



Capítulo 3

**Contaminación
atmosférica por
emisiones
volcánicas**



Foto cortesía diario El Comercio

Los volcanes son fuentes naturales de contaminación. Una consecuencia de la actividad volcánica es alterar la calidad no solo del aire, sino del suelo y del agua simultáneamente. La presencia de sustancias y elementos tóxicos que se producen en la reacción química de las emisiones volcánicas con los factores ambientales, generan de forma natural la contaminación atmosférica en la zona de impacto.

Este capítulo señala los principales factores de contaminación ambiental causada por las emisiones volcánicas de gases y cenizas, su impacto en la calidad del aire y sus efectos en la salud.

1 Emisiones volcánicas y contaminación

En los lugares expuestos a la amenaza volcánica se debe prestar especial atención a los pronósticos de afectación de la población por alteración de la calidad del aire, con valores altamente tóxicos emitidos por el volcán (gas, ceniza y calor), que dependerán de su concentración, volumen y tiempo en el ambiente.

Por lo tanto, “todos los volcanes liberadores de gases deben ser activamente monitorizados, dado que los incrementos súbitos en el flujo de gas pueden ser un aviso de una nueva y violenta actividad eruptiva. Además, si las concentraciones en el aire en áreas habitadas exceden rápidamente los estándares de calidad del aire para el dióxido de sulfuro (SO₂) establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), las comunidades afectadas pueden necesitar informes sobre las medidas de protección respiratoria o sobre la conveniencia de la evacuación”.⁴⁶

Emisiones volcánicas

Durante una erupción volcánica se emiten a la atmósfera cantidades indeterminadas de gases y ceniza, que son impulsadas a grandes distancias por la onda de energía térmica (calor) y la presión confinada en el magma. Estos productos son depositados temporalmente en la estratósfera y tropósfera, mientras son dispersados por la acción del viento y la lluvia.

Los contaminantes primarios presentes en la emisión volcánica son, entre otros: óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos y partículas.

Gases volcánicos

El gas emitido por un volcán se compone en su mayoría (75% aprox.) por vapor de agua (H₂O), la fracción restante es conformada por dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S), ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF); estos elementos son los productos principales y se caracterizan por ser emisiones ácidas.

En menor proporción, también se puede encontrar metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), nitrógeno (N₂), argón (Ar), helio (He), hidrógeno (H₂) y radón (Rn), los cuales son productos secundarios y su concentración se dispersa fácilmente en la naturaleza. Un riesgo tóxico se presenta con las emisiones inorgánicas de mercurio, que depende del tipo de volcán.

Ceniza volcánica

La ceniza se produce del desmoronamiento de las rocas líticas por la descarga de presión sobre el magma. Su estructura porosa y húmeda le permite absorber gases volátiles solubles

Una erupción volcánica emite a la atmósfera gases y ceniza que son impulsados a grandes distancias. Los contaminantes primarios son: óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos y partículas.

46. Noji, Eric. *Impacto de los desastres en la salud pública*. Organización Panamericana de la Salud. Bogotá, 2000. p.192.

en el agua, presentando mayor riesgo tóxico con el ácido fluorhídrico (HF) al reaccionar el flúor. A su diámetro (10 μm) le favorece estar en suspensión constantemente en la atmósfera y viajar con la dirección del viento. “La ceniza volcánica está compuesta por óxidos, principalmente de sílice, aluminio y hierro (80%), magnesio, calcio, sodio, potasio, plomo; metales pesados como vanadio, cromo, cobalto, níquel y zinc. Se presenta en forma de polvo fino, con alturas de precipitación de 1 a 3 cm (en zona mediana de riesgo) y de 5 a 10 cm (en zona de alto riesgo)”.⁴⁷

Otro elemento significativo de las erupciones volcánicas es la energía térmica (calor) que se emite acompañando el flujo de gases y ceniza. Su mayor impacto se presenta en el aumento de la temperatura en la zona del desastre.

Efectos principales en el ambiente

Se pueden considerar a los siguientes como los impactos con mayor incidencia sobre las zonas afectadas:

- La lluvia ácida;
- El efecto de invernadero;
- El vog (volcanic smog) o humo volcánico;
- El escudo solar.

El vapor de agua aumenta la humedad en la zona afectada y contribuye a la formación de la lluvia

ácida y del vog. El CO_2 es el principal gas de invernadero y ayuda a mantener la temperatura cálida del planeta. Las emisiones de HCl y HF se pueden disolver directamente en el agua contenida en las nubes o con el mismo vapor de agua suministrado, lo cual hace que se precipite en forma de lluvia ácida.

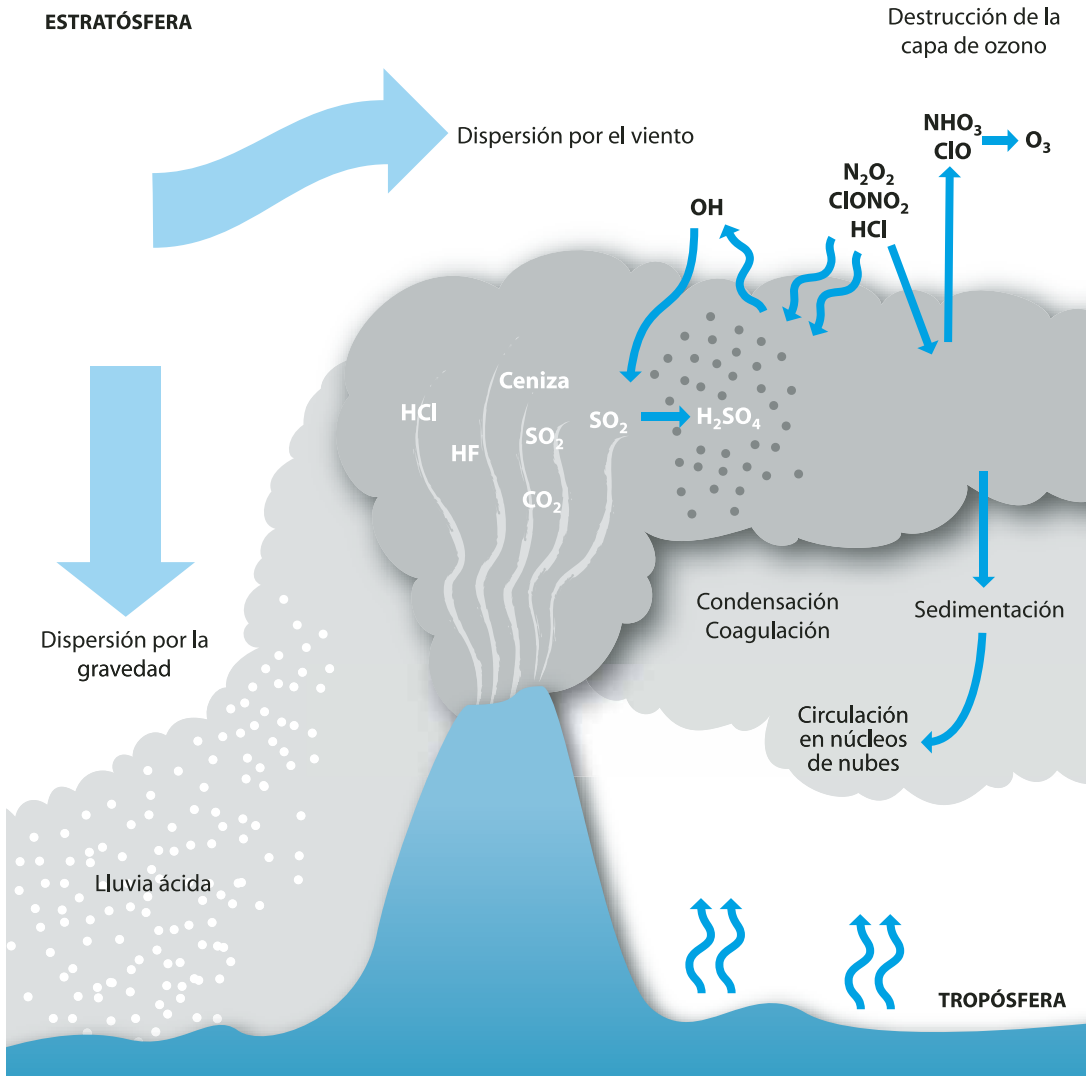
El SO_2 emitido se convierte lentamente en ácido sulfúrico (H_2SO_4), que se condensa en la atmósfera y se precipita en forma de lluvia con partículas muy finas. La concentración de estas partículas origina el llamado aerosol. Cuando éste se forma a partir del azufre se conoce como aerosol de sulfato. Combinado con material particulado (polvo y ceniza), luz solar, oxígeno (O_2) y humedad reacciona recíprocamente formando el humo volcánico también conocido como vog (volcanic smog). La presencia del vog en altas concentraciones forma una densa capa gaseosa conocida como el escudo solar, cuya presencia impide la penetración total de la luz solar sobre la superficie. Este fenómeno genera variaciones climáticas locales y regionales.

Otra consecuencia es la ocurrencia de tormentas eléctricas y fuertes aguaceros, dado que los gases que se emiten durante la crisis volcánica cargan al aire con la valencia de los elementos suspendidos, dejando conducir la electricidad producida en las nubes.

47. Organización Panamericana de la Salud. *Erupciones volcánicas y protección de la salud*. Quito. 2000. pp.24-25.

Alteración atmosférica por emisiones volcánicas

Tomado del informe especial: Volcanismo y cambio climático. Richard Turco. 1992. Adaptado por Diego Silva Garnica.



Los principales efectos de las erupciones volcánicas son: la lluvia ácida, el efecto invernadero, el vog (volcanic smog) o humo volcánico y el escudo solar. El monitoreo de los índices que presenta la calidad del aire, antes y después de la erupción volcánica, servirá para orientar a la población y evitar problemas en la salud.

Índice de la calidad del aire

Se define como un valor representativo de los niveles de contaminación atmosférica y sus efectos en la salud dentro de una región determinada.

El seguimiento y monitoreo del índice de la calidad del aire se deben realizar de manera continua antes, durante y después de la erupción volcánica, mediante la ubicación de puntos estratégicos identificados para la región, teniendo en cuenta las condiciones climáticas y meteorológicas. En consecuencia, en las áreas de riesgo es recomendable instalar equipos de lectura directa para medir las concentraciones ambientales de dióxido de azufre (SO_2) y equipos gravimétricos para determinar las concentraciones del material particulado en suspensión.

2 Efecto de las emisiones volcánicas en la salud

Gases volcánicos

Desde el punto de vista de los efectos en la salud, los gases volcánicos pueden ser clasificados en irritantes y no irritantes.

Irritantes: pueden ejercer sus efectos a mucha menor concentración y a muchos kilómetros del volcán. Su acción irritante la efectúan a nivel del árbol respiratorio y sobre el resto de mucosas con las que entra en contacto, provocando de esta manera ojo rojo, lagrimeo, odinofagia, estornudos, etc.

La afección del tracto aéreo depende del tiempo de exposición, de la concentración del gas en el aire y de la solubilidad acuosa. Así los gases poco solubles penetran con facilidad hasta los alvéolos, provocando tos, bronco espasmo, dolor torácico y fundamentalmente insuficiencia respiratoria por afectación del intercambio gaseoso, es decir, hipoxemia. Estas afecciones son provocadas por la inhalación de las siguientes sustancias:

- “La inhalación de bióxido de azufre (SO_2) provoca constricción del tracto respiratorio y aumenta las resistencias al flujo del aire, por lo que se observan cambios en los patrones normales de la función pulmonar. Se requiere de una dosis pequeña de bióxi-

do de azufre para producir una respuesta biológica, como la irritación e inflamación de las vías respiratorias, las conjuntivas y la piel, además de la exacerbación de enfermedades respiratorias crónicas, que ocurre durante o algún tiempo después de la manifestación”.⁴⁸

- “Sulfuro de hidrógeno (H_2S) en bajas concentraciones puede irritar los ojos y ocasionar depresión. En altas concentraciones irrita el tracto respiratorio superior y, en exposiciones prolongadas, produce edema pulmonar. En una exposición de 30 minutos a 500 partes por millón (ppm) produce dolor de cabeza, excitación, inestabilidad al caminar y diarrea. En algunas ocasiones se puede presentar bronquitis o bronconeumonía.
- Cloruro de hidrógeno (HCl) irrita las membranas mucosas de los ojos y el tracto respiratorio. Para concentraciones por encima de 35 ppm se irrita la garganta después de una exposición corta. Por encima de 100 ppm se produce edema pulmonar y a menudo espasmo laríngeo.
- Fluoruro de hidrógeno (HF), irritante muy fuerte que causa conjuntivitis, irritación en el tracto respiratorio, degeneración de huesos y dientes. En los animales, al ser consu-

Los gases emitidos en una erupción volcánica pueden tener efectos diversos sobre la salud humana y de los animales. Hay gases irritantes que operan sobre el aparato respiratorio y el resto de las mucosas que entran en contacto. Los gases no irritantes están presentes en zonas muy cercanas al volcán, se absorben directamente hacia la sangre y provocan hipoxia tisular por lo que se denominan gases asfixiantes.

48. Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias de México. Revista *Efecto sobre la función pulmonar en personas expuestas a cenizas del volcán Popocatepetl*. Volumen 8, número 2. Abril - junio de 1995. pp.112-118.

mido en el pasto en concentraciones mayores a 250 ppm y con menos de 1 cm de espesor de ceniza, ocasiona su muerte por flúorisis que destruye los huesos”.⁴⁹

No irritantes: la acumulación de los gases asfixiantes o no irritantes en concentraciones letales es más probable en las pendientes de un volcán, dentro de un cráter o cerca de una fisura. Actúan sin provocar lesiones a nivel local, se absorben hacia la sangre y ejercen su efecto a nivel sistémico, interfiriendo fundamentalmente la cadena respiratoria tisular. De esta manera provocan hipoxia tisular, por lo que se denominan gases asfixiantes. Los representantes más importantes de este grupo son los cianuros y el monóxido de carbono. Otro grupo de gases son aquellos cuyo efecto lo ejercen desplazando al oxígeno del aire inspirado: dióxido de carbono, nitrógeno.

El dióxido de carbono (CO₂) es más pesado que el aire y puede acumularse en las áreas bajas, alcanzando eventualmente altas concentraciones que pueden terminar con la vida de personas, animales y plantas. Adicionalmente el CO₂ puede acumularse en las aguas de los lagos crátericos hasta alcanzar grandes concentraciones y ser expulsado violentamente a la atmósfera.

i Desde 1986 el volcán Poas en Costa Rica ha liberado gases a través de un lago-cráter. “Los principales gases en la nube son: dióxido de carbono, dióxido de azufre, ácido sulfhídrico, ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico; pero las epidemias de compromisos respiratorios en las comunidades sobre las faldas del volcán y el daño a los cultivos han sido debidas probablemente a los aerosoles ácidos concentrados que se generan cuando cae el nivel del lago”.⁵⁰

A continuación se presentan las características y fisiopatología de los principales gases emitidos por erupciones volcánicas, tales como ácido sulfhídrico, derivados del flúor y monóxido de carbono, basado en estudios de contaminación industrial.⁵¹

49. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California. <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/what/VolGas/volgas.html>

50. Noji, Eric. *Impacto de los desastres en la salud pública*. Organización Panamericana de la Salud. Bogotá, 2000. p.192.

51. www.united.edu/tratado/c100802.html

Gas: ácido sulfhídrico	
Características	<p>El ácido sulfhídrico (SH₂) es un gas muy tóxico que en concentraciones elevadas en el aire inspirado provoca parálisis del nervio olfativo.</p> <p>Es incoloro, muy irritante, inflamable y con un peso mayor que el aire, por lo que tiende a ocupar las zonas más bajas del lugar donde es liberado. Es mal oliente con un característico olor a huevos podridos. El fuerte olor no ayuda a que las personas sean conscientes de la presencia de este gas.</p>
Fisiopatología	<p>A dosis bajas posee un efecto local irritante sobre la mucosa.</p> <p>Se ha descrito su acción directa sobre el cuerpo carotideo lo cual conduce a una intensa taquipnea, pero también es capaz de actuar sobre el tronco del encéfalo inhibiendo el centro respiratorio lo cual se traduciría en apnea.</p>
Toxicocinética	<p>El SH₂ se absorbe de forma muy rápida por vía inhalatoria casi de forma exclusiva, efectuando a este nivel su efecto irritante, incluso a concentraciones tan bajas como 50 ppm.</p>

Gas: monóxido de carbono	
Características	<p>Es un gas que se caracteriza por ser menos denso que el aire, incoloro, inodoro y sin sabor, que no tiene características irritantes, pues su mecanismo de acción es asfixiante. