mensajes del interior de nuestra tierra.

¿En qué consisten estos mensajes? La forma de los microcristales que hay en la ceniza volcánica nos habla de la profundidad de la que proceden y de las condiciones que ahí existen. Esto es así porque de manera natural los cristales se desarrollan tomando una forma particular que depende de la

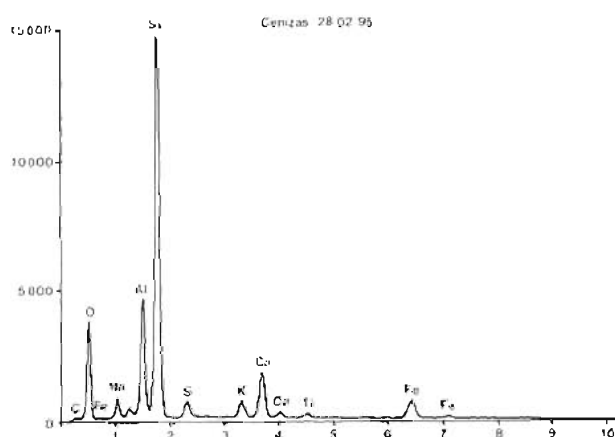


Figura 5. Espectro EDS de microcristales de la ceniza emitida por el volcán Popocatepetl en marzo de 1996.

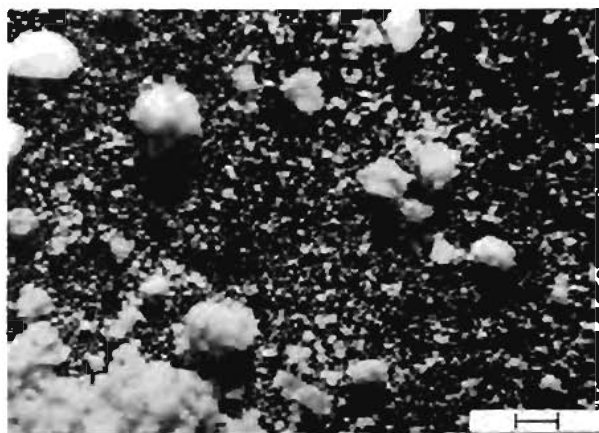


Figura 6. Fotografía de un conjunto de silicatos provenientes de la emisión de ceniza de marzo de 1996. Calibración, 10 micras.

composición, concentración, temperatura y presión en las que se formaron. Aunque la relación entre estos parámetros es muy compleja, podemos intentar resumirla como sigue: el crecimiento cristalino es un proceso que consta de dos grandes etapas, la nucleación y el crecimiento propiamente dicho. Durante la nucleación, lo que ocurre es la "aglomeración" de átomos o moléculas, hasta alcanzar un tamaño tal que la energía libre asociada a dicho agregado es crítica y el agregado o núcleo puede pasar a la otra etapa del proceso, el crecimiento. El estudio de esta transformación se hace evaluando el cambio en la energía libre del sistema como una función del progreso de la transformación.

La morfología de los cristales varía, por lo tanto, desde formas poliédricas, pasando por las dendríticas (en forma de hoja), hasta las esferulíticas y las fractales, al aumentar el valor de la fuerza directriz del crecimiento. En el caso de los silicatos se han reportado estudios que demuestran que los cambios morfológicos de poliedros hacia agregados esféricos ocurren cuando aumenta el sobreenfriamiento. En la ceniza del Popocatepetl hemos logrado identificar cristallitos esféricos de azufre, cristales prismáticos transparentes de un tipo de silicato, la ortoclasa, que tienen una birrefringencia cuyo valor es 0.002, y también cristales de magnetita.

Nuestra tarea consiste en descifrar estos signos. La naturaleza siempre se comunica con nosotros, sólo debemos tener los sentidos y el ánimo dispuestos para escucharla.

(María Eugenia Mendoza Álvarez y Cristóbal Tabares Muñoz son investigadores del Instituto de Física de la Universidad Autónoma de Puebla.)



José María Velasco
El lago de Chalco, el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl (1885).

de cómo José María Velasco descubrió los volcanes

Montserrat Galí Boadella

Cuando en 1855 Eugenio Landesio llegó a nuestro país, sólo los extranjeros parecían valorar el paisaje mexicano. Ni los artistas ni el público de México estaban preparados para apreciar la pintura de paisaje. Sólo los viajeros europeos, los llamados viajeros románticos, parecían emocionarse ante la belleza de los volcanes y en sus dibujos, acuarelas y óleos dejaron constancia de este entusiasmo por el paisaje mexicano. El romanticismo había abierto en ellos la sensibilidad hacia el paisaje y más todavía hacia la naturaleza agreste y el paisaje exótico. La naturaleza les permitía experimentar la idea de totalidad y plenitud, tan buscada por el romanticismo. Alexander von Humboldt, el más ilustre de estos viajeros románticos, escribió en uno de sus *Cuadros de la naturaleza* (1808) que

cuando el hombre interroga a la naturaleza con su penetrante curiosidad, o mide en su imaginación los vastos espacios de la creación orgánica, de cuantas emociones experimenta, es la más poderosa y profunda el sentimiento que le inspira la plenitud de la vida esparcida universalmente.¹

José María Velasco heredaría parte de esos conceptos románticos de la naturaleza y el paisaje a través de su maestro Eugenio Landesio. Sin embargo cuando Velasco lograba sus primeros éxitos con el tema de los volcanes en las exposiciones de la Academia, en los años 1875-1876, el sentimentalismo ya había aminorado y el realismo y el cientifismo habían puesto un coto a la empatía romántica. El concepto de lo sublime, surgido básicamente del entusiasmo por el paisaje,



había dejado de ser un concepto central en la estética de la segunda mitad de siglo. El paisaje ya no era el recipiente de los desvaríos y los estados de ánimo románticos —el *Werther* es el mejor ejemplo de esta función del paisaje— y se había convertido en un género que posibilitaba la fusión de la ciencia y el arte. José María Velasco, como todos los paisajistas de la segunda mitad del siglo XIX, reunirá en la pintura de paisaje la belleza y perfección eterna de la naturaleza con la curiosidad científica propia del siglo XIX.

José María Velasco no es fruto de las obras mexicanas de los viajeros románticos de la primera mitad del siglo XIX, sino que su dedicación al paisaje se debe, como hemos dicho, a la presencia en México de Eugenio Landesio, profesor de paisaje en la Academia de San Carlos entre 1855 y 1877, para quien la naturaleza, además de ser el receptáculo de las emociones, era antes que nada la maestra del artista. Serían las enseñanzas de Landesio y su concepto de la naturaleza y el paisaje las que encaminarían los primeros pasos de José María Velasco en el arte del paisaje.

Decía John Ruskin, crítico entusiasta de la obra de W.M. Turner, que la pintura de paisaje era el género moderno por excelencia. Y tenía razón en muchos aspectos; en primer lugar porque sería en el paisaje en donde los pintores del siglo XIX podrían llevar a cabo las mayores experimentaciones, tanto en el campo de la luz como en el del color y la pincelada. El paisaje, precisamente por considerarse un género menor, estaba libre del peso de la tradición académica y permitía al artista moderno lanzarse al estudio de la naturaleza sin necesidad de rendir tributo a los cánones clásicos y a la iconografía consagrada por la tradición humanista occidental. Es bien sabido que hacia 1800 para muchos artistas todos los géneros pictóricos estaban agotados, menos el paisaje. De ahí que todos los artistas revolucionarios del siglo XIX, desde el romanticismo hasta el cubismo incluido, se hayan servido del género del paisaje para llevar adelante su búsqueda de nuevos caminos para la pintura. Así, en el siglo XIX el paisaje se convirtió en el mayor laboratorio pictórico del momento. En el arte del paisaje el artista lo mismo podía expresar sus ansias románticas que su curiosidad científica. Fue en el paisaje, y no en otro género, en donde el romanticismo pudo compaginar su doble actitud, aparentemente contradictoria, entre sentimentalismo y realismo.

Eugenio Landesio era un pintor prácticamente autodidac-

ta, ya que nunca tomó lecciones formales en la Academia y empezó a dibujar y pintar a la sombra de su hermano Carlos y de algunos maestros ocasionales que se relacionaron con su familia; más tarde mantuvo contacto con mecenas, coleccionistas y anticuarios que fueron abriéndole camino, proporcionándole encargos y conocimientos científicos, artísticos y arqueológicos de gran utilidad para su desempeño como artista profesional. Conoció a varios artistas significativos de su momento y entre ellos a Karoly Markó, uno de los paisajistas más prestigiosos de su época, quien simpatizó con Landesio y le permitió trabajar en su taller.² El paisaje que Eugenio Landesio desarrollará en México mantiene todavía una gran deuda con el estilo de Markó; sin embargo, al llegar a México se observa en las obras de Landesio una mayor libertad en relación con los modelos europeos. Esta libertad la entendemos en el sentido de una mayor expresividad y emoción, como si la naturaleza mexicana lo hubiera liberado de la serena belleza del paisaje europeo llevándolo a manifestar su inclinación romántica en una pintura más honda y subjetiva. Sus óleos del valle de México, con los volcanes al fondo, son el modelo básico en el que se inspirará José María Velasco.

Una vez llegado a México, Eugenio Landesio se dedicó de lleno a su labor pedagógica en la Academia de San Carlos. Sus primeros pasos se encaminaron a despertar en los alumnos la admiración por la belleza del paisaje que tenían a la vista. Los indujo a tomar como modelo la naturaleza de su país en vez de copiar los paisajes europeos que las galerías de la Academia guardaban; entre ellos varios paisajes del propio Landesio pintados en Italia. Con este fin los llevaba de excursión por los alrededores de la ciudad de México. En el transcurso de estas caminatas, en las que tomaban apuntes, estudiaban la geología, la flora y las nubes y realizaban estudios de la naturaleza *in situ*, Landesio lograría que los jóvenes pupilos de la Academia descubrieran, estudiaran y amaran el paisaje mexicano.

De Eugenio Landesio el joven Velasco aprendió muchas otras cosas; por ejemplo a rechazar la llamada "forma abreviada", es decir, los grandes trazos y las manchas que llevarían, tarde o temprano, al impresionismo. Cuando José María Velasco estuvo en Europa, con motivo de la exposición de París de 1898, no se sintió atraído por el paisaje impresionista. Aunque hizo algunos ensayos en esta técnica, es evidente que no le interesaba el camino abierto por el impresionismo.

Hijo artístico de Landesio, José María Velasco se complace en la precisión y en la descripción. Ello no quiere decir lampoco que se sometiera a la realidad o que buscara emular a la fotografía. Como había dicho Constable en el siglo XVIII y repelirían los paisajistas de la escuela de Barbizon, la belleza podía estar bajo cualquier seto. Velasco, como Constable o los pintores de Barbizon, no es realista ni fotográfico. Sabemos que en el momento de pintar sus paisajes escogía, eliminaba, cambiaba algunos elementos de lugar, todo en aras de la belleza y el arte. Sus paisajes no son meras descripciones de lugares, ya que nunca cayó en el realismo vulgar, tampoco distorsiona la naturaleza en busca de un expresionismo efectista o sentimentaloides. De sus paisajes, y en especial de aquellos con tema de volcanes, podríamos decir lo que Carus en sus cartas sobre la pintura de paisaje llamaba estilo puro o perfecto:

Cuando idea y verdad aparecen con una fuerza y un grado de interpenetración proporcionados, y si se deja sentir lo más propio de cada una de ellas, divina pureza en la idea, claridad perfecta y apacible adecuación a sus leyes en los objetos representados, entonces de ahí resulta el único estilo verdadero, el puro o perfecto.²

A Velasco, por ejemplo, no le interesó nunca la naturaleza tropical; la consideraba desordenada. Velasco había heredado de Landesio el gusto por una naturaleza majestuosa pero serena. Ningún tema se adaptaba tanto a este ideal de belle-

za como el de los volcanes. Cuando estuvo en Europa –y el viaje duró casi un año– no se sintió atraído por pintar paisaje europeo. Tampoco se interesó demasiado por el paisaje de los Estados Unidos, a donde viajó como comisario de las obras mexicanas exhibidas en sus Exposiciones Universales. A José María Velasco le bastaba el paisaje del Valle de México y el de los volcanes. Pintó muchos otros parajes de nuestro país, pero fue en los volcanes en donde una y otra vez Velasco rindió culto a su concepto del arte y de la belleza, en el que se conjugaron sin contradicciones los dos aspectos de su devoción por la naturaleza: el científico y el estético. Como científico, José María Velasco realizó numerosos estudios de botánica, zoología, medicina y geología. Perteneció a las sociedades científicas de su época, presentó ponencias y comunicaciones académicas y se interesó por los adelantos de las ciencias naturales. Representativos de esta actitud fueron los viajes pictórico-científicos que Landesio y Velasco realizaron juntos, al margen de los cursos de la Academia. En ellos tomaban apuntes, pintaban y recogían especies botánicas

En 1874 había pintado un óleo titulado *Los volcanes*, del que hará múltiples versiones; en 1875 realizaría el monumental lienzo con el tema del Pico de Orizaba titulado *El Citlaltepetl*. En este mismo año pintó una tercera versión de *El Valle de México*, que será presentado en la Exposición de la Academia de aquel mismo año. De él su maestro Landesio dijo: “Nada mejor se puede hacer después de eso.” Los mejores críticos del momento –José Martí, Felipe S. Gutiérrez y Felipe Flores– se darán cuenta de la importancia de esta obra y escribirán páginas elogiosas. Un año después se exhibió en la exposición del Centenario en Filadelfia y recibió un premio. José María Velasco sería de ahí en adelante reconocido no sólo como el mejor discípulo de Landesio sino como un intérprete de los nuevos conceptos pictóricos y como el pintor por antonomasia de los volcanes de México. A su lado las obras de los seguidores de Pelegrín Clavé quedaban como reliquias de una estética trasnochada. La pintura de paisaje, el género moderno, adquirirá gracias a José María Velasco carta de naturaleza en el arte mexicano.

Una señal de la modernidad de la pintura de Velasco estaría en su atrevimiento en representar el ferrocarril en uno de sus cuadros más famosos y





más logrados. Cuarenta años antes W.M. Turner ya lo había hecho en un cuadro infinitamente más osado que el de Velasco. Sin embargo, guardadas las distancias, el lienzo *Puente de Metlac* (1881) –del que también existen varias versiones– no deja de sorprendernos todavía por la osadía que significaba, en una sociedad poco avezada a las licencias vanguardistas, el pintar la máquina de hierro (símbolo de la modernidad y el progreso) en medio de una naturaleza casi virgen. Quizás fuera en este contraste o comparación en donde José María Velasco quiso que meditáramos: la locomotora y su convoy avanzan sobre un puente de fierro tendido entre los márgenes de una profunda cañada abierta sobre la selva. No se podía encontrar mejor imagen del contraste entre la velocidad de la modernidad y la eternidad de la naturaleza.

Velasco fue un pintor afortunado; desde un principio tuvo un público constante que se identificó con su visión del paisaje mexicano. Pintó una y otra vez los volcanes y los valles, el de México y el de Puebla también. Juan de la Encina, en uno de los primeros ensayos importantes sobre Velasco escribió:

...el Valle de México fue para Velasco algo así como el jardín de Cándido. No necesitó recorrer mundo desolado o llevado por los huracanes históricos para alcanzar, luego de terribles lances y experiencias, la consabida conclusión: *... mais il faut cultiver notre jardin*, pues al salir de su adolescencia se puso a cultivar el suyo propio hasta su muerte.⁴

En su reiterada representación de los volcanes Velasco parece haber seguido el mismo camino que el paisajista y médico alemán Carus cuando en su *Apuntes para una fisonomía de las montañas* escribió:

Más que en cualquier otro empeño, en la observación de la Naturaleza rige el principio de que lo primero que tiene que hacer uno es aclarar cuál es el punto de vista más adecuado para él. (...) De ahí que en el curso de mis diversos intentos por aproximarme a la Naturaleza tampoco haya descuidado nunca el aclararme cada vez más acerca de las características peculiares del camino que me exigía mi individualidad; y pronto pude advertir que lo que más se adecuaba conmigo era empezar por captar en conjunto un cuerpo natural que quería conocer, con la mayor nitidez y en la mayor cantidad de facetas posibles, para adentrarme luego en sus elementos constituyentes, y manteniendo siempre presente esa imagen del conjunto, seguir analizándolos y reconociéndolos tanto como pudiera.⁵

Desde que en 1876 lograra sus primeros éxitos con los paisajes de volcanes, José María Velasco pintó decenas de veces el tema. Esta reiteración no cansó a sus clientes como tampoco nos cansa a nosotros cien años después. De igual forma que Landesio enseñó a Velasco a ver los volcanes, nosotros hemos aprendido a mirarlos con los ojos de Velasco: guardianes solemnes de nuestros valles, formas sublimes que reflejan la perfección de la creación. Criaturas magníficas capaces de aparecerse en sueños a los moradores de sus laderas; seres imponentes que de vez en cuando despiertan para obligarnos a rendir culto al misterio insondable de la naturaleza, los volcanes de México son sin embargo, antes que nada, las visiones artísticas de José María Velasco.

REFERENCIAS

¹ Citado por Arnaldo, J., en "Introducción" a las *Cartas y anotaciones sobre la pintura de paisaje*, de Carus, C.G., p. 39.

² Tomamos estos datos de Gómez del Campo, J., *Eugenio Landesio y la pintura de paisaje en México* (tesis), Universidad Iberoamericana, México, 1996.

³ Carus, C.G., *Cartas y anotaciones sobre la pintura de paisaje*, Visor (La Balsa de la Medusa), Madrid, 1992, p. 109.

⁴ De la Encina, J., *El paisajista José María Velasco (1840-1912)*, El Colegio de México, México, 1943, pp. 66-67.

⁵ Carus, C.G., *op. cit.*, p. 160.

(Montserrat Gali Boadella es investigadora del Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma de Puebla.)

a las faldas del volcán **POPOCATÉPETL**

Gulllermo J. González Pomposo

Carlos Valdés González

Alejandra Arciniega

Antonio Pérez Soto

*Los volcanes brotaron del fondo de la tierra para consuelo y joya,
para sombra y cobijo de quienes nunca entienden. Hace millones
de años que están ahí mirándose y el tiempo es un juego para su
juramento y nuestro juramento es otra pena para su largo tiempo de
escuchar juramentos.*

Ángeles Mastretta, *Puerto Libre*



INTRODUCCIÓN

Las erupciones volcánicas se encuentran entre los desastres naturales más espectaculares y también entre los más temidos. Otras formas de violencia natural tales como las inundaciones, los huracanes, los incendios, las tormentas y los sismos, han sido responsables de grandes pérdidas económicas y de vidas humanas, pero los volcanes se encuentran entre los más preocupantes debido a los efectos cataclísmicos y a varias erupciones muy notables ocurridas en el curso de la historia. Aún así, mucha gente piensa que éstos son fenómenos que ocurren sólo en lugares distantes y remotos.

En un volcán, la roca fundida proveniente del interior de la Tierra, a la cual se le da el nombre de magma, llega a la superficie. El núcleo de nuestro planeta está compuesto por este material magmático a varios miles de grados centígrados de temperatura. Aunque parezca ilógico, el calor que este material genera contribuye a que haya vida en la Tierra, pero también es responsable de que ocurran sismos y erupciones volcánicas. Podemos decir que toda la roca que hay en la superficie de la Tierra, incluyendo la del fondo de los océanos es de origen volcánico. Pero no todas han permanecido intactas desde su aparición en la superficie. Algunas fueron erosionadas y depositadas en cuencas y valles terrestres o marinos y, después de muchos miles de años se litificaron y se convirtieron en rocas sedimentarias. Otras fueron alteradas por la fricción y por el calor debido a desplazamientos y movimientos en la corteza terrestre convirtiéndose así en rocas metamórficas.

Cada año entran en actividad entre cincuenta y sesenta y cinco volcanes,¹ pero sólo unos cuantos son responsables de daños y pérdida de vidas humanas. Durante un siglo ocurren unas cuantas erupciones que tienen proporciones desastrosas, pero su efecto en la sociedad no es necesariamente proporcional al tamaño o violencia del fenómeno, sino más bien a la proximidad con el volcán de asentamientos humanos. Por ejemplo, la erupción del volcán Katmai (ubicado en Novarupta, Alaska), en 1912, fue un cataclismo de gran magnitud, pero que no provocó pérdida de vidas humanas debido fundamentalmente a su localización remota, mientras que erupciones más pequeñas, como la del volcán Pelée, ocurrida en 1902, y la del Nevado del Ruiz, en 1985, causaron la muerte a miles de personas.

A medida que se progresa en el entendimiento de estas actividades volcánicas también se mejoran las técnicas de monitoreo volcánico. Por ejemplo, los estudios geológicos de erupciones anteriores revelan cuál fue el comportamiento de un volcán proporcionando claves de los tipos y frecuencia de posibles erupciones futuras.² La determinación del riesgo volcánico, basado en estos estudios, debe ser usada para hacer mapas que determinen o restrinjan el desarrollo urbano o actividades industriales cerca de volcanes potencialmente activos. Investigaciones y monitoreos sistemáticos a menudo permiten predecir o pronosticar los fenómenos.^{3,4,5}

En ocasiones, aun volcanes que son bien monitoreados pueden presentar un comportamiento "normal" antes de una erupción cataclísmica, mientras que otros pueden mostrar un comportamiento del tipo que precede a esa actividad, para regresar a un periodo de tranquilidad. Estos fenómenos se encuentran en el rango de variaciones anticipadas por los investigadores, pero en general producen incertidumbre y son motivo de perplejidad y temor.

A menudo los vulcanólogos tienen que explicar al público en qué consisten los riesgos volcánicos; esta tarea no es fácil debido a las incertidumbres que implican estos riesgos. Frecuentemente se producen confusiones y malentendidos que tensan las relaciones entre los investigadores y las personas a cargo de la seguridad de la comunidad.

En algunos casos, la dificultad para interpretar los cambios de los parámetros que muestra un volcán en reactivación ha causado daños cuando dichas alteraciones no han sido

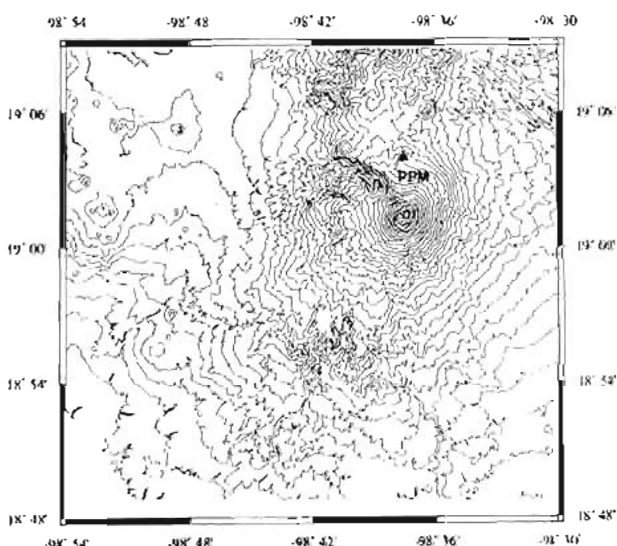


Figura 1. Localización de la estación PPM.

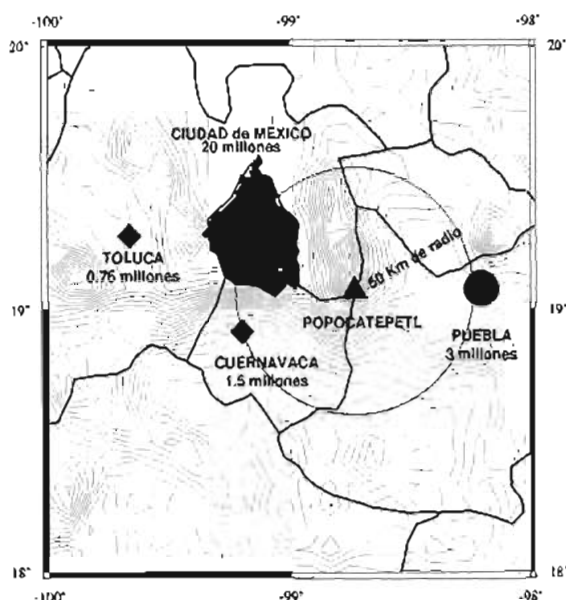


Figura 2. Situación geográfica del Popocatepetl y poblaciones colindantes.

atendidas cuidadosamente. Esto provoca, en muchas ocasiones, malentendidos entre los investigadores, las autoridades civiles y la población afectada.

EL VOLCÁN POPOCATÉPETL

Hablando en particular sobre nuestro país, éste se encuentra en una zona altamente sísmica y también volcánica. Un ejemplo de este riesgo lo representa el volcán Popocatepetl, estratovolcán que se encuentra localizado en las coordenadas 19° 03' N; 98° 35' W, con una altura de 5,420 msnm (Figura 1). Es un gran cono truncado que define un cráter externo elíptico, cuyos ejes miden 450 y 650 m respectivamente. Además cuenta con un cráter interno que produce emisiones fumarólicas, en cuyo interior se encuentra un lago.⁶

El Popocatepetl ha presentado una actividad continua, con erupciones recientes en 1519, 1539, 1664, 1697, 1720, 1802 y 1919-27-38,⁸ inclusive, en 1663 y 1665, se produjo caída de ceniza en la ciudad de Puebla por varios días. Recientemente se ha reportado actividad fumarólica sísmica⁹ acompañada de una serie de explosiones sísmicas con emisión de ceniza alrededor de la 1:30 (hora local) del día 21 de diciembre de 1994.

Este volcán representa una de las zonas de mayor riesgo del país debido a los numerosos asentamientos humanos e industriales que se encuentran en sus alrededores. Tres estados colindan con él: México, Morelos y Puebla (Figura 2). El

Distrito Federal se localiza a una distancia de 65 km, la ciudad de Puebla a 45 km y Cuautla, Morelos, a 41 km. Por lo tanto, una erupción proveniente del Popocatepetl puede afectar, potencialmente, a unos veinte millones de personas, las que representan una cuarta parte de la población total del país, y provocar un fuerte impacto económico.

Para predecir erupciones volcánicas se ha utilizado la cuantificación de los diferentes eventos sismo-volcánicos y sus cambios temporales tanto en número como en la energía total liberada.^{9,10,11} El objetivo de este trabajo consiste en clasificar y cuantificar los fenómenos asociados al Popocatepetl de enero de 1994 a diciembre de 1996, para determinar si han ocurrido variaciones temporales en su sísmica.

ANÁLISIS DE DATOS SÍSMICOS

Con la estación PPM (Tlmacas) localizada en el flanco norte del volcán Popocatepetl con coordenadas 19.02° N, 98.63° W, a una altura de 3,950 msnm, se monitoreó la actividad sísmica de enero de 1994 a diciembre de 1996. La estación PPM cuenta con un sismómetro Mark-L-4 de tres componentes con periodo natural de 1 seg. Únicamente se analizaron los registros analógicos de la componente vertical. Con el análisis obtenido de esta estación se identificaron tres tipos de eventos: VT, LP y H, cuyas características son las siguientes:

- Tipo VT (volcano-lectónico): éstos son similares a los lectónicos, con frecuencias típicas de 5 Hz y las fases de las ondas P y S claramente definidas con tiempos de fase S-P de 1.5 a 3.0 seg.; la duración de coda es menor a los 40 seg. (Figura 3a). Estos eventos representan fallamientos o fracturamientos de corte muy similares a los que generan los tectónicos. Los esfuerzos que producen pueden ser de origen regional o producirse localmente por el sistema volcánico.¹⁰ Se registraron doscientos veinticuatro eventos de este tipo en el periodo de registro del presente estudio.

- Tipo LP (*long period*): las frecuencias características de estos eventos fueron de 1.0 a 1.6 Hz. La fase de la onda P es emergente y no es posible identificar la fase de la onda S; la duración de la coda es menor a los 125 seg. (Figura 3b). Chouet (1985, 1988) modeló teóricamente este tipo de eventos y sugiere que son causados por resonancia iniciada por presiones transitorias en un conducto o fractura saturada con fluido.^{12,13} En nuestro estudio se identificaron 31,828 eventos tipo LP.

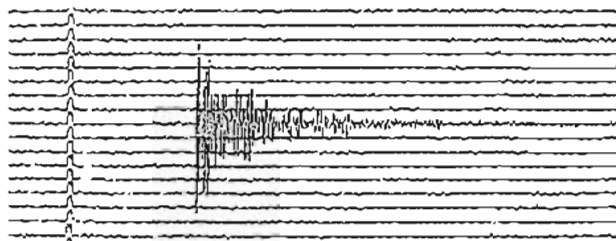


Figura 3a. Ejemplo de sismograma de eventos tipo VT.

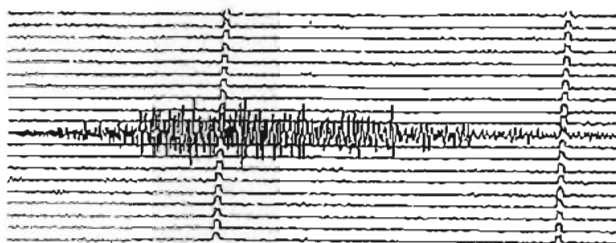


Figura 3b. Ejemplo de sismograma de eventos tipo LP.

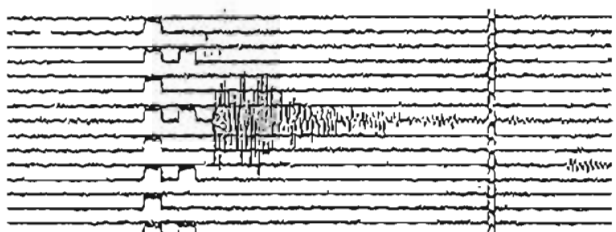


Figura 3c. Ejemplo de sismograma de eventos tipo H.

• Tipo H (*hybrid*): estos eventos se caracterizan por tener componentes de altas y bajas frecuencias. Las altas frecuencias incluyen fases impulsivas de ondas P y S, con un tiempo S-P de 1.5 a 2.0 segundos; la duración de este componente es de 5.5 segundos aproximadamente y las amplitudes de las ondas P y S son más pequeñas que las de los eventos tipo VT. Los periodos característicos del componente de baja frecuencia son de 0.8 a 1.1 segundos y la duración de coda de todo el evento es menor a los 150 segundos (Figura 3c). El mecanismo que genera estos eventos puede ser una mezcla de los que generan los tipos VT y LP. Se identificaron 108 actividades de este tipo.

En las Figuras 4a, 4b y 4c se muestra la variación en el número de eventos registrados mensualmente para cada uno de los tres tipos en el periodo analizado. En la Figura 4a se pueden observar incrementos en enero y febrero de 1994. Posteriormente se alcanzó un máximo en diciembre de 1994 y en enero de 1995, manteniendo un comportamiento estable hasta abril de 1996, cuando se inicia un incremento gradual

hasta llegar a su máximo en septiembre de 1996 con treinta eventos por mes. En la Figura 4b se muestra la variación del número de eventos LP. Se registró un aumento progresivo de los mismos hasta alcanzar su máximo en noviembre y diciembre de 1994, cuando ocurre la primera erupción del volcán. Posteriormente permaneció estable y en marzo de 1996 se dispara la actividad coincidiendo con la aparición de un domo de lava en el interior del cráter.

CONCLUSIONES

Del análisis temporal de los sismos asociados al Popocatepetl durante el periodo comprendido entre enero de 1994 y diciembre de 1996 concluimos que la sismicidad profunda, reflejada por los eventos tipo VT, presentó un decremento constante entre los meses de enero a noviembre, previo a la crisis volcánica del 21 de diciembre.

El análisis temporal de los eventos de tipo LP, indica un incremento en la sismicidad superficial. Dicho incremento ha sido constante y se observaron dos picos en los meses de noviembre y diciembre de 1995, previos a las erupciones del último mes de ese año. Los eventos de tipo H presentaron un comportamiento aleatorio que no reflejó un cambio significativo previo a la actividad del volcán en el periodo que se analiza en el presente trabajo.

Con los datos presentados en este estudio se puede establecer que el conocimiento del comportamiento de la sismicidad es importante como premonitor de una fase crítica del volcán Popocatepetl. Debe destacarse la necesidad de mantener un monitoreo continuo de la actividad sísmica del volcán; ello nos permitirá entender si su comportamiento es estable o si, por el contrario, muestra los signos propios del preámbulo de una erupción.

Parece indispensable que la información recabada por los vulcanólogos sea sintetizada y también transmitida adecuadamente al público. Esta comunicación representa, para los científicos, un reto tan importante como el monitoreo y la comprensión del comportamiento de los volcanes. El mismo grado de creatividad e innovación que se aplica al entendimiento de los procesos volcánicos debe aplicarse al mejoramiento de la manera en que el público entiende el riesgo volcánico. Sólo entonces nuestro compromiso y responsabilidad para con la sociedad serán plenamente cumplidos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan su agradecimiento al doctor Raúl Serrano Lizaola, por su invitación y entusiasmo para realizar esta publicación; asimismo, agradecemos al ingeniero Casiano Jiménez, a la señora Ángeles Gutiérrez y al señor Bernardino Rubí, analistas del Servicio Sismológico Nacional, por compartir los sismogramas.

BIBLIOGRAFÍA

- ¹ Nakamura, K., "Volcano-stratigraphic study of Oshima volcano Izu", *Bulletin Earthquake Research Institute, University Tokyo*, 42, 1964, pp. 649-685.
- ² Simkin, T. and L. Siebert, "Explosive eruptions in space and time. Duration, intervals and a comparison of the world's active volcanic belts", in *Explosive volcanism: Inception, evolution and hazards*, Geophysics Study Committee, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., 1984, pp. 110-121.
- ³ Fournier D'Albe, E.M., "Objectives of volcanic monitoring and prediction", *Journal Geological Society, London*, 136, 1979, pp. 321-326.
- ⁴ Swanson, D.A., Casadevall, T.J., Dzurisin, D., Malone, S.D., Newhall, C.G. and Weaver, C.S., "Predicting eruptions at Mount St. Helens, June 1980 through December 1982", *Science*, 221, 1983, pp. 1369-1376.
- ⁵ Swanson, D.A., Casadevall, T.J., Dzurisin, D., Holcomb, R.T., Newhall, C.G., Malone, S.D. and Weaver, C.S., "Forecasts and predictions of eruptive activity at Mount St. Helens, U.S.A.", *Journal of Geodynamics*, 3, 1985, pp. 397-423.
- ⁶ Carrasco Núñez, G., Silva Mora, L., Delgado Granados, H. y Urrutia Fucugauchi, J., "Geología y paleomagnetismo del Popocatepetl", *Serie de Investigación, Instituto de Geofísica UNAM*, 33, 1986.
- ⁷ Soler, A. and Martín Del Pozo, A.L., "Volcanology of Popocatepetl volcano", *New Mexico Institute of Mining & Technology Bulletin*, 1989, pp. 131, 249.
- ⁸ "Popocatepetl (México), high SO₂ flux on 1 February (1,200+400 metric tons/day)", *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution*, 19:1, 1994, pp. 9-10.
- ⁹ Shimozuru, D., "A seismological approach to the prediction of the volcanic eruption", en *The surveillance and prediction of volcanic activity*, UNESCO, Earth, Science Monograph 8, 1971, pp. 19-45.
- ¹⁰ Tokarev, P.I., "Prediction and characteristics of the 1975 eruption of Tolbachik Volcano", *Bulletin Volcanology, Kamchatka*, 41:3, 1978, pp. 251-258.

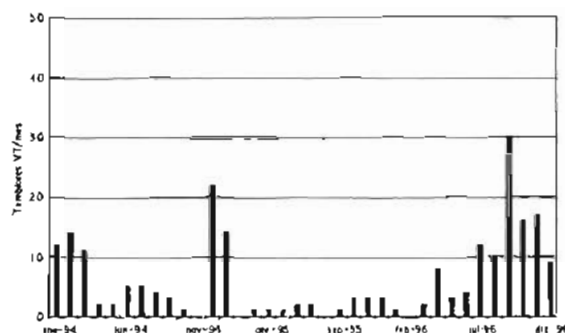


Figura 4a. Sismicidad mensual del Popocatepetl. Eventos volcano-tectónicos VT

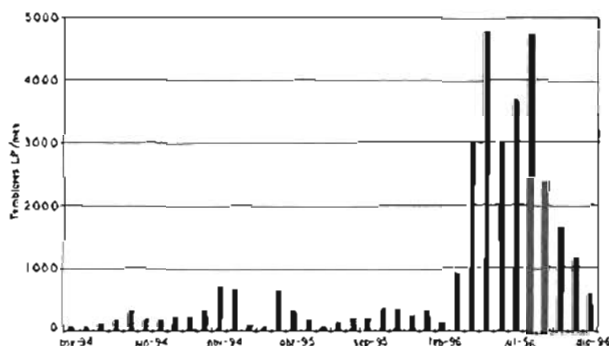


Figura 4b. Sismicidad mensual del Popocatepetl. Eventos de periodo largo LP.

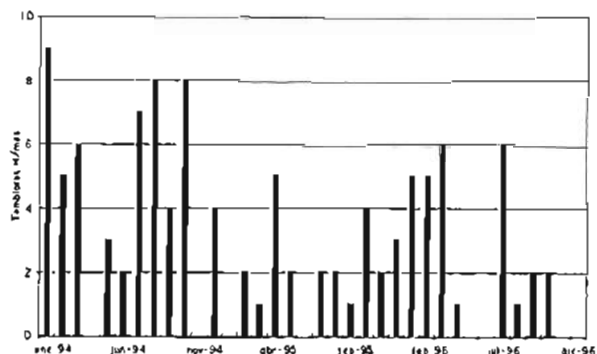


Figura 4c. Sismicidad mensual del Popocatepetl. Eventos híbridos H.

- ¹¹ Malone, S.D., "Earthquakes: Observation, theory and interpretation". Editors: Kanamori, H., Bochi, E., 1982, pp. 436-455.
- ¹² Chouet, B., "Excitation of a buried magmatic pipe: A seismic source model for volcanic tremor", *Journal of Geophysical Research*, 90, 1985, pp. 1881-1893.
- ¹³ Chouet, B., "Resonance of a fluid driven crack: Radiation properties and implications for the source of long-period events and harmonic tremor", *Journal of Geophysical Research*, 93:B5, 1988, pp. 4375-4400.

(Guillermo J. González Pomposo es investigador de la Facultad de Ingeniería Civil y Tecnológicas de la Universidad Autónoma de Puebla; Carlos Valdés González, Antonio Pérez Soto y Alejandra Arciniega son investigadores del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México.)

estudio de las **propiedades térmicas** de compósitos geológicos del **Popocatépetl**

Elías López Cruz
Víctor Dossetti Romero



INTRODUCCIÓN

Recientes emisiones volcánicas del Popocatépetl han cubierto la ciudad de Puebla y poblaciones aledañas con ceniza volcánica. Desde las primeras emisiones importantes en esta década, en diciembre de 1994, nos hemos dedicado a recoger muestras de esta ceniza habiendo reunido, a la fecha, un total de ocho muestras de diferentes épocas.

Tratando de realizar un estudio con el objetivo de conocer sus propiedades térmicas tales como difusividad térmica, conductividad térmica y capacidad calorífica, se observó que aplicando la técnica de espectroscopia fotoacústica¹ de celda abierta (EFCA), conjuntamente con la de velocidad de enfriamiento por radiación¹, podríamos obtener los valores de las propiedades térmicas antes mencionadas.

El objetivo fundamental en este trabajo es obtener una idea de cómo se comportan los componentes sólidos en el interior del volcán. Dado que la emisión de materiales sólidos desde el cráter está forzada por el calor del interior del mismo, es obvio que las propiedades térmicas de los materiales expulsados juegan un papel importante en estos procesos.

Nos proponemos hacer un modelo de cómo está evolucionando el complejo interior del Popocatépetl. Este último objetivo será alcanzado en la medida que tengamos acceso a ceniza y muestras rocosas expelidas por el volcán durante su periodo de actividad.

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para realizar el análisis de las muestras, preparamos compósitos^{2,3} usando como matriz un adhesivo comercial (pegamento blanco). Se hace una masa lo más homogénea posible de ceniza con pegamento cuidando que las proporciones en volumen sean 3:2 aproximadamente para todas las mezclas. Luego se deposita la masa de forma esférica entre dos portaobjetos y se presiona hasta obtener una oblea con un espesor aproximado a las 350 micras, procurando que en la maniobra no se formen huecos.

Después de obtener la oblea, se corta una sección en forma octagonal con un diámetro entre 4 y 7 mm. El requerimiento de opacidad óptica (implícito en el análisis teórico) se obtiene pintando una de las caras de la muestra con tinta china negra procurando que se deposite una película muy delgada de tinta.

MEDICIÓN DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA

La sección transversal del detector^{1,4} fotoacústico de celda abierta (Figura 1) presenta el montaje de la muestra que absorbe la radiación sobre un micrófono de electreto. Claramente, este detector fotoacústico no requiere un medio transductor adicional (i.e., la capa de aire confinada que se encuentra en cualquier celda fotoacústica convencional), ya que el micrófono actúa simultáneamente como celda y detector.

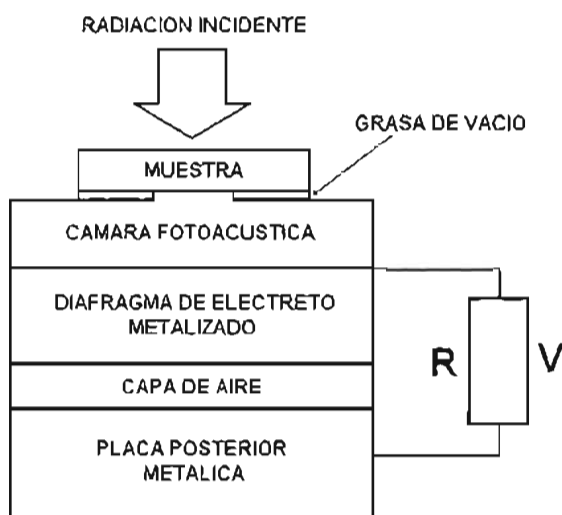


Figura 1. Sección transversal de la celda abierta para espectroscopia fotoacústica utilizando la cámara de aire frontal de un micrófono de electreto común como transductor.

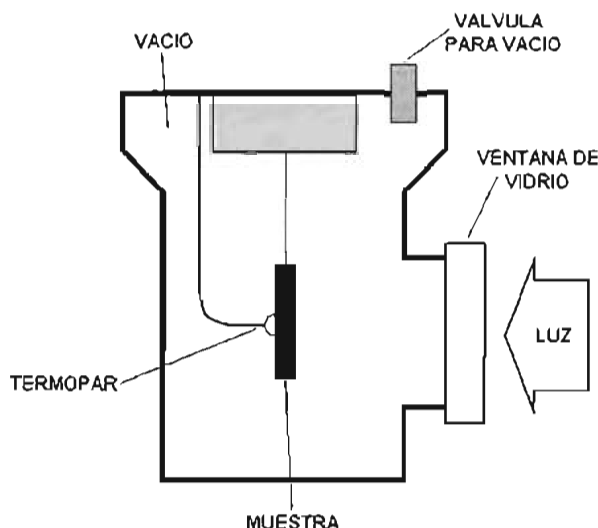


Figura 2. Arreglo experimental usado para la medición de la conductividad térmica

El típico diseño de un micrófono de electreto consiste en un diafragma de electreto metalizado (teflón de $12\ \mu\text{m}$ con un electrodo metálico depositado de 500-1,000 angstroms de espesor) y una placa metálica separada del diafragma por una capa de aire ($45\ \mu\text{m}$).

La película de metal y la placa se encuentran conectadas a través de una resistencia R . La entrada de aire frontal es un orificio circular de 3 mm de diámetro; la cámara frontal de aire adyacente a la película metalizada del diafragma es cercana a 1 mm de largo.

La muestra es iluminada con luz blanca que es enfocada con un arreglo de lentes convencional; el haz luminoso es modulado por medio de un recortador de haz tipo estroboscópico. Con este procedimiento se consigue efectuar un calentamiento periódico de la muestra, toda vez que la luz se absorbe en la tinta negra que cubre la muestra; de esta manera, la luz se convierte en calor que se propaga hacia la muestra. Ésta, a su vez, transmite el calentamiento hacia el interior de la celda fotoacústica.

Como resultado del calentamiento periódico de la muestra por la absorción de luz modulada, la presión en la cámara frontal oscila a la frecuencia de modulación causando que el diafragma se flexione, lo cual genera un voltaje V a través de la resistencia R . Este voltaje es subsecuentemente alimentado en un preamplificador FET que se encuentra dentro de la cápsula del micrófono. El voltaje de polarización de nuestro FET es de 9.0 V.

Como la Figura 1 ilustra, la muestra sirvió como tapa de la celda abierta y la iluminación de la muestra se realizó con una lámpara de tungsteno de 250 W. La señal del micrófono se conectó a un amplificador sensible a fase (*lock-in*) usado para registrar tanto la amplitud de la señal como su fase.

MEDICIONES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La conductividad térmica fue medida con la técnica de velocidad de enfriamiento por radiación¹ en combinación con los resultados de la difusividad térmica de la EFCA. El arreglo experimental en este caso (Figura 2) utiliza las mismas muestras usadas para la medición anterior, sólo que ahora se pintó también la parte posterior de la muestra. Así se asegura una superficie de absorción óptica y el mismo coeficiente de transferencia de calor para ambas superficies. La muestra fue suspendida adiabáticamente en un criostato al cual se le practicó vacío posteriormente. Bajo estas condiciones el principal mecanismo de pérdida de calor es la radiación. El criostato tenía una ventana a través de la cual luz blanca continua era enfocada hacia una de las caras de la muestra. Un termopar fue acoplado a la otra cara de la muestra utilizando grasa de silicón. De esta manera la variación de temperatura fue monitoreada en función del tiempo. Utilizando la aproximación de radiación de cuerpo negro, encontramos el tiempo característico de termalización τ . Para esto, se iluminó la

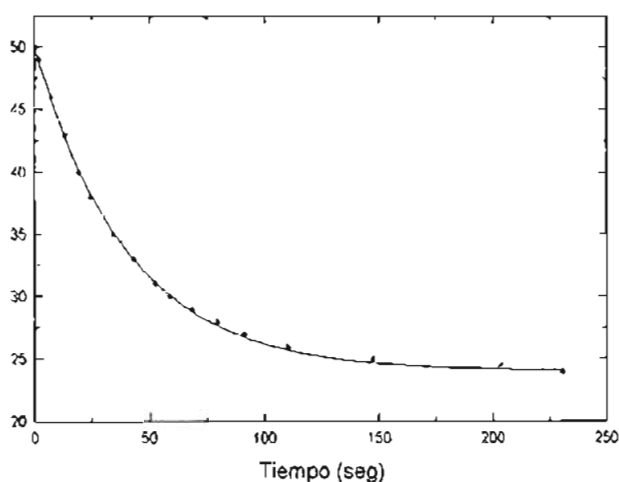


Figura 3. Gráfica típica de velocidad de enfriamiento por radiación. En este caso se muestra la gráfica de los datos experimentales de la muestra del 17 de marzo de 1995 y su ajuste (línea continua) con la ecuación siguiente: $T(t) = T_r + \Delta T_m e^{-t/\tau}$, donde $T_r = 24^\circ\text{C}$, $\Delta T_m = 26^\circ\text{C}$ y $\tau = 40.63$ seg

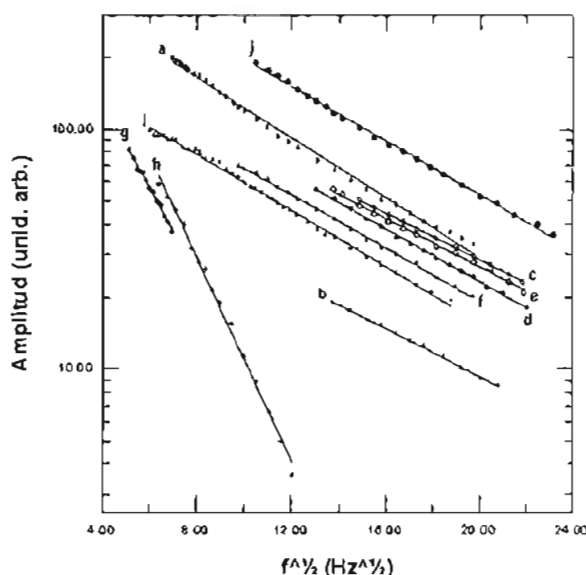


Figura 4. Gráfica de los datos experimentales de la señal fotoacústica para todas las muestras de ceniza y sus ajustes con la ecuación (5).

muestra llevándola a una temperatura que se encuentra por encima de la ambiente (en este caso 50°C) y después se interrumpió la iluminación. Como resultado sólo se tiene pérdida de energía por radiación:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -L \quad (1)$$

donde

$$L = A \varepsilon \sigma (T^4 - T_0^4) \quad (2)$$

es la potencia perdida por radiación, A es el área de la muestra, ε es la emisividad de cuerpo negro y tiene un valor igual a 1; $T_0 = 300^\circ\text{K}$ es la temperatura ambiente y $\sigma = 5.67 \times 10^{-12} \text{ W/cm}^2\text{K}^4$ es la constante de Stefan-Boltzmann. La solución para el cambio de temperatura es

$$\Delta T(t) = \Delta T_m e^{-t/\tau} \quad (3)$$

con ΔT como la variación máxima en la subida de temperatura y τ está dada por¹

$$\tau = l_s \rho c / 8 \varepsilon \sigma T_0^3 \quad (4)$$

donde l_s es el espesor y ρ la densidad de la muestra.

Fecha	Letra	Espesor μm	Difusividad térmica α (m^2/s)	Conductividad térmica k ($\text{Ws}/\text{m}^2\text{K}$)	Capacidad calorífica c (Ws/KgK)
23-12-94	a	350	1.84×10^{-6}	17.90	361.20
17-03-95	b	900	1.88×10^{-4}	107.60	299.01
10-03-96	c	600	9.30×10^{-5}	68.45	302.00
13-03-96	d	350	2.47×10^{-5}	23.31	321.60
16-03-96	e	600	8.62×10^{-5}	60.12	326.67
30-04-96	f	350	2.38×10^{-5}	22.00	349.76
12-05-97 (sur)	g	650	7.64×10^{-5}	4.67	245.15
12-05-97 (norte)	h	600	4.74×10^{-5}	3.47	328.92
27-05-97	i	500	4.36×10^{-5}	35.51	322.91

Tabla 1. Espesores y propiedades térmicas de las diferentes muestras de ceniza.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS DATOS EXPERIMENTALES

El descenso de la temperatura en la superficie posterior de la muestra (Figura 3) después de interrumpir la iluminación, permite el ajuste de los datos experimentales mediante una función exponencial con τ como parámetro de ajuste. Una vez que se obtiene el valor de τ podemos calcular el valor experimental de la capacidad térmica por unidad de volumen ρc de la ecuación (4).

El rango de frecuencia de modulación (25 a 400 Hz) para la adquisición de datos con la técnica de EFCA y el espesor típico de las muestras de 500 μm nos permite asegurar que las muestras son térmicamente gruesas y, por lo tanto, la señal fotoacústica decrece de forma exponencial con la frecuencia moduladora de acuerdo con $(1/f) \exp(-a f^{1/2})$, donde a es igual a $(\pi l_s^2 / \alpha_s)^{1/2}$. La difusividad térmica α_s puede ser obtenida de los datos experimentales de amplitud de la señal, como función de la frecuencia moduladora f ajustándolos con la expresión

$$S = (A / f) e^{(-a \sqrt{f})} \quad (5)$$

La constante A , en la señal medida S , aparte de factores geométricos, contiene otros factores como propiedades térmicas del gas. Entonces tenemos dos parámetros variables para el ajuste: A y a para describir el monitoreo fotoacústico de la difusividad térmica de la muestra. Una vez conocido el coeficiente a de los valores de ajuste, α_s se puede obtener fácilmente de la expresión $\alpha_s = \pi(l_s / a)^2$. Se pueden observar

los ajustes realizados sobre los datos experimentales obtenidos con la técnica de EFCA (Figura 4).

El cálculo de la capacidad calorífica c se puede efectuar si conocemos la densidad de las muestras para lo cual simplemente se deben pesar y calcular su volumen con lo que el valor de la densidad está dado por $\rho = m / V$.

Una vez obtenidos los valores de capacidad calorífica y difusividad térmica podemos calcular la conductividad térmica de la ecuación:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \quad (6)$$

donde k es la conductividad térmica.

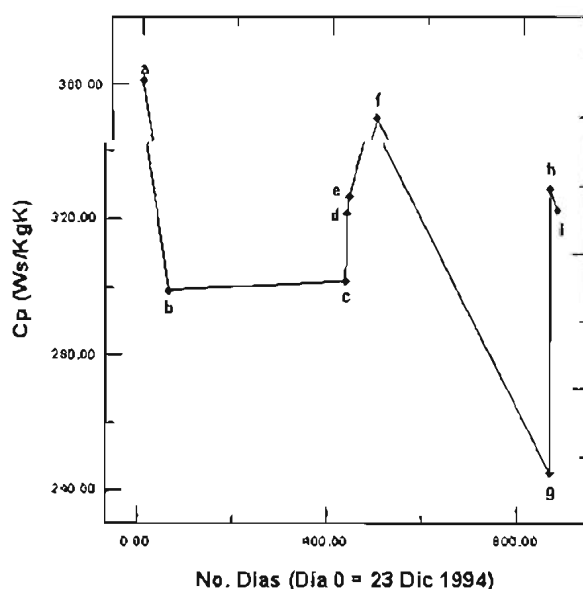


Figura 5. Gráfica de capacidades caloríficas de las muestras de ceniza volcánica y su evolución cronológica.

La Tabla 1 muestra los valores obtenidos de difusividad térmica, capacidad calorífica y conductividad térmica para las ocho muestras de ceniza recogidas entre el 23 de diciembre de 1994 y el 27 de mayo de 1997. Finalmente, se presenta la evolución cronológica de la capacidad calorífica de las muestras de compósitos volcánicos (Figura 5).

VI. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta resultados preliminares del análisis de las propiedades térmicas de cenizas del Popocatepetl. Incluso no contando con ceniza de todas las épocas en que hubo emanaciones, el hecho de que se obtengan valores diferentes de la conductividad térmica y de la capacidad calorífica significa que el calor generado en el interior del cráter sigue caminos diferentes para escapar. Este patrón de cambios lo notamos mediante la ceniza con diferentes propiedades térmicas que nos ha estado llegando en las fechas recientes de actividad volcánica. Por otro lado, es notorio el gran valor de la técnica de espectroscopia fotoacústica para obtener valores de las propiedades térmicas de la ceniza volcánica.

GLOSARIO

Adiabático. Sin pérdida o ganancia de calor por parte del sistema involucrado.

Criostato. Regulador para mantener temperatura baja constante.

Difusividad térmica. La magnitud de esta cantidad (definida por la ecuación 6) determina la razón a la que un cuerpo con una temperatura no uniforme tiende al equilibrio térmico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo expresan su agradecimiento a Jimmy Hernández, Juan Carlos Apam y Edgar Corona, quienes colaboraron en las etapas preliminares del presente trabajo. Agradecemos también a José Antonio Méndez por su ayuda en la etapa final.

REFERENCIAS

- ¹ Alvarado, J.J., Zelaya, O., Sánchez, F., Yañez, M., Vargas, H., Figueroa, J.D.C., Martínez, F., Martínez, J.L. and González, J., "Photoacoustic monitoring of processing conditions in cooked tortillas: measurement of thermal diffusivity", *Journal of Food Science*, 60:2, 1995, pp. 1-5.
- ² López Cruz, E., "Un enfoque fractal elemental para compósitos", *INFOCERAM*, Año 5, No. 3, 1994, pp. 5-8.
- ³ Monette, L., Anderson, M.P. and Grest, G.S., "Effect of volume fraction and morphology of reinforcing phases in composites", *J. Appl. Phys.*, 75, 1994, pp. 1155-70.
- ⁴ Marquzini, M.V., Cella, N., Manzanares, A.M., Vargas, H. and Miranda, L.C.M., "Open photoacoustic cell spectroscopy", *Meas. Sci. Technol.*, 2, 1991, pp.360-401.

(Elias López Cruz es investigador del Instituto de Física de la Universidad Autónoma de Puebla; Víctor Dossetti Romero es estudiante de la Maestría en Ciencias del Instituto de Física de la UAP. Este trabajo fue parcialmente apoyado por CONACYT.)



los imaginarios en el POPOCATÉPETL

Aurelio Fernández Fuentes

Afortunadamente cada vez permea más la idea de lo poco "naturales" que son los desastres. Primero, porque con el desarrollo de todo tipo y tamaño de catástrofes se ha podido constatar que éstas son generadas más por el comportamiento del hombre en sus procesos de asentamiento e instalación sobre el planeta que por los episodios violentos y destructivos que la Tierra produce por sí misma.

Segundo, porque también las grandes desgracias que padece el hombre debido a fenómenos naturales, o las provocadas por la acción humana, tienen que ver con la manera inescrupulosa en que las comunidades y sus individuos nos apropiamos de la esfera terrestre, debido sobre todo a la prevalencia del interés de obtención rápida y cuantiosa de ganancias, en el caso de los dueños de las palancas sociales, y su derivación en la creación irracional de zonas habitacionales y actividades económicas marginales, en el caso de las poblaciones arrinconadas en la trastienda del modelo de desarrollo.

Por eso, en general, el aspecto económico resulta, si no el *factotum* o factor total de la explicación de los desastres, sí la base para comprender el origen, la etiología de ellos. Así se comprende por qué en los últimos cincuenta años el 90 % de las víctimas de desastres —tanto causados por el desarrollo social en todas sus expresiones (antrópicos), como los que tienen su explicación en un evento de carácter natural propiamente dicho— hayan sido residentes de los países subdesarrollados.¹



Se puede decir que un desastre es el resultado de la ignorancia o la negligencia de la sociedad acerca de los procesos de la naturaleza, y de la ignorancia –aún más injustificable, sobre todo si hay negligencia agregada– que se tiene sobre las repercusiones de la organización del hombre en sí misma y de su forma de instalarse sobre la Tierra.

Si reconocemos lo anterior, habremos avanzado respecto a la idea original del desastre como un episodio imprevisible, esencialmente incontrolable, por estar relacionado con fuerzas superiores al hombre y distantes de su capacidad de raciocinio y acción. La etimología, que muchas veces ayuda a comprender no sólo el significado de un término sino la percepción humana que le da origen, enseña la raíz de la palabra desastre: "estar en desavenencia con los astros", dueños y señores caprichosos y arbitrarios de nuestros destinos.

Por eso, hasta estos días ha trascendido la tentación de buscar consuelo en "los únicos" que nos pueden hablar –verdadera o falsamente– y dar tranquilidad –o intranquilidad– sobre el comportamiento de los astros, aquellos que nos pueden explicar qué pasa, qué pasará con un hecho ante el que "nada se puede hacer".

A pesar de los avances en el reconocimiento de que las catástrofes son resultado de la acción humana, los comportamientos que ayudan a su identificación y enfrentamiento son aún tibios, muy insuficientes. Esto también se asocia en general con los grados de desarrollo social y cultural; otra vez la economía está detrás.²

El asunto también tiene que ver con la escala de prioridades sociales, por supuesto.³ Si no es seguro que una inundación ocurra mañana, hay que conseguir primero el aporte para la comida del día; para qué encontrar un nuevo y más seguro

lugar para vivir si no parece inminente la destrucción del que tenemos. Y los gobernantes actúan igual. La protección civil en México es asunto de la más baja jerarquía para todos los niveles de gobierno y para todos los poderes republicanos.

Resulta increíble que así sea, incluso en términos de la conservación del poder. Hay una cantidad más que suficiente de evidencias que debieran dar claridad a los políticos sobre lo que los desastres dejan y han dejado en nuestro país una extensa y profunda cantidad de secuelas políticas contrarias al interés de los gobiernos en turno. Para ilustrar están los ejemplos del Distrito Federal, Guadalajara, Guerrero, Oaxaca.

Además, hay suficientes datos como para demostrar al más incrédulo que el factor determinante es la acción de las personas afectadas, cuando es inevitable tener que ver y sufrir la realización de una amenaza desastrosa. Estudios recientes ilustran con detalle cómo la población que es víctima de una catástrofe cumple inevitablemente con el indeseado compromiso, y no lo ha hecho peor que con la intervención de los "héroes prefabricados" en la liturgia de la concepción convencional de la atención de desastres, en cuya cúspide está la Santísima Trinidad: gobierno-ejército-rescatistas.⁴

Para la concepción tradicional de la atención a desastres, los ciudadanos en riesgo son nada más una justificación de la existencia de las instituciones de la protección civil, su "objeto de trabajo". De aquí deriva una discusión, a veces divertida y a veces dramática, acerca de si es obligación de los cuerpos de rescate "sacar a la gente", aunque ésta no quiera; o "cortarle cartucho" a las personas y estar dispuesto a dispararles con el objeto de salvar sus vidas.

El acercamiento entre los actores "conocedores" del manejo de desastres y la población vulnerable se requiere más



en la etapa de la identificación de amenazas y en la sugerencia de metodologías para enfrentarlas, lo que se conoce como la fase preventiva en el manejo de desastres. Por muchos conceptos, es necesario comprender que todos los individuos vivimos un proceso de desarrollo que implica determinados riesgos, unos más grandes que otros; algunos los conocemos, otros puede que no los hayamos percibido, y para esto es útil la intervención de especialistas, los que, sin embargo, nunca pueden sustituir la acción de la comunidad afectable.⁵

IMAGINAR LOS IMAGINARIOS

Los riesgos no son percibidos igual por los diferentes actores del acontecimiento calamitoso. El emplazamiento de los individuos frente al problema determina la "conciencia" que de él se hagan. Durante la catástrofe producida por los sismos de 1985 en la ciudad de México, por ejemplo, no fue lo mismo el comportamiento del ejército que el del gobierno civil; y entre éstos y los pobladores de los barrios afectados, las historias de actuación fueron muy diferentes, y distintas sus percepciones de quién ayudó, quién no apareció en escena y quién medró con la desgracia.

Si preguntamos a los funcionarios gubernamentales lo que allí ocurrió, las respuestas girarán en torno a la "inevitabilidad", a la "naturalidad" de la devastación por efecto de eventos sísmicos de magnitud nunca antes sentida, nunca antes experimentada, y por lo tanto no calculada. Hablarán también del espléndido comportamiento que mostró el gobierno en aquella ocasión. Los militares, por su parte, también resaltarán la heroicidad y la entrega por parte de las tropas a las tareas de salvamento y reorganización.

La gente afectada tuvo, y tiene aún, otra percepción de aquellos históricos momentos: corrupción en los permisos para edificar y mala calidad en las obras; inexperiencia, confusión e inasistencia del gobierno a las personas que lo necesitaron; falsedad en el número de víctimas; hechos de corrupción en el manejo de la ayuda. Sobre el comportamiento del ejército la media de opiniones entre las víctimas es que su intervención entorpeció más de lo que ayudó a resolver el problema, y que algunos de sus elementos formaron parte de las legiones de rapiña que robaron los bienes que encontraron a su paso.

Las personas que sufrieron aquella desgracia se dieron cuenta en ese momento de su propia capacidad para enfrentar el problema, con sus fuerzas casi exclusivamente. Las historias de las reflexiones de la gente afectada en 1985 y de su comportamiento han sido registradas por diversos investigadores.⁶ Pero si no existiera la escritura de los testimonios para certificar estas aseveraciones, bastaría ver las cifras de las votaciones en el Distrito Federal tres años más tarde, en 1988, y sus "réplicas" en 1994 y 1997, todas contrarias a los representantes del partido oficial, identificado siempre con el gobierno aquel de 1985. Trece años después de aquella catástrofe, perviven por toda la ciudad multitud de grupos de ciudadanos organizados que surgieron dando respuesta a la emergencia, denunciando la corrupción que contribuyó a aumentar la vulnerabilidad de la Ciudad de México ante los terremotos, y desmintiendo la conseja según la cual la población afectada se mueve caóticamente.⁷ Las diferentes percepciones de un fenómeno no se presentan sólo cuando éste se concreta en un desastre; existen previamente, si la amenaza es conocida. El caso del comportamiento social en torno a la erupción del Popocatepetl es muy ilustrativo.



¿Por qué es importante comprender la diferenciación de estas construcciones perceptuales? Lo es si pretendemos encontrar mejores formas para entender, atender y mitigar los efectos devastadores de la naturaleza y la acción humana irracional, si se reconoce la inevitable y hasta saludable existencia de la heterogeneidad entre los hombres.

Cuando aceptamos que frente a una amenaza desastrosa hay la presencia de más de una interpretación y de diversos comportamientos derivados de cada una de éstas, de lo que se trataría para efectos preventivos es de conocer las características de cada interpretación, las diferencias entre ellas, sus agrupamientos e interrelaciones, y las fuentes de las que se nutren las representaciones colectivas. En seguida se trataría de conciliar entre los distintos ámbitos, en la medida de lo posible, los aspectos que tienen que ver con la salvación de vidas y bienes, suponiendo esto último como una expectativa común de los distintos imaginarios. En otras palabras, conviene hacer más grandes y más profundas las "intersecciones" entre estos "conjuntos".

Entendemos por imaginario el conjunto de representaciones individuales y colectivas que dan sentido a determinadas acciones. Son aquellas construcciones ideales que realizan personas o grupos sociales para explicar determinado hecho y justificar las conductas que naturalmente deriven de esta manera de comprenderlo. Para intentar una aproximación al problema de los desastres, decimos que la condición de vulnerabilidad ante una amenaza cualquiera no es igual para todos los individuos o grupos de población, y las divergencias entre los imaginarios que identifican a diversos grupos sociales están basadas en percepciones distintas del tiempo y del espacio en el que tienen lugar las amenazas.⁸ Esos horizontes temporales y espaciales enmarcan la toma de decisiones y la ponderación de prioridades que conducen o no a la prevención de un desastre, como se ha dicho, a la gestión del riesgo.

La población vulnerable a una amenaza colectiva construye una interpretación frente a ella, que se nutre de las percepciones individuales, de las informaciones que se recogen de los medios de comunicación, con el aporte de los personajes importantes de la comunidad y de fuera de ella, y las combinan con base en experiencias personales y colectivas, sobre todo las cifradas en creencias y experiencias históricas y culturales. Los resultados de este proceso suelen ser impensables para la mayoría de los individuos externos al imaginario.

EN LAS FALDAS DEL VOLCÁN

En el caso del tema Popocatepetl, hasta 1995 se podría hablar de la existencia de tres grandes imaginarios, relativamente "puros": uno, el de los habitantes que a partir de los datos disponibles se sabían o se sentían dentro de la zona de peligro; otro, el de los pobladores localizados supuestamente fuera de ella, por información "oficial" o por presunción de los lugareños; y el tercero, el de los de los cuerpos institucionales y hasta el de los individuos que decían saber qué pasaba con los aspectos relacionados con un posible desastre ocasionado por el volcán. Desde luego, cada uno de estos conjuntos tenía sus propias divisiones que multiplicarían la necesidad de identificar el número de "imaginarios".⁹

Las intersecciones que se daban entre estos conjuntos o imaginarios eran, en aquel momento, breves y pequeñas. Hoy, tres años después, la composición y las relaciones entre estos imaginarios ha cambiado. Las modificaciones son distintas en cada uno de los sectores de referencia, pero ha influido sobre todos ellos de manera muy importante la mayor aproximación que cada uno de los imaginarios observa hacia los demás.

El incremento de los episodios eruptivos y la intensificación de las actividades de las personas que integran estos ámbitos han sido los motores de los cambios. El mejoramiento en el conocimiento mutuo ha obedecido a estos dos grandes factores. El primero y más importante es el incremento y aún la espectacularidad de los episodios eruptivos del Popocatepetl. Esto ha propiciado entre los habitantes de la zona de riesgo un mayor y más explícito reconocimiento de la posibilidad de que las amenazas destructivas de "don Goyo" sí se cumplan. Actuó en esa dirección la reiterada caída de ceniza,



primero. Pero cuando ya este tipo de fenómeno había pasado a formar parte de la "cotidianidad" para los habitantes de las faldas del volcán, y de la capital poblana incluso, aparecieron eventos como el lanzamiento de gravilla y piedrecillas que alcanzaron a las poblaciones, y luego importantes cantidades de rocas incandescentes que llegaron directamente o por rodamiento sobre el cono hasta el nivel de los zacatales y bosques, produciendo incendios visibles incluso hasta medio centenar de kilómetros.

Las descripciones de estos eventos, hechas por la gente otrora renuente a aceptar el peligro, reflejaron un temor creciente. Pequeños pero perceptibles sismos en las localidades más próximas al cono, en un abanico de hasta 30 kilómetros desde el cráter por su lado este, se agregaban a las causas de preocupación, de inquietud y reflexión individual, familiar y colectiva. "El anafre", una intensa luminosidad producida por el domo de lava incandescente acumulado dentro del cráter y reflejado en la atmósfera, se veía sobre el volcán antes, durante y después de una explosión, y este fenómeno contribuyó a "dar fe" a una buena parte de los incrédulos acerca de las fuerzas que el coloso es capaz de despertar.

"Salí al baño en la madrugada y vi que arriba del volcán había como lumbre; yo no creía que fuera cierto lo de que el Popo hiciera de veras algo feo, pero ese día me convencí...", comentó un sacerdote católico de Atlixco, durante una reunión de decanatos de la región con el CUPREDER.

Sin embargo, tal vez lo que más impacta la sensibilidad de los habitantes de las faldas del volcán es el ruido que producen las explosiones: sacudimientos de puertas, ventanas y aún muros producidos por la llamada onda sónica y el viaje de las partículas más grandes que expulsa el volcán. "Nomás se

me azotaba la puerta... las ventanas; yo creía que era un terremoto, pero salí a ver el volcán y vi cómo echaba harto humo y estaba prendido arriba, como un anafre, con harta lumbre..." "Primero se oyó un "tronidazo"; luego se movió el piso, las ventanas, y al final se oyó un "rezumbadero" poquito antes que cayera esta gravilla que hay en el suelo..." Estas descripciones se suceden una y otra vez por el lado poblano de la zona de riesgo.

"Salimos de las casas y nomás nos quedamos viendo cómo se nos venían encima las piedras prendidas que rodaban desde arriba, a nosotros los del pueblo y a los soldados que están aquí; y nosotros no sabíamos qué hacer; nomás le pedíamos a Dios que no llegaran a las casas las piedrotas que rodaban bien prendidas", contó el presidente auxiliar de Santa Catalina Cuilotepec, Sósimo Parada, refiriéndose al evento del 1o. de enero de 1998. Luego, narró a los investigadores del CUPREDER que al otro día subieron con los soldados para intentar apagar el fuego que se produjo en los bosques por efecto de las rocas incandescentes, "y nos encontramos unas piedrotas así de grandes, como del tamaño de un tinaco de agua, todavía bien calientes, no se podían tocar".

Cuilotepec, al sur; San Pedro Benito Juárez, más al este, y Santiago Xalitintla, localizada al noreste del centro del cráter, son las poblaciones más cercanas a la fuente eruptiva, con unos 11.5 kilómetros de distancia la primera; entre 9 y 11 la segunda y entre 12 y 12.5 la tercera, dependiendo si se mide desde el centro del poblado o la periferia. Son los poblados más sensibles a estas manifestaciones volcánicas. Pero no son los únicos que resienten y perciben los eventos. Del lado poblano, al menos a 50 o 60 kilómetros a la redonda, en toda la ciudad capital del estado y hasta en algunas poblaciones tlaxcaltecas, se han escuchado las detonaciones volcánicas y se han sentido las ondas que le siguen; se han podido ver incluso las zonas incendiadas.

El CUPREDER ha tratado de detectar el comportamiento de las personas que debieran salir en caso de una erupción fuerte, a través del desplazamiento inmediato de sus investigadores a estos poblados, de entrevistas con los habitantes y de reportes de los cuerpos institucionales de prevención.

Aunque se requiere la realización de una serie de encuestas para definir con precisión las variantes en la percepción de la amenaza, comparándolas con instrumentos similares aplicados en 1995 y 1996, la impresión que se ha formado es que



hasta los más conspicuos defensores del "no pasa nada" actúan con una gran celeridad cuando se presenta una explosión considerable, y que, en caso de conocer las instrucciones que han sido distribuidas entre los pobladores, siguen bien los pasos recomendados o acordados en reuniones colectivas para la prevención.

Hay datos que permiten afirmar que las personas que habitan la zona de peligro volcánico aceptan más la existencia de los riesgos que se ciernen sobre ellos, en comparación con 1995 y principios de 1996. Reconocen más la furia eruptiva del Popo; escuchan con más atención las explicaciones del fenómeno y las recomendaciones; más gente actúa de manera conveniente para el salvamento de sus vidas; más autoridades locales aceptan y hasta diseñan sus mecanismos de organización para la comunidad.

Una parte de la transformación —debe advertirse con énfasis que es todavía insuficiente en términos de preparativos para la emergencia— se debe, ya lo dijimos, al impacto del efecto eruptivo mismo. El otro motor del cambio, menos importante en nuestra opinión, es la acción de los "agentes externos". Aquí hablamos de los desempeños de los profesores como elementos sumamente influyentes, de los ministros de los diferentes cultos (los católicos, quienes al principio fueron muy renuentes a la aceptación de la amenaza y/o a enfrentarla activamente, han cambiado su comportamiento y hoy, en su mayor parte, colaboran) y de quienes han trabajado en labores de prevención organizada, la UAP y algunas dependencias y funcionarios del gobierno poblano.

Sin embargo, pese al trabajo de los agentes externos y lo espectacular y preocupante de las decenas de manifestaciones eruptivas del volcán, no es posible asegurar que la gente actuará adecuadamente en caso de ser necesaria una evacuación de los poblados, única medida posible para salvar las vidas en riesgo frente a una erupción.

Los componentes del "imaginario popular" de los pobladores que debieran evacuar han variado en cuanto al comportamiento "operativo" frente al peligro, y se combinan con viejas actitudes. Aunque no podemos establecer que las regularidades en el imaginario de este sector sean muchas, algunas líneas están presentes de manera identificable. Entre ellas estaría una manera específica de relación con el volcán, en que la población lo considera como un ser vivo,¹⁰ tomando parte de las acciones de la vida cotidiana, y no como un

elemento más del paisaje; otra línea es la necesidad de aceptar la amenaza eruptiva y los mecanismos de prevención de una catástrofe.

No ha desaparecido tampoco buena parte de la desconfianza hacia el comportamiento de las autoridades, ligada a un cierto desinterés y cuestionamiento por los mecanismos de prevención recomendados. La idea de que se les quieren quitar sus bienes prevalece, y en algunos casos se ha combinado con el hecho de que de cualquier manera los perderán si es que la erupción ocurre verdaderamente. Algunos elementos partidistas —aunque en realidad por iniciativa individual y suponemos que como negocio— han aprovechado este temor para organizar grupos de invasores de tierras, individuos que les están cobrando a los campesinos ciertas sumas de dinero a cambio de conseguirles un terreno fuera de la zona de peligro¹¹, aunque éste es un procedimiento muy localizado todavía.

La idea de una "erupción provocada", ya sea por "los japoneses", "los científicos" o hasta por "el gobierno", está menos extendida hoy, pero tiene que ver con la experiencia histórica de los "abuelos", quienes conocieron el episodio de 1919, cuando un capataz hizo explotar 28 cartuchos de dinamita dentro del cráter para extraer azufre, y produjo, además de la muerte de una veintena de trabajadores, el inicio de aquella erupción, según dicen varios estudiosos del tema.¹²

Un hecho de mucha relevancia fue la entrevista televisiva que le hicieron en enero de 1998 al entonces subsecretario de Gobernación federal, Ricardo García Villalobos, quien declaró que sería recomendable que algunas poblaciones fueran reubicadas debido al peligro que corrían, e incluso mencionó nombres, como Santiago Xalitzinlla. Este mensaje llegó a los pobladores y, por la forma en que la reprodujeron los medios, el problema se agravó. Surgió la inquietud de que, por una u otra razón, el gobierno les quitaría sus tierras y sus casas.

En los días que siguieron a esta declaración, al llegar periodistas o agentes de la prevención a los poblados con mayor inquietud, las personas se agrupaban a su alrededor, preguntando si tendrían que dejar sus casas, si les quitarían sus bienes, si esto ocurriría tal o cual día, etcétera. Hasta el momento de escribir esto, la inquietud persiste.

Un mensaje oficial como el aquí comentado puede echar abajo años de trabajo comunitario. La gente desconfía de las instrucciones para alejarse de la zona de peligro y de quienes se las comunicaron; muchas personas de estos poblados con-

funden ahora "evacuación" con "reubicación", lo que equivale a comparar "dejar por unos días el pueblo" con "abandonar para siempre el pueblo, sin saber a dónde ir". En estas condiciones, el retorno de consejas como las mencionadas más arriba es difícilmente evitable. *Grosso modo*, nos encontramos en este punto del "imaginario popular" de quienes viven en la zona de evacuación.

La situación de quienes perciben la amenaza eruptiva y aún temen por ella, pero son pobladores de localidades que no debieran ser evacuadas, es un problema de interés, pero que hemos decidido no desarrollar en este momento, básicamente por razones del espacio disponible.

EL SABER Y LA GLORIA

El "imaginario formal" es el que está caracterizado por las instituciones e individuos que estudian y trabajan, voluntaria o contractualmente, el tema de los desastres. Es también heterogéneo y complejo. La ventaja —y la desventaja— es que el poder se encuentra entre él. Podríamos identificar de manera general algunos de los integrantes de este conjunto. Están, en primer lugar, las fuerzas gubernamentales, divididas en federales y estatales (las autoridades de los municipios en riesgo, en su mayoría, pertenecen al "imaginario popular"), y también el ejército, como elemento de enorme peso.

