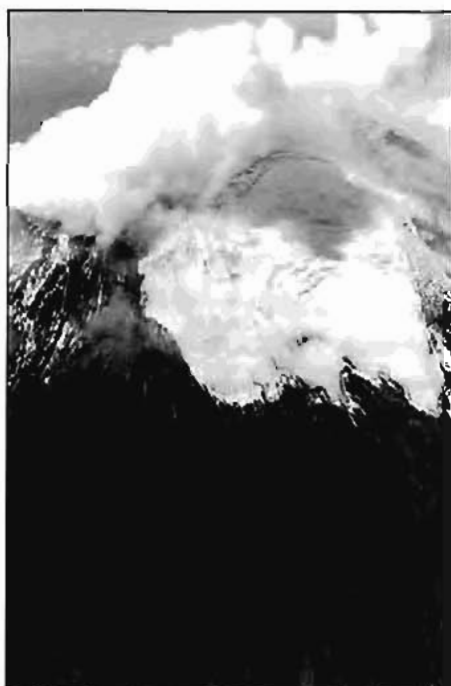


los mensajes del **volcán**

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.

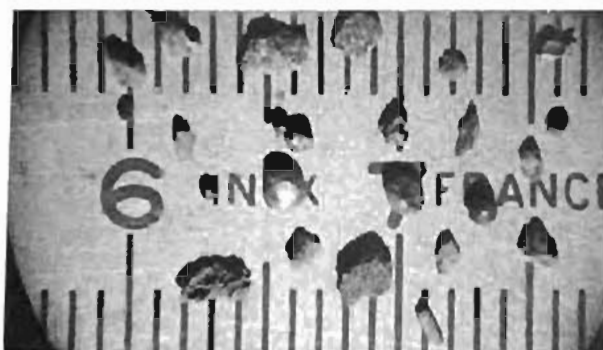


Figura 1. Cristales del Popocatepetl observados con microscopio óptico.

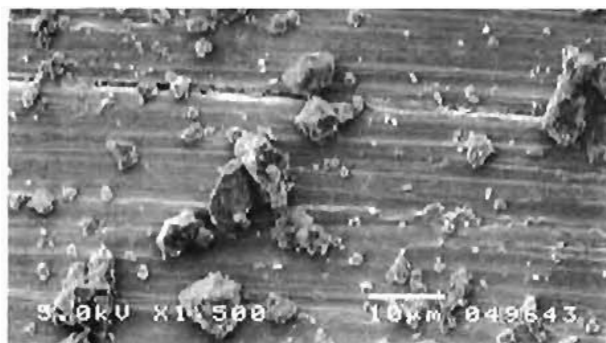


Figura 2. Cristales del Popocatepetl observados con microscopio electrónico de barrido.

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

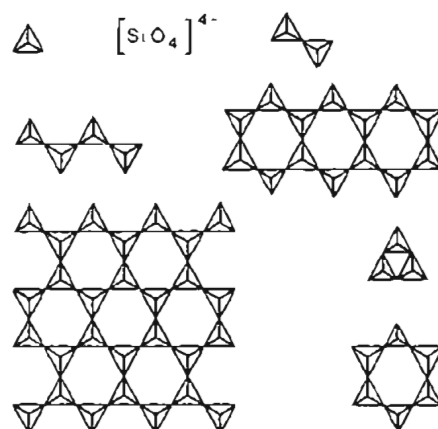


Figura 3. Uniones entre tetraedros en los silicatos.

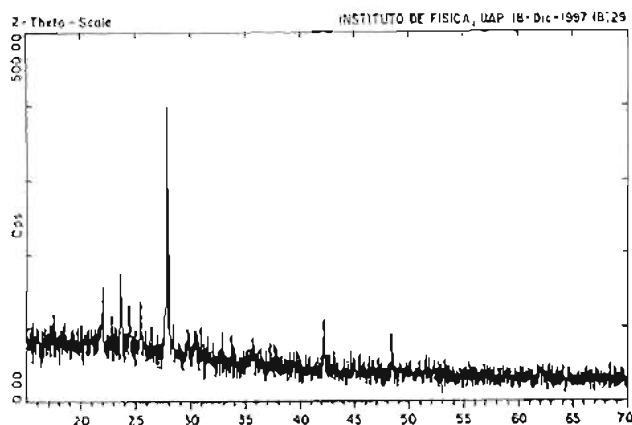


Figura 4. Patrón de difracción de ceniza emitida por el volcán Popocatepetl en mayo de 1997.

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

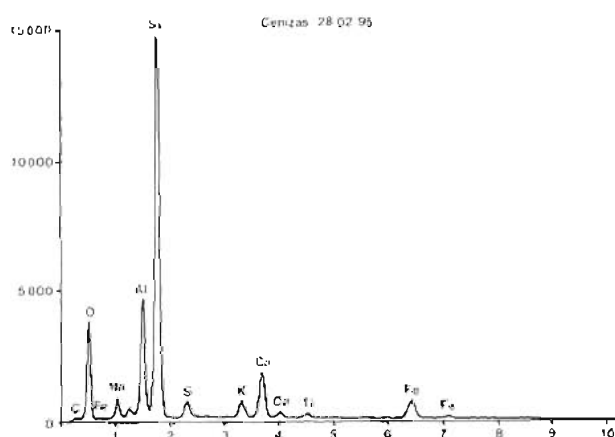


Figura 5. Espectro EDS de microcristales de la ceniza emitida por el volcán Popocatepetl en marzo de 1996.

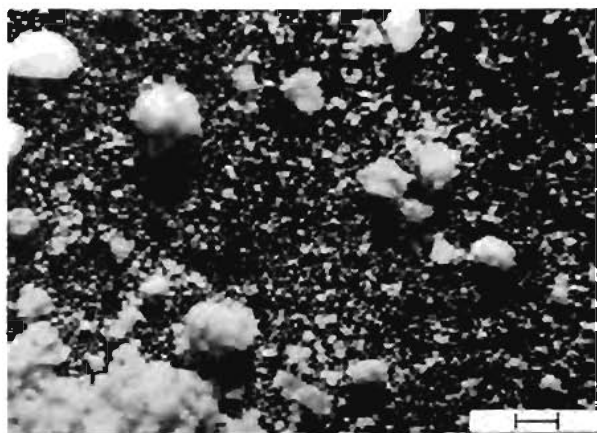


Figura 6. Fotografía de un conjunto de silicatos provenientes de la emisión de ceniza de marzo de 1996. Calibración, 10 micras.

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).