En segundo lugar se encontrarían las instituciones académicas que intervienen en la atención del fenómeno, y que, aunque no son muchas, representan el peso del conocimiento científico y tecnológico, y en ocasiones también buena parte de la acción social y una importante influencia en los medios masivos de comunicación. Para el caso de referencia, hay que

mencionar a la UNAM (Institutos de Geofísica e Ingeniería, sobre todo) y su desprendimiento oficial en el CENAPRED; y a la UAP, con el CUPREDER al frente.

Un tercer núcleo es el de los grupos de socorristas, menos incisivo en la arena de la discusión, pero que actúa en algunos aspectos, se trata de organizaciones no gubernamentales y no académicas. La Cruz Roja es la institución más notable entre éstas, pero se encuentran asimismo grupos de socorristas, los radioaficionados y otros de este corte. Se conciben a sí mismos como los grandes protagonistas de los desastres, y en función de esta consideración actúan. Ésta es una coincidencia interpretativa con el ejército y algunas otras dependencias oficiales, particularmente las del área de la salud.

Existen, por supuesto, innumerables diferencias entre estos tres agrupamientos, pero en muchas ocasiones las discrepancias en el interior de cada uno de ellos son más acusadas. Entre los gobiernos estatales y la federación hay apreciaciones distintas en cuanto a los procedimientos a desarrollar; a su vez, entre los gobiernos civiles y el ejército hay distancias interpretativas y operativas conocidas por todos, en ocasiones graves, pero que procuran solucionarse en el ámbito "de la familia". Desde la creación, en 1986, del Sistema Nacional de Protección Civil, las fuerzas armadas se sintieron desplazadas en el protagonismo que tenían frente a la atención de desastres. La Secretaría de la Defensa Nacional tiene sus propios planes de emergencia para el caso del Popocatepetl, por ejemplo, y acepta combinarlos con los de los gobiernos estatales y con el federal si éstos acceden a los lineamientos del conocido Plan DN-III y a sus concepciones básicas para el manejo de los desastres.

Dentro de los propios gobiernos estatales y de la Federación se presentan divergencias de percepción del problema y de acción en materia de protección civil, expresadas en formas distintas de hacer —o de no hacer— las cosas en cada una de las dependencias oficiales. En el fondo lo que hay es la presencia de dos o más formas, muchas veces irreconciliables, de interpretar lo que es un desastre y cómo debiera manejarse durante todas sus etapas; por la misma razón se explican también muchas de las diferencias entre las instituciones académicas.

La característica principal del grupo de instituciones universitarias es la aportación de los factores teórico, tecnológico y de procedimiento en el intento de comprensión y solución del



problema de las situaciones catastróficas. La interacción entre las instituciones que forman este grupo se manifiesta por estas funciones, pero se produce también a partir de la diversidad de interpretaciones y de la forma de comprender el problema de la producción del conocimiento o, mejor dicho, de cómo entender los mecanismos de funcionamiento de la naturaleza y la sociedad. Sin pretender entrar aquí en una discusión epistemológica, vale la pena manifestar nuestra coincidencia con los trabajos que buscan integrar los distintos ámbitos de la ciencia, sin renunciar a las particularidades de cada una.

Los problemas cognoscitivos y aún prácticos que plantean los desastres son imposibles de advertir y resolver sin el concurso armónico de buena parte de las herramientas hechas por el hombre para comprender su entorno. Pero para que la integración de las diversas disciplinas científicas pueda ocurrir es preciso que se desbrocen las marañas que han hecho creer que los desastres son "naturales", y que corresponde explicárnoslos sólo a los estudiosos de los movimientos del planeta; en tanto, los analistas de los acontecimientos humanos son relegados al campo de las acciones administrativas.

La creencia en el fatalismo de la acción de la naturaleza se combina con una convicción igualmente fatalista sobre la imposibilidad de la participación adecuada de los núcleos en riesgo ante una situación amenazante. Esta mezcla da por resultado la actuación unilateral de los grupos dedicados oficial o volutivamente a la llamada protección civil.

Durante los tres últimos lustros, en nuestro país se han acumulado y registrado, a través del trabajo de varios investigadores, un gran número de evidencias que han resquebrajado estas ideas tradicionales. Nuevas formas de ver los problemas de este tipo son aceptadas por instituciones gubernamen-

tales y civiles, con una derivación en sus respectivas acciones prácticas y en sus enfoques interpretativos. Esto ha ocasionado, para bien y para mal, buena parte de las diferencias institucionales en el mundo del "imaginario formal". Lamentablemente, todavía no hay referentes muy consistentes ni voluntad de los integrantes del mundo académico y oficial por llevar a cabo las discusiones que hacen falta en lo que sería un sano propósito de encontrar los puntos de coincidencia conceptuales y operacionales, para así hacer un mejor papel como sociedad de cara a las amenazas del entorno natural y artificial.

El hecho de que los estudios sobre desastres sean tan recientes explica la inexistencia de un cuerpo conceptual y metodológico sistemático y consistente.

Un buen punto de partida para zanjar las discrepancias que impiden enfrentar de manera común los riesgos del desarrollo sería reconocer que tenemos enfrente un tema de y para todos, un problema de Estado, en el mejor sentido que pueda tener esta categoría de análisis.¹³ Si entendemos y aceptamos que este problema, desde los puntos de vista teórico y práctico, es universal, al igual que su solución, es más probable que dejemos de concebirlo como la propiedad privada y exclusiva de cada una de las instituciones en particular, de cada uno de los gobiernos, y hasta de cada individuo que interviene.

Los habitantes del "imaginario popular" debieran aceptar las explicaciones "científicas" del "imaginario formal". A su vez, en el caso del volcán Popocatepetl, los "formales" debiéramos aprender algo de un elemento sumamente relevante de los habitantes volcaneros: es cierto que el volcán y el problema que hoy representa nos pertenece como individuos o como instituciones próximos al tema, pero, si conocemos un poco de la filosofía presente entre estos hombres, sabremos que si



queremos que "don Gregorio el chino" nos pertenezca de alguna manera, nosotros deberemos estar también dispuestos a pertenecerle a él.

Antonio Analco, quizá el único tiempiero vivo en estos momentos, dejó de vender pistaches, nueces y cacahuates en las calles de la ciudad de México y regresó a su pueblo, porque mediante una "revelación", es decir en un sueño, y después en persona ("en vivo y a todo color", como suele decir el quiaclaxque, empleando términos aprendidos del "otro" imaginario) "don Goyito" le pidió que estuviera con él para cuidarlo "porque le andaban queriendo hacer mal", y para avisarle a la gente del pueblo del momento en que El Supremo le diga al volcán que ya haga erupción. Una por otra; uno con otro.

¿QUÉ TANTO SABEMOS?

El enjambre que forma la multiplicidad y complejidad de relaciones institucionales y personales, y la diversidad de percepciones y conceptos, se expresan en el imaginario formal para el caso de la amenaza planteada por la erupción del volcán.

Resulta insostenible asegurar que dentro de este conjunto existe alguien que conozca a fondo alguno de los diversos aspectos del problema, por más que esta idea se haya querido popularizar. Sobre el carácter de la amenaza eruptiva, por ejemplo, hay diversas y encontradas interpretaciones; con grandes dificultades podría uno encontrar la opinión de alguno de los especialistas técnicos sobre un modelo confiable de interpretación acerca de lo que ocurre con la actividad del Popocatepetl. Hasta hace muy poco se han comenzado a dar a conocer algunas explicaciones más amplias del fenómeno, pero de ninguna manera han sido puestas a debate, aunque sea entre

los propios "conocedores", por lo que se quedan en interpretaciones casi individuales, por más investidura formal que posea el investigador. Otros integrantes del gremio de los "duros" aseguran que esto es normal, dados dos factores: la falta de bases de datos para estudiar en el tiempo el comportamiento del coloso, y la escasez de estudiosos del problema, sin poner a discusión su capacidad.

Hay una discusión abierta entre distintos investigadores nacionales, e incluso extranjeros, acerca de la suficiencia del equipo de monitoreo, el tipo de amenazas que puede provocar el volcán Popocatepetl, y aun el modelo de actividad eruptiva que presenta. Existe también un amplio debate sobre lo que puede o no darse a conocer a la población en general, o acerca de lo que debe hacerse en este terreno.

En el mismo campo, hoy se acepta que los mapas de riesgo o de peligro fueron elaborados bajo la presión que significó el inminente inicio y luego el sorprendente desarrollo de la erupción entre 1994 y 1996, con instrumentos cartográficos y equipos deficientes. Hay un acuerdo explícito en el sentido de que es preciso reelaborar dicho mapa y ampliar los aspectos a investigar, particularmente el de relieves y barrancas.

Tampoco los estudios sociales están concluidos. Hasta donde sabemos, la única investigación social que se lleva a cabo al respecto es la que realiza el Centro Universitario de Prevención de Desastres, conocida como "Proyecto Gregorio", que estudia la vulnerabilidad social y los riesgos para los habitantes de la zona (a partir del conocimiento de las amenazas). Este proyecto ha sido apoyado económicamente por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), pero se encuentra en su fase inicial, y aunque sus resultados parciales han sido útiles para la elaboración del Plan de Emergen-



cias del Popocatépetl, el conocimiento que se propone alcanzar está en proceso. Aquí se exhibe nuevamente la inmadurez de los cuerpos teóricos sobre el tema de los desastres.

Aunque en Puebla hay avances importantes en la marcha de los planes de prevención, existe una notoria debilidad de los cuerpos especializados como para poder aterrizar los elementos concretos de la organización. La causa es que las medidas para la Protección Civil se encuentran en el último renglón durante la elaboración presupuestaria, y sólo surgen cuando ya es inminente el desarrollo de una catástrofe.

Todo parece indicar, sin embargo, que la entidad más avanzada en la tarea es la poblana. En los estados de Morelos y de México la planificación se ha entregado prácticamente al ejército; los cuerpos civiles se encuentran sometidos al mismo, y el trabajo de organización comunitaria es prácticamente inexistente. El Sistema Nacional de Protección Civil cuenta con un plan "central", por su lado. De esta manera, existen cuatro instrumentos de operación diferentes para el mismo problema, no por obedecer éstos a las características específicas de las entidades, sino por omisión de los cuerpos coordinadores centrales y por la presencia de diferentes concepciones sobre el problema.

Son muchos los aspectos que ilustran la fragilidad de los integrantes del imaginario formal frente a este problema. Podríamos hablar del sistema de alerta y la insostenible propuesta del "semáforo volcánico", de las carencias y simulaciones en los sistemas de comunicaciones, de los problemas con vehículos, caminos y albergues. De ninguna manera este "imaginario" tiene autoridad para llamar "necios", "ignorantes" y "enemigos de la organización" a los campesinos volcaneros.

AGRADECIMIENTO

La realización de este artículo ha sido posible gracias a la invaluable colaboración de Alejandra López García.

NOTAS

¹ Maskrey, A., Conferencia en el Seminario sobre vulnerabilidad, CUPREDER-UAP, julio de 1996.

² Braikie, P., Terry, C., Davis, J. y Wisner, B., *Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres*, La Red, Colombia, 1996.

³ Wilches-Chaux, G., "La vulnerabilidad global", en *Los desastres no son naturales*, comp. Maskrey, A., La Red, Colombia, 1993.

⁴ Dynes, R.R., "La planificación de emergencias en comunidades: falsos supuestos y analogías inapropiadas", *International journal of mass emergencies and disasters*, 2, 1994.

⁵ Zilbert, L., *Guía de La Red para la gestión local del riesgo*, ITDG, La Red, Perú, 1998.

⁶ Carbo, T., Franco, V., De la Torre, R. y Coronado, G., *Una lectura del sismo en la prensa capitalina*, Cuadernos de la Casa Chata, 147, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, México, 1987.

Nuncio, A., Vigil, A., Garza, L.L., Arenal, S. y Estrada, E., *La huella del huracán en Nuevo León*, Ediciones Castillo, Monterrey, 1989.

Otro fenómeno natural que impactó desastrosamente con consecuencias nacionales fue el paso del huracán Gilberto, en septiembre de 1988. Resulta interesante revisar la crónica de Abraham Nuncio que relata la actuación de habitantes de Monterrey ante el meteoro.

⁷ Amador, G.E., *Si la gente no va, la protección civil no será*, ponencia presentada en el Foro Permanente Sobre Participación Ciudadana. Sociedad Mexicana de Planificación, A.C., México, febrero de 1998.

⁸ Maskrey, A., "Comunidad y desastres en América Latina: estrategias de intervención", en *Viviendo en riesgo. Comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina*, comp. Lavell, A., La Red/FLACSO/CEPREDENAC, Colombia, 1994.

⁹ Fernández, A. y López, A., *La insana distancia entre el imaginario formal y el imaginario popular*, ponencia presentada en el III Congreso Nacional de Universidades en Protección Civil, Puebla, 1995.

¹⁰ Glockner, J., *Los volcanes sagrados*, Grijalbo, México, 1996. Este trabajo describe de manera espléndida las raíces que existen entre los hombres de estas tierras y diversos elementos de la naturaleza, particularmente el volcán Popocatépetl.

¹¹ *La Jornada de Oriente*, Puebla, 11 de febrero de 1998.

¹² Doctor Añu, *Estudios del Popocatépetl*, México, 1938

¹³ Macías, J.M. y Fernández, A., "Crear un sistema nacional de protección civil", en *La Jornada*, México, 20 a 23 de octubre de 1997.

(Aurelio Fernández Fuentes es director del periódico *La Jornada de Oriente* y director operativo del CUPREDER-UIAP.)

Xiuhtépetl-Xalliquéhuac-Popocatépetl

las fases del volcán según la taxonomía indígena

Manlio Barbosa Cano

El 21 de diciembre de 1994 el volcán Popocatépetl entró en un nuevo ciclo de actividad eruptiva originando una gran variedad de reacciones entre la población que habita en las áreas cercanas. Los habitantes de las faldas fueron los más tranquilos, a diferencia de los moradores de la ciudad de Puebla, quienes se hallaron abruptamente frente a una amenaza. A partir de 1994 el volcán ha pasado por ciclos de menor o mayor actividad, como la de finales de abril de 1997, cuando arrojó algo de lava fuera del cráter. Los especialistas que han estado estudiando al volcán no han asegurado una erupción de fuego de gran magnitud, pero tampoco la han descartado. Desde el año de 1990, Alejandro Rivera señaló el riesgo, con una gran capacidad predictiva:

Estudios basados en modelos matemáticos, cuyos parámetros se han tomado de exploración directa del Popocatépetl e intercambio con otros científicos, revelan la preocupante situación de que el Popocatépetl podría entrar en una fase de gran actividad a mediados del próximo decenio (lo que)... permite alertar y sugerir la pronta intervención de las autoridades académicas, civiles y especialistas para desarrollar un plan... y no esperar improvisaciones que suelen desembocar en lamentables errores.



730 000 a.c. (nace el aparato moderno)
30 000-8500 a.c. (etapa eruptiva de mayor importancia)
4980 a.c. (etapa eruptiva intensa; última de mayor explosividad)
1008 (?); 1345-1347; 1354; 1363; 1488; 1504; 1512; 1518-1519; 1522; 1528; 1530; 1539-1540; 1542; 1548; 1571; 1580; 1590; 1592-1594; 1642; 1663-1664; 1665; 1667; 1720; 1802-1804; 1827; 1852; 1919-1927; 1946-1947; 1994.

Cuadro 1. Cronología eruptiva del Popocatepetl. Fuente: Rivera, A., 1991:335.

Alejandro Rivera publicó una cronología (Cuadro 1) de las erupciones del volcán Popocatepetl, y algunas dependencias publicaron otras en los medios de difusión locales, a raíz de la erupción. Al comparárlas encontré que en ninguna de ellas están citados los fenómenos telúricos registrados en los códices mexicanos prehispánicos, por lo que es necesario darlos a conocer para una mejor comprensión de la actividad del volcán. En tres códices encontramos información relativa: Códice Huamanílla, donde aparecen el Popocatepetl e Iztaccihuatl, el primero con grandes fumarolas (Foto 1). En los Códices Telleriano Remensis y Vaticano Ríos se consigna información sobre sismos, escala de intensidad de éstos, caída de meteoritos, actividad volcánica con erupción de humo y actividad volcánica con erupción de fuego. En algunos casos el que anotó la traducción de los datos al español cometió errores numéricos.

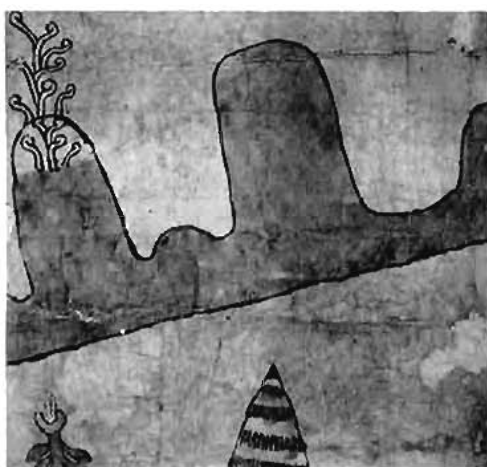


Foto 1. Códice de Huamanílla. Volcán Popocatepetl en erupción junto al Cerro Gordo e Iztaccihuatl

REGISTRO DE ACTIVIDAD SÍSMICA

La incidencia de sismos fue representada mediante el ideograma *ollin*, que significa movimiento, constituido por dos tiras que se unen en el centro, donde se halla un círculo. El ideograma es el que se encuentra en el centro del llamado Calendario Azteca. En los códices mencionados el *ollin* fue dibujado dentro de un cuadrete punteado, que simboliza la Tierra. Algunas láminas tienen anotaciones en español del siglo XVI. En los Cuadros 7 y 8 está concentrada la información proveniente de los códices citados, con el nombre nahua del año, la correlación calendárica occidental y la intensidad del sismo.

La correlación calendárica entre ambos códices difiere en un año, razón que explica la diferencia en el registro de los sismos entre las dos fuentes.

ESCALA DE INTENSIDAD SÍSMICA

Según Corona Núñez, comentarista de los códices, la representación de los sismos implica también la de una escala de intensidad; el registro se realizó con un dibujo de líneas dentro del cuadrete donde se halla el ideograma del *ollin*. Cuando no se la dibujó, el sismo correspondería a la escala menor, es decir, uno; el dibujo de una establece dos bandas dentro del cuadrete, dando una escala de dos, y así hasta seis, que fue el de mayor intensidad registrada.



Foto 2. Lámina CXXXVII del Códice Vaticano Ríos. Registro de dos temblores de segundo grado de intensidad y eclipse de Sol.

Esta escala, puesta en práctica al menos mil años antes que la de Richter, actualmente en uso, sorprendentemente coincide con aquella casi totalmente en la gradación. La escala de los códices no puede confundirse con el número de temblores ocurridos porque cuando la incidencia fue mayor a uno, se anotó el número de sismos que ocurrieron. (Foto 2).

CAÍDA DE METEORITOS

El dibujo de una piedra de la cual sale humo es incuestionablemente la representación de la caída de un meteorito, fenómeno que tampoco podría confundirse con la erupción volcánica, cuyo registro fue realizado con toda claridad y precisión.

REGISTRO DEL PASO DE COMETAS

En la lengua náhuatl fueron llamados *Xihuilli*, y su aparición fue registrada como la ocurrida en el año *Mallactli Calli* (10 casa), cuya correspondencia con el calendario occidental es el año de 1489. Esto se puede observar en la lámina XX del Códice Telleriano Remensis.

REGISTRO DE ECLIPSES

Los eclipses de Sol se representaron mediante un Sol radiante en un círculo (Fotos 3 y 4), o este dibujo junto a un cuadrete con estrellas (Foto 2).

REGISTRO DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA DEL POPOCATÉPETL

En cuanto a la localización de los eventos, solamente dos sismos están reportados con precisión: 1507 en Tecuhtepec y 1512 en Nopala; el resto puede ser atribuido al Valle de México y áreas cercanas. Su causa pudo estar relacionada con erupciones volcánicas, pues hay registros donde ambos ideogramas, el del movimiento y el de las fumarolas, se hallan unidos por una línea. El resto de los sismos anotados pudo tener la misma causa u otras. Los sucesos narrados en ambos códices se refieren al Valle de México, pero hay otras bases para deducir que las erupciones volcánicas documentadas solamente pueden referirse al Popocatepetl. En el Códice Huamantla están claramente dibujados el Popocatepetl y el

Iztaccíhuatl, y en los Códices Telleriano Remensis y Vaticano Ríos aparece una montaña vomitando fuego, que no puede ser ninguno de los volcanes activos de la parte centro oriente de México, que son el Xitle, volcán que no ha tenido mayor actividad desde mediados del primer milenio antes de nuestra era, y el Cuitláhuatl (Pico de Orizaba), que ha registrado actividad "poco documentada" en los siglos XVI y XVII, de acuerdo a la información publicada (Cuadros 5 y 6).

La lámina XXV del Códice Telleriano Remensis contiene el dibujo de un volcán erupcionando fuego (que en el Vaticano Ríos corresponde a la lámina XXIX), cuyo texto reza: "vieron una claridad... muy resplandeciente... que estaba a la parte doriente y que salía de la tierra y llegava al cielo". Desde el Valle de México el único volcán activo al oriente era el Popocatepetl, carácter que continúa hasta hoy. Hay algunas fechas de registros de erupciones coincidentes entre la información de los códices indígenas y las de la ciencia moderna, confirmando mutuamente, y en el caso de la representación de las erupciones, cuando

la fumarola sale de la cima de una montaña —o la lengua de fuego— no cabe la menor duda de que se trata de actividad eruptiva (Fotos 3 y 4).

Recientemente, en 1996, la revista *Bulevar* reeditó la cronología que corresponde a la leyenda indígena que relata la formación de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, misma que fue inicialmente recogida y publicada en el año de 1899 por Heriberto Frías con el nombre de "Corazón de lumbre y alma de nieve":



Foto 4. Lámina XXV del Códice Telleriano Remensis. Registro de eclipse de Sol y temblor de cuarto grado de intensidad en 1507, y erupción del volcán Popocatepetl en 1509.

Bufando tan espantosamente que hizo retemblar la tierra. Con voz de trueno, cien mil trescientos millones más tremenda que una descarga de rayos. y de la boca del enorme gigante salió un chorro de fuego rojo. de vómitos de piedra (h)irviente. Aros (Ecos) espantosos, cenizas y nubes de humo tantos y tan negros que parecía de noche, seguía vomitando fuego, lava, cenizas.

Pero tantos (espumarajos) había arrojado que se encontró débil. Apaciguado por la fatiga y después por la influencia de su esposa "La Reina de la nieve", "La Reina Blanca", expresó: "Has aplacado mi cólera... apagaste las iras rojas de mi corazón de lumbre", son el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl.

La información de esta cronología y las provenientes de los textos indígenas no se contradice con el contenido de la información aportada por la ciencia moderna; al contrario, advertimos una coincidencia en



Foto 3. Lámina CXXIX del Códice Vaticano Ríos. Registro de un temblor de cuarto grado de intensidad, erupción del volcán Popocatepetl y eclipse de Sol.

términos generales, aunque aquéllas carecen de la precisión de esta última. Seguramente si los códices no hubiesen sido destruidos por la barbarie colonial, hoy no afirmaríamos esto. El volcán Popocatepetl ha pasado, por lo tanto, por diversas fases de mayor a menor actividad y violencia eruptiva. La que se describe en esta leyenda corresponde a la fase *Xiuh tépetl*, hasta que, fatigado, pasó de expulsar lava a la fase *Xalliquéhuac*. Acaso la de mayor trascendencia con relación a la población que habita sus alrededores es la ocurrida en la primera parte del actual milenio, misma que quedó registrada en varias cronologías modernas.

DE XALLIQUÉHUAC A POPOCATÉPETL

En el siglo XVI, Chimalpahin escribió las "Relaciones de Chalco Amaquemecan", con base en los *Nenotzallis* o códices que heredó de sus antepasados nahuas, y que él tradujo como "Relaciones originales". Ahí estaba registrada una serie de eventos históricos y geográficos que tradujo al español como: "Año 9 caña, 1347. Por primera /vez/

se vio humear el monte que hoy llaman Popocatepetl y que anteriormente sólo era conocido por *Xalliquéhuac*" (1965:156). Es de todos conocido que Popocatepetl significa montaña humeante, y *Xalliquéhuac* palabra que proviene también de la lengua náhuatl, es referida por Alejandro Rivera como "arena que vuela" (1991:325), en tanto que Julio Glockner la menciona como "arenales que se levantan" (1991:36).

Rivera define a un tipo de material eruptivo que no es lava ni humo: "erupciones... dirigidas horizontalmente y contienen ceniza... y fragmentos mayores en suspensión; en vulcanología se denomina este tipo de actividad 'flujo piroclástico'... el Popocatepetl ha manifestado este tipo de actividad" (1991:337).

Por lo tanto, *Xalliquéhuac* es arena que se levanta o vuela, lo que en términos técnicos se denomina "flujo piroclástico", registrado en la actividad eruptiva del volcán en el año 1005 de nuestra era, después de la última erupción de lava, ocurrida hace unos cinco mil años (Cuadros 3, 4 y 5).

Seguramente la emisión de *Xalliquéhuac* fue disminuyendo hasta que en el año de 1347 cesó, como lo registraron las fuentes de Chimalpahin, para comenzar su fase de emisión de humo y ceniza. Por eso el volcán fue rebautizado y dejó de ser *Xalliquéhuac* y le llamaron *Popocatepetl*. Nuevamente los conocimientos indígenas y la ciencia moderna coinciden. Así como los términos indígenas hawaianos han sido tomados para la de-

nominación taxonómica de los volcanes, de la misma manera podríamos tomar la taxonomía indígena nahua para diferenciar la fase *Xalliquéhuac* de la *Popocatepetl*. Por lo pronto podemos llegar a una conclusión en términos probabilísticos: es de mayor factibilidad que el volcán continúe manifestándose, en su actual erupción, como *Popocatepetl* que como *Xalliquéhuac*, o como *Xiuh tépetl* (erupción de lava). Este último término no aparece en las fuentes pero correspondería a la erupción de fuego.

LA ERUPCIÓN ACTUAL NO SERÁ DE FUEGO

La vulcanología es aún una ciencia con escasa capacidad predictiva, como lo afirma Fred Bullard (1980); según este autor, hay cierto acuerdo acerca de la ciclicidad de la actividad eruptiva de los volcanes, pero aún no es posible precisar la longitud de cada ciclo, ya que pocos son los volcanes con registros sistemáticos, y cada volcán comporta su propio patrón de actividad. Los volcanes solares muestran un ciclo regular de nueve a trece años, pero es incierta la relación entre la actividad solar y los volcanes terrestres. Por lo tanto toda información que contribuya al mejor conocimiento del *Popocatepetl* puede ser de utilidad.

En el Cuadro 2 se consignan las erupciones del volcán *Popocatepetl* registradas en los códices *Telleriano Remensis* y *Vaticano Ríos*, ocurridas en el año *nahui calli* (cuatro casa) del calendario indígena, que corresponden a los años occidentales 1508 del Códice Vaticano ríos y 1509 del Códice *Telleriano Remensis*. En el primero se registró otra erupción en el año *matlactli tecpatl* (diez pedernal), correspondiente al año occidental 1528. (Las fechas de este último código son las correctas).



Foto 5. Lámina CXXXVI del Códice Vaticano Ríos. Registro de erupción del volcán *Popocatepetl*.

CALENDARIO INDÍGENA	CORRELACIÓN FUENTE OCCIDENTAL	TIPO DE ERUPCIÓN
<i>Nahui calli</i> (4 casa)	1509, Códice Telleriano Remensis, lámina XXV	De fuego
<i>Nahui calli</i> (4 casa)	1508, Códice Vaticano Ríos, lámina LXXIX	De fuego
<i>Metlactli tecpatl</i> (10 pedernal)	1528, Códice Vaticano Ríos, lámina CXXXVI	De fuego

Cuadro 2. Cronología eruptiva del Popocatepetl. Fuente: Códices Telleriano Remensis y Vaticano Ríos.

Las cronologías de los Cuadros 3 y 4, cuya fuente es la Secretaría de Gobernación y el Centro Nacional de Prevención de Desastres, son menos detalladas que la del Cuadro 1. Comparando las cifras de esta última con las del Códice Vaticano Ríos vemos que coinciden en la erupción de 1528 y, con relación a la erupción de 1508, el registro de ambos códices es complementario y ayuda a establecer un patrón cíclico cuatrianual entre 1504 y 1528. Las cronologías incluidas en el presente artículo coinciden en términos generales; en la de Rivera, la última fase de erupción intensa del Popocatepetl ocurrió hace unos siete mil años; en la de la Secretaría de Gobernación y CENAPRED se hace referencia a un posible derrame de lava ocurrido hace unos unos tres mil años. A partir de entonces es

posible que la fase Xiuhtépetl haya declinado para entrar a la fase Xalliquéhuac, la que llegó a su punto de inflexión en el año de 1347, como lo documentó Chimalpahin, arribando a la fase Popocatepetl, en la cual se encuentra. Habrá que aclarar si las erupciones de fuego documentadas en los Códices Telleriano Remensis y Vaticano Ríos fueron de gran magnitud, o solamente como las registradas en el mes de abril de 1997. Si estamos frente al primer caso, significaría que las probabilidades de una erupción de fuego actualmente no son remotas, contrario a lo que podríamos afirmar de confirmarse la segunda alternativa, que personalmente considero como la más factible. De ser así, el volcán lleva más de seiscientos cincuenta años de haber pasado de la fase Xalliquéhuac a la fase Popocatepetl.

¿QUIÉN DEBE APRENDER A VIVIR CON EL VOLCÁN?

En la *Geografía General de México*, de Jorge L. Tamayo (1964), se establece que la Cordillera Neovolcánica, la formación orográfica más reciente del país, infranqueada por las aguas, está constituida por una cadena de volcanes, entre los cuales se encuentra el Popocatepetl. Manuel Reyes describió la región Puebla-Tlaxcala, en esta perspectiva, como la Plataforma Neovolcánica integrada por cuatro grandes volcanes, Popocatepetl, Iztaccihuatl, Citlaltépetl y Malinche, además de un gran número de volcanes de menor tamaño (1970). Por lo tanto, el riesgo de una o varias erupciones es alto. A este respecto, "la comunidad científica de la UNAM recomendó a los habitantes de la zona de riesgo, aprender a convivir y entender la vida del volcán" (*El Universal*, 2-1-1995).

Además de las recomendaciones formuladas por los científicos, no debemos pasar por alto la influencia que los sacerdotes tradicionales ejercen sobre los pobladores de las faldas del volcán. En las cercanías de los volcanes, estos sacerdotes llamados "Graniceros" o "Tiemperos", fungen como intermediarios entre los seres humanos y lo sagrado-sobrenatural. Son seres con carisma, investidos por la tradición para ejercer el oficio, con los conocimientos sobre los rituales y formas para acercarse, conocer y propiciar a los volcanes. Los tiemperos le manifestaron a Julio Glockner, cuando la erupción de 1994, que no

Fecha	Tipo de erupción
2999 a.c	Nubes ardientes; posibles derrames de lava
751	Nubes ardientes
1005	Explosiones muy violentas
1347	Actividad explosiva con lluvia de ceniza
1354	Actividad explosiva con lluvia de ceniza
1519-1530	Actividad persistente con emisión de pómez y lapillo; numerosas fumarolas
1539-1540	Erupción explosiva con abundante lluvia de ceniza
1542-1592	Numerosos episodios eruptivos
1664-1667	Numerosos episodios eruptivos
1720	Erupción explosiva con abundante lluvia de ceniza
1802-1804	Actividad menor con fumarolas
1919-1927	Actividad menor en emisión de gases, escorias y cenizas; actividad sísmica alta
1994-?	Lluvia de ceniza; numerosos sismos de baja intensidad

Cuadro 3. Cronología eruptiva del Popocatepetl. Fuente: Secretaría de Gobernación y Sistema Nacional de Protección Civil. Publicado en *El Universal*, Puebla, 22-12-94.

Fecha	Tipo de erupción
1347	Actividad explosiva con lluvia de ceniza
1354	Actividad explosiva con lluvia de ceniza
1519-1530	Actividad persistente
1539	Erupción explosiva con abundante lluvia de ceniza y destrucción de tierra cultivable
1542-1592	Numerosos episodios eruptivos
1664-1667	Numerosos episodios eruptivos
1720	Erupción explosiva con abundante lluvia de ceniza y destrucción de tierra cultivable
1802	Actividad menor
1920	Actividad menor

Cuadro 4. Cronología del Popocatepetl. Fuente: CENAPRED-Secretaría de Gobernación.

Fecha	Tipo de erupción.
1537	Erupción poco documentada
1545	Erupción mayor poco documentada
1566	Erupción mayor poco documentada
1569	Erupción poco documentada
1613	Erupción poco documentada
1630	Erupción poco documentada

Cuadro 5. Cronología del Pico de Orizaba. Fuente: CENAPRED-Secretaría de Gobernación.

habían recibido "señal" alguna de "Gregorio", como le llaman al Popocatepetl, que ameritara la evacuación de los poblados más cercanos (entrevista realizada por M. Ramos, en diciembre de 1994). Poco des-

pues de la evacuación de los habitantes de varias comunidades y de su regreso ante la disminución del riesgo, la historia les dio la razón. Esto no significa que los científicos se hayan equivocado, ni que no deba evacuarse a la población en caso de peligro, sino que, por un lado, la población que a diario convive con el volcán está acostumbrada a su actividad y considera conocerlo mejor que nadie. Por otro, el conocimiento tradicional que han acumulado los Tiempes no deberá dejarse de lado, porque puede contribuir a entender el comportamiento del volcán. Recordemos las afirmaciones de Bullard, por ejemplo, o las predicciones

Fecha	Tipo de erupción
C. 470 a. c.	Nace de una fisura en el campo volcánico monogenético de la sierra de Chichinautzin. Emite abundante ceniza. Emite abundante lava que forma el Pedregal de San Ángel.

Cuadro 6. Cronología del volcán Xitle.

Fuente: CENAPRED-Secretaría de Gobernación.

fallidas de erupción volcánica en California, por parte de los expertos en vulcanología de Estados Unidos, que provocaron pérdidas millonarias a los prestadores de servicios. En cambio, en el caso del volcán Pinatubo, en Filipinas, una predicción acertada salvó muchas vidas y recursos materiales al evacuar a tiempo la base aérea norteamericana. En síntesis, se estará más cerca de conocer, predecir y prevenir la actividad del volcán Popocatepetl si se aprovecha tanto el aporte de la ciencia moderna, como la sabiduría tradicional indígena.

BIBLIOGRAFÍA

Bullard, F. M., *Volcanoes in the Earth*, Texas University Press, 1980.

Centro Nacional de Prevención de Desastres. Secretaría de Gobernación, *Volcanes*, 1995.



Código Huamantla, Gob. Edo. de Puebla, 1992.

Código Telleriano Remensis, *Antigüedades de México*, SHCP, 1964.

Código Vaticano Ríos, *Antigüedades de México*, Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 1964.

Corona Núñez, J., "Estudio e interpretación a los Códices Telleriano Remensis y Vaticano Ríos", *Antigüedades de México*, Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 1964.

Chimalpahin Guauhtlehuantzin, Francisco de San Antón Muñón, Relaciones originales de Chalco Amaquemecan, paleografiados y traducidos del náhuatl por Silvia Rendón, Fondo de Cultura Económica, 1965.

El Universal Puebla, "Las erupciones del Popocatepetl", 22-XII-1994.

El Universal Puebla, "Plan contra contingencias coordina la SEP", 22-I-1995.

Frias, H., "Corazón de lumbre y Alma de Nieve", recopiló la leyenda azteca, revista *Bulevar*, N° 52, VI, VII-1996.

Glockner, J., "Los volcanes en los sueños del 'Tiempo'", Primer Coloquio sobre Puebla, Memoria, Gobierno del estado de Puebla, 1991.

Ramos, M., "En peligro, perder su patrimonio", entrevista a Julio Glockner, revista *Página Regional*, XII-1994.

Rivera, A., "La doble historia: el hombre y el volcán", Primer Coloquio sobre Puebla, Memoria, Gobierno del estado de Puebla, 1991.

(Manlio Barbosa Cano es profesor de la Escuela de Antropología de la BUAP.)

Escala de intensidad del temblor	Calendario indígena	Correlación occidental
2	Chicome Tecpatl (7 pedernal)	1459
1	Ome Tecpatl (2 pedernal)	1467
1	Ce Tecpatl (1 pedernal)	1479
1	Yei Acatl (3 caña)	1494
4	Yei Tecpatl (3 pedernal)	1507
2	Chicome Tecpatl (7 pedernal)	1511
2	Matlactli Ome Tochtli (12 conejo)	1530
2	Ome Calli (2 casa)	1533
2	Chicuase Calli (6 casa)	1538
5	Matlactliom Ce Tochtli (11 conejo)	1542

Cuadro 7. Cronología sísmica del Valle de México. Fuente: Código Vaticano Ríos.

Escala de intensidad del temblor	Calendario indígena	Correlación occidental
2	Chicome Tecpatl (7 pedernal)	1460
2	Nahui Tochtli (9 conejo)	1462
1	Ome Tecpatl (2 pedernal)	1468
1	Ce Tecpatl (1 pedernal)	1480
2	Yei Acatl (3 caña)	1495
4	Ome Acatl (2 caña)	1507
3	Chicuei Calli (8 casa)	1513
2	Matlactli Ome Tochtli (12 conejo)	1530
2	Yei Tochtli (3 conejo)	1534
2	Chicuase Calli (6 casa)	1537
6	Matlactliom Ce Tochtli (11 conejo)	1542

Cuadro 8. Cronología sísmica del Valle de México. Fuente: Código Telleriano Remensis.



los misioneros del temporal



En septiembre del año 1997, durante la celebración del Encuentro Nacional sobre Legislación y Derechos Religiosos de los Pueblos Indígenas, organizado por el Instituto Nacional Indigenista (INI) en la ciudad de Chetumal, escuché la intervención de un campesino de Morelos, miembro de una congregación denominada Los Misioneros del Temporal. Al terminar la sesión hablé con él y me invitó a visitarlo en su pueblo, en las faldas del volcán Popocatepetl. Tres meses después tuve oportunidad de presenciar una ceremonia de agradecimiento a los volcanes, los cerros y los mares, por las lluvias enviadas aquel año. Al terminar la ceremonia, mientras comíamos, les propuse publicar en este número de la revista Elementos el texto de su participación como pedidores de lluvia leído en Chetumal. Todos estuvieron de acuerdo pero quisieron añadir algunas otras ideas que apunté apresuradamente en mi libreta. El siguiente texto es, entonces, la ponencia del Encuentro Nacional con las adiciones que se hicieron en aquella ocasión.

Julio Glockner

La tradición de los pedimentos de agua en los lugares sagrados de Morelos es una de las costumbres que se remonta a la historia antigua.

Cuentan nuestros mayores que hace más de ochenta años se juntaban hasta más de cien personas para hacer los pedimentos de lluvia. Nos platican que llegaban de diferentes pueblos de Morelos, de Puebla, del Valle de México...

Venían de estas comunidades a invitar a los pedidores de lluvia del oriente de Morelos para que hicieran llover allá donde escaseaba el temporal.

Los pedidores de lluvia, los de antes y los de ahora, por ser humildes hemos sido humillados por algunos que no creen en nosotros ni en nuestras oraciones. Nuestros mayores nos platican, afortunadamente, que casi siempre el día que habían hecho el pedimento de lluvia, en la tarde caía el agua. Entonces las personas que no creían les ofrecían dinero en agradecimiento, pero el guía no lo aceptaba, decía que ese dinero se dedicara mejor a poner más "espíritus" para el Calvario, o sea más Maderos o Cruces en los lugares sagrados, para que otros seguidores nuestros los sigan cultivando después.

Para nosotros las procesiones y pedimentos, así como los lugares sagrados, son ejemplo de nuestros mayores y costumbres que hemos heredado para el bien de todos nosotros y de la nación, dándonos el pan de cada día, derramando bendiciones de arriba como son lluvia sobre lluvia. Por eso nosotros estamos preocupados por la destrucción de los bosques, por la tala de tanto árbol, por la falta de respeto con que viene la gente al volcán, a tirar basura, a ensuciar los ríos. Está bien aprovechar la made-

ra, pero se necesita reforestar todo alrededor del volcán, todo el monte tiene que ser protegido. Queremos que el mismo gobierno tome la precaución y lo proteja de que no lo tome otro gobierno, que el mismo gobierno de México lo cuide para la riqueza de toda la nación, y principalmente el Divino Rostro del Popocatepetl, porque él da el mantenimiento de toda la gente, es el primer lugar donde Dios nos ha concedido las lluvias a nivel mundial, por eso ahí los Misioneros del Temporal tienen sus creencias y sus costumbres.

Nuestros pedimentos a Dios se han visto perturbados porque no se han respetado los lugares sagrados. Algunos van a hacer cosas que no deben: descomponen las cruces, las tiran, las amarran cruzadas para hacer males, como estancar o desviar el temporal, o hacer caer tormentas peligrosas, como granizo o agua con viento. Nosotros trabajamos para el bien de la gente. Eso es lo que queremos, para que haya agua para todos, no nomás para unos cuantos, sino que el beneficio sea para todos, porque todos somos hijos de Dios. Pero hay gente que no tiene respeto de nada.

También con los deslindes hechos recientemente por el Programa de certificación parcelaria, se han afectado algunos lugares sagrados, pues no se consideró en dichos deslindes las costumbres de los Pedidores del Temporal que hacen oraciones y piden agua en estos lugares. Algunos aprovecharon la ocasión para ampliar sus terrenos, afectando también estos santos lugares. Esto ha creado conflictos por el uso de los lugares sagrados, ya que para nosotros y para todos es muy importante hacer las peticiones en estos lugares, y los dueños o poseedores del predio donde se

encuentran nos quieren impedir el paso a ellos.

Por eso los Misioneros del Temporal solicitamos que se protejan los lugares sagrados, que se utilicen sólo para pedimentos, ya que sabemos que se han utilizado para otros fines. Por esto es que proponemos que en este problema se tomen en cuenta dos cosas: la costumbre con su territorio y el mal uso que se hace. Por estos motivos proponemos que:

a) Para la defensa y respeto de lugares sagrados se haga una ley exclusiva y una ampliación del Artículo 4to. constitucional que considere lo que hemos expuesto.

b) Que los lugares sagrados sean exclusivos para el uso que desde siempre se les ha dado y se sancionen las prácticas que van en contra del temporal.

c) Que se declaren tierras de uso común, exclusivo para que los Pedidores de lluvia hagan sus oraciones, o que se estudie una forma de tenencia que garantice el uso de los lugares sagrados como tales.

En resumen, que se legisle en dos aspectos:

1) El respeto al espacio físico donde se encuentran los lugares sagrados y el respeto a las ceremonias que ahí se realizan.

2) Que a nivel nacional se haga un estudio sobre lugares sagrados, se establezcan los puntos comunes y sobre eso se legisle.*

* Las demandas de los campesinos de Morelos se sumaron a las de los huicholes, mazatecos, mayos, coras, nahuas, otomíes, mayas, seris, choles, tzeltales, yaquis y otros representantes de comunidades indígenas de veintidós estados de la República que enviarán sus propuestas al Congreso de la Unión.



el sueño y el sismógrafo

Julio Glockner

*A Clara, Rafael, Clarita, Michelle y Luz, con
gratitud por la cálida hospitalidad y las
agradables horas de tequilerapia.*

*No existir Dios
es un Dios también.*

Fernando Pessoa



El volcán Popocatepetl ha sido objeto de culto desde épocas remotas, tanto que la arqueología permite hablar de rituales milenarios efectuados en sus laderas a una altura próxima o que rebasa los cuatro mil metros de altura. Las excavaciones llevadas a cabo por Désiré Charnay el siglo pasado, por José Luis Lorenzo a mediados de este siglo y por Arturo Montero y Stanislaw Iwanizewski en años recientes, han revelado la existencia de cerámica elaborada durante el postclásico tardío. Entre los centenares de piezas desenterradas sobresalen los recipientes con la efigie de Tláloc, compleja deidad del agua, la tierra, los montes y el rayo. Estos hallazgos se han realizado tanto en el Popocatepetl como en la cadena volcánica contigua llamada Iztaccihuatl. Ambos volcanes integran las alturas más sobresalientes de la Sierra Nevada (5,452 y 5,286 msnm, respectivamente) que comprende también otras formaciones volcánicas menores como el Papayo, el Telapón y el Tláloc. Este último tuvo una importancia ritual fundamental durante el periodo que antecedió a la llegada de los españoles.

En la actualidad se siguen llevando a cabo ceremonias propiciatorias de la lluvia en el Popocatepetl, la Iztaccihuatl y el monte Tláloc. Obviamente se trata de ceremonias sincretizadas con la religión cristiana y el santoral católico, pero en las que persisten fuertes rasgos de las creencias y costumbres rituales mesoamericanas. Estas ceremonias tienen dos elementos fundamentales que me interesa resaltar para los fines de esta exposición: el primero consiste en que un rayo debe caer en el cuerpo de una persona, o a una distancia lo suficientemente cercana como para que no quepa ninguna duda de que estaba dirigido a ella. Este suceso es interpretado desde la memoria colectiva de la región como un señal del cielo, en el sentido de que la persona golpeada por el rayo deberá dedicar su vida a trabajar mágicamente con el temporal. El segundo elemento es el sueño concebido como revelación. La persona golpeada por el rayo, al haber sido "elegida" o

"endonada" desde el cielo, es decir, al haber establecido ya un primer vínculo con los poderes celestiales, tendrá la posibilidad de mantener este vínculo mediante una relación onírica. En estos sueños los tiempers, quiapequis o graniceros, recibirán mensajes e indicaciones sobre cómo curar a las personas de ciertas enfermedades y cómo efectuar los ritos que permiten regular el clima.

He mencionado todo esto con el fin de poder contextualizar, aunque sea mínimamente, las respuestas que los campesinos de la región han tenido ante el incremento en la actividad del volcán Popocatepetl.

Desde el mes de diciembre de 1994, cuando comenzaron a emanar gruesas columnas de vapor y ceniza desde el cráter, cubriendo de gris el cielo, los campos y las calles de pueblos y ciudades, hubo una transformación en las ideas que se tenían del volcán. Las espesas fumarolas que se elevan en el cielo modificaron, de la noche a la mañana, un apacible paisaje de montañas nevadas, en la posibilidad de un grave peligro latente en las entrañas de un volcán activo. La repetición esporádica de este magnífico acto de ceniza y vapor ha dado lugar a las más diversas interpretaciones, mismas que pueden ser divididas en dos campos:

a) Por un lado, el sentido común urbano, cuya lógica se encuentra ordenada por ciertas nociones y razonamientos de tipo científico.

b) Por otra parte, el sentido común rural, cuya lógica se ordena según ciertas nociones y razonamientos de tipo mítico y religioso.

Durante las semanas que siguieron a la primera gran emanación de ceniza, ambos conjuntos de ideas generaron, cada uno por su cuenta, una representación del riesgo volcánico y una actitud consecuente con

su concepción de la vulnerabilidad. Fue así como se organizaron misas, procesiones, ofrendas, rogaciones individuales y colectivas, preferentemente en el medio rural, mientras en las ciudades se organizaban reuniones de científicos y funcionarios, congresos de especialistas, ruedas de prensa, artículos y reportajes periodísticos.

En ambos casos, muchas de las ideas expuestas al interpretar el riesgo que el volcán implica, no son simples opiniones que puedan modificarse añadiendo más información o depurando la que ya existe, es decir, no se trata de simples ideas que se tienen, sino de ideas que constituyen a las personas y las hacen ser lo que son. Ortega y Gasset hizo una útil distinción entre las "creencias que tenemos" (que pueden ser intercambiables por otras más convincentes) y las "creencias que somos", que constituyen nuestro ser social. Entre estas últimas se encuentran las creencias más profundas que nos proporcionan una visión específica del mundo.

La idea en torno a lo que un volcán es, la idea del riesgo que significa vivir a su lado y la actitud que se tiene para enfrentar ese riesgo, si es que se lo reconoce como tal, no han sido iguales en el campo que en la ciudad. Las fumarolas del volcán Popocatepetl han vuelto a poner, a la vista de todo aquél que quiera verlo, la vieja dicotomía entre modernidad y tradición, dicotomía que tiene como trasfondo la polaridad entre lo profano y lo sagrado.

Mientras que un individuo común de la ciudad piensa que un volcán es un "fenómeno natural", es decir, un cono de tie-

rra formado a partir de una grieta por la que han subido y pueden seguir subiendo gases y materiales muy calientes, y mientras su sentido común (influido por la escuela, la fotografía y el cine), le indica que se debe estar muy alerta ante la activación de un volcán cercano, un individuo común del campo piensa que un volcán fue plantado en la tierra por Dios en los tiempos primigenios, que su interior puede calentarse "como una olla de frijoles" y que sólo Dios tiene el poder para decidir si ese volcán le hará o no daño a los hombres.

Consideremos como modelo del hombre urbano para este caso, a un individuo con una formación universitaria en el campo de la geología y la vulcanología, frente a él, como modelo del hombre rural, a un chamán campesino, conocido como tiemperso, que se ha especializado, al haber recibido poderes del cielo, en el manejo mágico del clima. El volcán Popocatepetl entra de pronto en actividad, ante el cubículo



repleto de libros de uno y la milpa sembrada con maíz del otro. ¿Cómo se representa cada uno de ellos esta actividad?

a) El científico sabe, no sólo porque su ambiente cultural le proporcionó ciertas nociones, sino porque se especializó en estos estudios, que nuestro planeta está formado por varias capas, como una cebolla, en cuyo centro se encuentra un núcleo interno y otro externo que lo cubre, que a su vez ambos están cubiertos por una tercera capa llamada manto, que tiene una parte blanda y otra rígida, y que esta última, junto con la corteza terrestre forman la litosfera. Sabe también que la litósfera se mueve lentamente sobre la parte blanda del manto y que está fragmentada en enormes porciones terrestres llamadas placas tectónicas. Cuando un volcán hace erupción, este científico tiene la idea de que se debe a que las placas tectónicas se rozan y chocan entre sí y que estos impactos derriten las rocas produciendo el magma, que cada cierto tiempo sale expulsado a la superficie de la tierra por los cráteres volcánicos provocando una erupción. El vulcanólogo conoce los límites de su disciplina y sabe que la ciencia no está en condiciones de predecir, con exactitud, un incremento en la actividad del volcán que pondría en peligro a la población.

b) El tiempiero sabe, no sólo porque su ambiente cultural le proporcionó también ciertas nociones, sino porque él ha sido golpeado por el rayo y ha tenido revelaciones en sueños, que la tierra fue hecha por Dios y los volcanes fueron plantados por Él en el lugar que actualmente ocupan. Así lo dicen la biblia, la tradición oral y los mitos nahuas de origen de la región. Pero él también sabe, no sólo porque la memoria colectiva lo indica, sino porque lo ha experimentado intensamente durante su iniciación chamánica, que el mundo está habitado por poderes invisibles

que sólo se revelan ante ciertas personas señaladas desde el Cielo en ciertas circunstancias. Durante estas revelaciones, el volcán personificado en un anciano les ha manifestado que nada grave sucederá por el momento, que sólo cuando el Padre Eterno se lo mande, él podría provocar una erupción de mayor peligro.

Aquí hay una diferencia radical, no sólo en cuanto a las causas de las emanaciones de lava y ceniza, sino en cuanto a la apreciación del riesgo ante un eventual incremento en la actividad del volcán:

a) Para muchos campesinos se trata de un asunto imprevisible de carácter trascendente: la voluntad del Padre Eterno.

b) Para los vulcanólogos, las autoridades de protección civil y la gente de la ciudad, se trata de un asunto inmanente a la naturaleza cuya predicción es posible alcanzar mediante un equipo técnico adecuado.

Las experiencias y las convicciones de unos resultan incomprensibles y absurdas para los otros: la insensatez que un geólogo podría ver en los sueños del tiempiero como método para evaluar la posibilidad de una explosión volcánica de alto riesgo, es proporcional a la insensatez que un tiempiero atribuye a los conocimientos y aparatos con los que se pretende predecir y calcular el peligro de esta explosión. Es decir, lo que para uno, el geólogo, es mera fantasía cuando piensa en los sueños como revelación, para el otro, el tiempiero, la técnica científica no es sino un juego pretencioso con el que se intenta inútilmente tomarle el pulso a Dios.

En ambos casos existe un amplio espectro cultural que proporciona certidumbres, pero en ambos casos también aparece un elemento de inseguridad que proviene de la ausencia ineludible de información.

Nosotros, como pertenecientes a la cul-

tura del científico, desde luego consideramos que es él quien tiene razón, porque consideramos que su interpretación de las causas que motivan una erupción es objetiva, mientras que la del tiempiero es subjetiva, debido a que proviene de creencias y de sueños. Pero cualquier campesino de la región que comparta la concepción del mundo del tiempiero, considerará también que es él quien tiene la razón, puesto que su saber proviene del Cielo por medio de revelaciones. Es obvio que en la mente de este campesino nuestra distinción entre objetividad y subjetividad no tiene sentido, es una pregunta fuera de lugar.

Pero es que la realidad objetiva es independiente de nosotros, de nuestra conciencia, diríamos nosotros.

Pero es que no hay realidad que escape a la voluntad divina, diría un campesino, recordando que "ni la hoja de un árbol se mueve sin la voluntad de Dios".

¡Pobres de ellos, que piensen lo que quieran, yo sé que tengo la razón!, decimos nosotros y ellos simultáneamente. Y es que considerando los fundamentos culturales de ambas perspectivas, advertimos que no estamos ante un contraste entre verdad y mentira, sino ante una situación en la que, como decía Pascal, lo contrario de una verdad profunda no es un error sino una verdad contraria.

Lo que esta encrucijada nos muestra es el cruce de dos imaginarios colectivos, cuyo contenido proviene de dos flujos históricos que en México y en otras partes han conformado un complejo proceso de aculturación que evidentemente no culminará en un futuro próximo, si es que tal culminación tiene posibilidades de producirse algún día. Esta encrucijada nos revela la gravedad de una circunstancia en la que dos discursos se cruzan, ignorándose mutua-

mente como consecuencia de la falta de un imaginario común. La situación es grave porque la actitud de prevención ante el riesgo volcánico promovida desde la ciudad se topa con una actitud de resignación predominante en el campo.

Esta polaridad entre prevención y resignación se debe, como he intentado mostrarlo, a una profunda diferencia en la concepción del mundo: la prevención corresponde a una concepción "geocéntrica" en la cual el hombre es, hasta cierto punto, dueño de su destino y libre para decidir sobre su propia vida; la resignación, en cambio, corresponde a una concepción "teocéntrica", en la cual es la voluntad de Dios quien decide el destino del hombre. Nosotros, como sujetos que piensan el mundo desde la moderna racionalidad occidental, creemos en el desplazamiento de las placas tectónicas y confiamos en el conocimiento que nos describe y explica sus consecuencias. Estos razonamientos nos indisponen intelectualmente para creer que las erupciones se deben a la voluntad de Dios y, en consecuencia, no estamos dispuestos a comprender el conocimiento campesino que se presenta ante nosotros como una posible interpretación de dicha voluntad divina. Sólo creemos en las proposiciones fácticas en las que intervienen objetos que reconocemos como reales.

Si algo se quiere lograr en materia de prevención, es indispensable abrirse a la comprensión de la idea que concibe la voluntad de Dios, no para compartirla, sino para entenderla y abrir con ella un espacio de interlocución. Si se renuncia a esta disposición comprensiva se cancelará definitivamente la posibilidad de desplegar una efectiva labor de prevención. Es la única puerta de acceso profundo a una interlocución con la mentalidad campesina y se debe tener mucho cuidado en no clausurarla.

Recientemente el antropólogo Clifford Geerts, tomando en préstamo algunas categorías del psicoanálisis moderno, hizo una distinción entre lo que llamó "concepto de experiencia próxima" y "concepto de experiencia distante". El primero se refiere a los conceptos que se emplean naturalmente y sin esfuerzo alguno para definir lo que el individuo y sus semejantes ven, sienten y piensan. Es en el ámbito mental de estos conceptos de experiencia próxima donde los campesinos de la región de los volcanes han creado una representación, "suya" del riesgo volcánico. La idea de la ausencia de éste que tiene la gran mayoría de la gente del campo se basa en su experiencia cotidiana y en la tradición oral que les habla de acontecimientos semejantes en el pasado y en los que no se tuvo peligro alguno. Los conceptos de experiencia distante, en cambio, son aquellos que los especialistas utilizan para llevar a cabo sus propósitos.

De este modo, decir que el volcán "está echando más humo que de costumbre" y creer que no pasa nada, que sólo está "haciendo su trabajo", como dicen los campesinos, pues por eso se llama Popocatepetl, o creer que lo hace como una advertencia a los hombres por las faltas que han cometido, es concebir el riesgo volcánico sirviéndose de una conceptualización doméstico-regional. En cambio, desde la perspectiva local de los pueblos, oír decir que ha habido modificaciones sustanciales en el estado termodinámico del volcán, lo que ha provocado emisiones fumarólicas solfataras, y continuar así, con una explicación geológica sobre las causas que motivaron este fenómeno, es expresarse en términos conceptuales de experiencia distante, absolutamente inapropiados, a mi juicio, para entenderse con los protagonistas de este

asunto que son los miles de campesinos que habitan en las faldas del volcán.

La diferencia, por supuesto, no es sólo terminológica, sino que descansa en visiones del mundo radicalmente distintas. Además, los conceptos de experiencia próxima de los campesinos son, a su vez, conceptos de experiencia distante para los geólogos, los funcionarios de protección civil y para la inmensa mayoría de la gente que habita en la ciudad.

México es un país en el que las comunidades indias y los pueblos campesinos que conservan antiguas tradiciones indígenas viven una dimensión espacio-temporal radicalmente distinta a la de las modernas sociedades urbanas. De mil maneras podemos percibir y referirnos a esta disparidad que siempre estaremos contrastando tradición con modernidad.

Para los habitantes de la ciudad los volcanes son un paisaje cotidiano y la relación con ellos es exclusivamente visual. El atributo primordial que se les reconoce es su belleza alzada en el horizonte, de este modo el vínculo que se establece con sus bosques, arenales y cimas nevadas, es puramente contemplativo e imaginario. Los campesinos que habitan en sus faldas, en cambio, mantienen con ellos una relación corporal que comprende no sólo todos sus sentidos orgánicos, sino el sentido mismo de su existencia individual y colectiva. Las labores agrícolas y el pastoreo, la recolección de hongos, plantas comestibles y medicinales, la caza, la obtención de agua, piedra, jaltete, leña, madera y carbón, no sólo actualizan una relación cuerpo a cuerpo entre los volcanes y los hombres, mediada por una técnica más o menos rústica, sino que en esta relación se ha sustentado, a lo largo de los siglos, un vínculo de carácter mágico-religioso entre ellos. Todas



estas actividades se despliegan en lugares íntimamente entrelazados, de tal modo que la noción de familiaridad con estos espacios no se ve afectada por las distancias que los separan. Entre la milpa y la barranca, el huerto y el bosque, el arroyo y el pastizal de alta montaña existe un vínculo múltiple que los familiariza con la casa y su solar, con el pueblo y sus calles que en unos cuantos metros se convierten en veredas que conducen a los campos cultivados y al monte. Lo medular en este vínculo es, por supuesto, el sustento material de las familias. El maíz que fue cultivado a una hora de camino ahora está puesto en la mesa, junto a un plato de frijoles cocinados en un fogón que fue encendido con leña acarreada del bosque, esta circunstancia, tan simple, implica mantener una

relación de sobrevivencia con el mundo natural, circunstancia absolutamente ajena para la gente de la ciudad. En este vínculo elemental y primigenio se fundamenta la relación sacra que los campesinos mantienen con los volcanes. Los campesinos saben y hacen saber que su sustento no se debe únicamente a su trabajo, sino que primordialmente proviene de la generosidad de la tierra, de la abundancia de la lluvia y ambas de la voluntad de Dios, de manera que las condiciones que hacen posible su mantenimiento se atribuyen no sólo a la naturaleza en cuanto tal sino a los seres que la habitan y a la voluntad divina que la gobierna. Entonces, entre los espacios en donde se despliega la actividad humana se encuentran también los lugares sagrados, que no se limitan a las iglesias, capillas y

altares familiares que existen en los pueblos, sino que aparecen en lugares apartados, generalmente en cuevas, cascadas, manantiales, hondonadas y otros parajes, en algunos casos muy distantes de los terrenos de siembra y pastoreo, en alturas donde sólo el silencio y un intenso frío acompañan a quien los frecuenta.

El hombre que cultiva la tierra ha experimentado siempre, en su relación con la naturaleza, la regularidad, la alternancia periódica y el ritmo de sus ciclos, pero también su discontinuidad y sus aspectos azarosos, estos últimos vinculados por lo general con la llegada de la temporada de lluvias, su intensidad y su duración. Para atender a la regularidad de los ciclos los hombres ejecutan un trabajo, pero nada les asegura, desde el más remoto pasado has-

ta la actualidad, que el trabajo desempeñado fructificará y podrá ser aprovechado. Una de las formas empleadas para encarar esta incertidumbre es la magia, que no es sino un dispositivo, más o menos sofisticado, para enfrentar el azar. Tanto los antiguos como los actuales agricultores se han valido, simultáneamente, de una relación técnico-instrumental con la naturaleza mediante el trabajo y de una relación simbólica con ella a través de rituales mágico-religiosos. Esta relación simbólica implica la intuición y el reconocimiento de una relación de dependencia y reciprocidad con la naturaleza, entendida como algo superior a los hombres mismos, al tiempo que expresa el deseo de entablar relaciones con esa misteriosa potencia que reside en ella y que hace posible la vida. En una palabra, lo que la relación simbólica nos revela es que, en la perspectiva de la tradición campesina, lo sagrado reside en la naturaleza de la realidad misma, pues esta realidad es obra de Dios y en ella se manifiesta su voluntad.

La sustancia de esta relación simbólica es la tradición, es decir, dar la integridad del pasado en la integridad de una costumbre presente. Digo integridad no en un sentido de pureza intemporal y ahistórica, lo cual es absurdo e irreal, sino integridad en tanto que acto completo. Pero ¿en qué consiste la integridad de la tradición, en qué reside aquello que le otorga su completud, su sentido y su coherencia? reside en lo sagrado. Éste es justamente el punto en que se bifurcan la modernidad y la tradición. Siguiendo las reflexiones que sobre la tradición y lo sagrado ha hecho Seyyed Hossein, quisiera decir que en el mundo moderno, desacralizado, de las ciudades occidentales contemporáneas, lo sagrado ha sido considerado como un exotismo, como lo totalmente otro, como una radical

otredad opuesta a la perspectiva del mundo profano. Es en este punto, justamente, donde nace la incompreensión, desde la ciudad, hacia la concepción que los campesinos tienen del volcán.

A raíz de las emanaciones de ceniza del volcán, los sueños han sido también un conducto mediante el cual los tiemporos han escuchado las palabras del Popocatepetl diciendo que no deben preocuparse, que aunque llegará el día en que él y la Iztaccihuatl habrán de "levantarse", eso lo decidirá Dios Padre, y será el día en que Cristo regrese.

Este mensaje apocalíptico, que tiene muchas variantes en la región, coexiste con otras versiones sobre las causas que motivan la actual erupción del volcán. Yo diría que son cuatro los tipos de explicación que los campesinos se dan a sí mismos respecto a un posible peligro proveniente del volcán:

1) En primer término aparecen las explicaciones de tipo trascendental, en las que los eventos volcánicos son atribuidos a la voluntad de Dios Padre. Esta explicación es la más generalizada y existe con diversos grados de intensidad y capacidad de argumentación. De ella puede derivar una interpretación apocalíptica en el sentido de interpretar los fenómenos volcánicos como "una señal", como "un aviso" anticipado del fin de los tiempos.

2) En segundo término están las explicaciones de tipo mítico y mágico, en algunos casos vinculadas con las explicaciones religiosas mencionadas anteriormente. En este caso el volcán es concebido, simultáneamente como un ser natural y sobrenatural; como una entidad material y espiritual a la vez, como una cosa pero también como una fuerza; como una montaña que posee voluntad propia o designada por el Padre Eterno y que es capaz de antropo-

morfizarse y visitar a los hombres elegidos durante el sueño o bien aparecerse "en bullo" ante ellos. En sus últimas apariciones, el volcán personificado ha dejado un mensaje de advertencia e invitación al arrepentimiento ante la vida pecadora en que viven los pueblos, asimismo, les ha hecho saber que no se corre ningún peligro por el momento, que no se deben desalojar los pueblos inútilmente, que ya él avisará cuando sea necesario salir.

3) En tercer lugar (aunque no necesariamente respetando un orden jerárquico, ni excluyente) están las explicaciones que podríamos llamar de tipo inmanente, en las que el volcán es visto como un fenómeno geológico, como algo propio de la tierra, como una montaña que "está caliente por dentro" semejante a una inmensa "olla de frijoles". Dentro de estas explicaciones hay quien tiene alguna noción de tipo científico y dice, por ejemplo, que cuando "los respiraderos del volcán se llegan a tapar, entonces se junta la fuerza del calor que tiene adentro y avienta el chorro con fuerza". Otros campesinos piensan que el hielo y la nieve que se acumula en la parte más alta del cono volcánico le ayuda a enfriarse y por esta razón no existe peligro alguno.

4) Finalmente están las explicaciones en las que se mezcla la concepción mitológica con la fantasía social. En ellas el volcán es concebido como un ser vivo susceptible de ser lastimado tanto corporal como sentimentalmente, de manera que las emanaciones de ceniza que ha lanzado al cielo no son sino una muestra de su inconformidad y enojo con las situaciones de las que ha sido víctima. Las que más se han difundido en la región en los últimos años son las siguientes.

a) El ex presidente Salinas vendió seis volcanes a los japoneses y ellos "quién sabe



que buscan en su interior, perforando y maltratando su cuerpo. Por esta razón el volcán está enojado y ha lanzado humo y ceniza. A esta explicación algunos añaden la venganza del Popocatepetl provocando el terremoto de Kobe, en Japón, que fue visto por los campesinos en los noticieros de la televisión.

b) El volcán sufre también agresiones por parte de los helicópteros y aviones que vuelan encima de él lanzando bombas y "sabrán Dios que otras cosas" en su interior.

c) El volcán se disgustó porque le quemaron los pies quienes incendian los bosques. Atendiendo a esta queja, que se escuchó mucho en enero de 1995, se le llevaron pomadas y cremas como parte de los dones que cada año se le ofrecen.

Volviendo a la distinción entre las creencias que mencioné al principio, quisiera decir, para terminar, que me parece que las dos primeras explicaciones que los campesinos se dan a sí mismos sobre la actividad del volcán, es decir, las de tipo trascendental y mágico-religioso, pertenecen a las "creencias que somos", mientras que los dos últimos tipos de explicación pertenecen a las "creencias que tenemos" y son, por tanto, intercambiables, si la argumentación es lo suficientemente convincente. Me parece que es en este último tipo de creencias donde se debe establecer un contacto sistemático con la población campesina —con información clara y precisa—, para estimular en ella una actitud de prevención ante un eventual incremento en la actividad

del volcán. Sólo que para lograr esto, la gente de la ciudad necesita valorar la coherencia del discurso campesino, pues la incoherencia de un discurso depende del que escucha, ya que el espíritu, como decía Paul Valéry, no parece concebido de manera que pueda ser incoherente consigo mismo.

(Este texto, con modificaciones, fue presentado en el simposio Identidad en el Imaginario Nacional, organizado por el Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma de Puebla en mayo de 1997, y en el 49º Congreso Internacional de Americanistas en el mes de julio del mismo año. Julio Glockner es investigador en el Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades de la UAP.)

...el jefe de tribunas se hizo a un lado

Malcolm Lowry



con la mano puesta sobre su pistolera. Sacó su revólver. Con la mano desocupada hizo señales a los posibles curiosos para que se alejaran. A punto balazo te voy a destripar de pies a cabeza, cabrón pelado –dijo.

–No, en su lugar yo no haría eso –dijo el Cónsul tranquilamente mientras se volvía. Es una Colt 17, ¿verdad? Tira muchas virutas de acero.

El Jefe de Jardineros empujó al Cónsul fuera del alcance de la luz, dio dos pasos adelante y disparó. El relámpago brilló como una oruga geómetra que bajase por el cielo y, tambaleándose, el Cónsul vio por un momento sobre su cabeza la silueta del Popocatepetl empenachado de nieve color esmeralda y bañado de luz. El Jefe volvió a disparar dos veces y las detonaciones fueron espaciadas, deliberadas. El trueno estalló en las montañas y luego muy cerca. Libre ya, el caballo se encabritó; sacudiendo la cabeza, dio media vuelta y relinchando se precipitó en el bosque.

Al principio el Cónsul sintió un extraño alivio. Ahora se percataba de que habían disparado sobre él. Cayó sobre una rodilla y luego, gimiendo, boca abajo, cuan largo era, sobre la hierba. –Dios –observó, perplejo– ¡qué manera de morir!

Una campana proclamó:

...¡Dolente... dolore!

Lloviznaba. Sobre su cabeza rondaban formas que le asían de la mano, tal vez tratando de robarle aún lo que llevaba en los bolsillos, o quizás deseosas de ayudarlo, o simplemente curiosas. Sentía que la vida se le escapaba por la herida como un hígado rebanado, y que se esparcía en la frescura de la hierba. Estaba solo. ¿Dónde estaban todos? ¿O acaso no había ido nadie? Luego un rostro brilló en la penumbra, una máscara compasiva. Era el anciano violinista que se agachaba sobre él. —Compañero... —empezó a decir. Y luego desapareció.

Luego la palabra "pelado" invadió toda su conciencia. Era la palabra con que Hugh describió al ratero, ahora alguien le había lanzado ese mismo insulto. Y fue como si, por un momento, se hubiera convertido en el "pelado", en el ladrón... sí, en el ratero de confusas ideas desprovistas de significado de las que había surgido su rechazo de la vida, el ratero que había llevado dos o tres sombreros, sus disfraces, por encima de estas abstracciones: ahora la más real de todas ellas se hallaba cerca. Pero también, alguien le había llamado "compañero", lo cual era mejor, mucho mejor. Eso lo hacía feliz. Acompañaba a estos pensamientos que iban a la deriva por su mente una música que sólo podía escuchar si oía con atención. ¿Era Mozart, por casualidad? La Siciliana. Final del cuarteto en re menor por Moses. No, era algo fúnebre, tal vez Gluck, de *Alceste*. Sin embargo, había en aquella música algo que recordaba a Bach. ¿Bach? Un clavicémbalo que se oía desde muy lejos, en Inglaterra, en el siglo diecisiete. Inglaterra. Las cuerdas de una guitarra, también, alejándose un poco, se mezclaban al lejano clamor de una cascada y a lo que sonaba como los jadeos del amor.

Estaba en Cachemira, lo sabía, y se hallaba recostado en las praderas cerca de un

arroyo que serpeaba entre violetas y tréboles, el Himalaya allá a lo lejos, por lo que resultaba tanto más sorprendente que estuviese a punto de iniciar el ascenso del Popocatepetl en compañía de Hugh e Yvonne. Ya ellos le llevaban alguna delantera. —¿Puedes cortar bugambilias? —oyó que decía la voz de Hugh, y: —Cuidado —respondió Yvonne—, tiene espinas y debes mirar con cuidado para asegurarte de que no tiene escorpiones. —Nosotros, en México, matamos a los escorpiones —masculló otra voz. Y con esto, desaparecieron Hugh e Yvonne. Sospechaba que no sólo había ascendido al Popocatepetl sino que ahora se encontraban mucho más allá. Solitario, caminaba el Cónsul con dificultad recorriendo afanoso las laderas, en el rumbo de Amecameca. Con gafas ventiladas para nieve, con *alpenstock*, guantes y gorro de lana calado hasta las orejas, con puñados de ciruelas, pasas y nueces, con un frasco lleno de arroz que sobresalía de una de las bolsas de su saco, y la información del Hotel Fausto, que se asomaba por la otra, sentíase abrumado por el peso. No podía seguir adelante. Exhausto, desvalido, se desplomaba. Nadie le ayudaría, aunque pudieran hacerlo. Ahora era él quien quería morir a orillas del camino, en donde ningún buen samaritano se detendría. Aunque resultaba sorprendente que resonara en sus oídos ese estallido de risas, de voces: ¡ah!, al fin lo rescataban. Encontrábase en una ambulancia que aullaba al atravesar por la selva, precipitándose cuesta arriba, dejando atrás los límites de la vegetación, rumbo a la cúspide —y ciertamente era éste un medio de llegar hasta allí— en tanto que aquellas que le rodeaban eran voces amistosas. la de Jacques y la de Vigil harían concesiones, tranquilizarían a Yvonne y a Hugh en cuanto a él se refería. —No se puede vivir sin amar —dirían, lo cual explicaría todo, y lo repitió en voz alta. ¿Cómo pudo

haber juzgado con tanta dureza al mundo, cuando el auxilio estuvo al alcance de la mano todo el tiempo? Y ahora había llegado a la cumbre. ¡Ah, Yvonne, amor mío, perdóname! Potentes manos lo alzaban. Abriendo los ojos, miró hacia abajo esperando hallar a sus pies la espléndida selva, las cumbres, el Pico de Orizaba, la Malinche, el Cofre de Perote, semejantes a aquellas cimas de su vida, conquistadas una tras otra, antes de lograr con éxito este supremo ascenso, si bien de modo poco convencional. Pero no había nada ni cumbres ni vida ni ascenso. Ni tampoco era esta su cúspide, una cúspide exactamente: no tenía sustancia, no tenía bases firmes. También esto, fuera lo que fuese, se desmoronaba, se desplomaba mientras que él caía, caía en el interior del volcán, después de todo debió haberlo ascendido, si bien ahora había este ruido de lava insinuante que crepitaba en sus oídos horribilmente, era una erupción, aunque no, no era el volcán, era el mundo mismo lo que estallaba, estallaba en negros chorros de ciudades lanzadas al espacio, con él, que caía en medio de todo, en el inconcebible estrépito de un millón de tanques, en medio de las llamas en que ardía un millón de cadáveres, caía en un bosque, caía. .

De pronto, gritó y fue como si este grito fuera proyectado de árbol en árbol, como si sus ecos regresasen y, luego, como si los árboles se cerraran sobre su cabeza, apiñados, se cerrasen sobre su cuerpo, compadecidos...

Alguien tiró tras él un perro muerto en la barranca

¿LE GUSTA ESTE JARDÍN QUE ES SUYO?
¡EVITE QUE SUS HIJOS LO DESTRUYAN!

(Este texto corresponde al final del libro de Malcolm Lowry, *Bajo el volcán*, ediciones ERA.)

Elementos es una revista científica y cultural. Es un medio de comunicación entre la comunidad científica y los estudiantes de nivel medio superior y superior, así como el público en general.

Los artículos se someten a la consideración del Consejo Editorial de la revista y son evaluados por especialistas. Deben ser enviados en diskette (preferentemente en formato de PC compatible con IBM, usando los procesadores de texto *Word* o *Word Perfect* y etiquetados con los nombres del archivo y del procesador que se utilizó) acompañados de dos copias impresas a:

Revista Elementos
Dr. Enrique Soto
Universidad Autónoma de Puebla
14 Sur 6301, Ciudad Universitaria
Aparlado Postal 406
Puebla, Pue., 72570
Teléfono: (22) 44 16 57
Fax: (22) 33 45 11
email: elemento@siu.cen.buap.mx

Los manuscritos deben entregarse de la siguiente forma:

1. El material deberá ser presentado utilizando un lenguaje claro y sencillo, evitando el uso de términos técnicos especializados. Cuando éstos sean indispensables, deberá explicarse su significado en una nota. Se recomienda el uso de figuras ilustrativas que permitan sintetizar y aclarar conceptos relevantes. Los artículos deberán ser breves (entre diez y dieciséis cuartillas a doble espacio). Se recomienda usar subtítulos e incisos a fin de facilitar la lectura.

2. Las referencias en el texto se indicarán con un número de acuerdo al orden en que aparecen. Debido al carácter de la revista, deberán incluirse sólo referencias a trabajos fundamentales sobre el tema en cuestión. Al final del texto, la lista de referencias deberá escribirse de acuerdo con los siguientes modelos.

instrucciones para los autores

Artículos en revistas:

Torres Tejeda, A.G. y Baca, B.E., Reacción en cadena de la polimerasa, *Elementos*, No. 23, Vol. 3, 1995, pp. 16-21.

Artículos en libros:

Bunge, M., La bancarrota del dualismo psiconeural, en *La conciencia*, editor Fernández Guardiola, A., Editorial Trillas, México, 1979, pp. 71-84.

Libros:

Chalmers, A.F., *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Editorial Siglo XXI, México, 1989.

3. Las figuras, fotografías o gráficas deberán presentarse, separadas del texto, en papel de buena calidad o elaboradas en computadora y almacenadas en el mismo diskette en el que se entrega el texto, pero en archivos independientes de éste. En este caso son aceptables los formatos TIF, PCX o BMP. Al preparar las figuras deberá tenerse en consideración que comúnmente éstas se reducen de tamaño, por ello la simbología deberá ser clara y diferenciable. Al final del texto se deberán incluir los pies de figura. No deberán incluirse figuras a las que no se haga referencia en el texto, o figuras sin su correspondiente leyenda al pie.

En lo posible se deberá evitar el uso de material gráfico previamente publicado. Sin embargo, cuando ello se considere indispensable, será responsabilidad del autor obtener los permisos necesarios para su reproducción.

4. Deberá especificarse la institución a la que pertenecen los autores, así como domicilio y teléfono del autor responsable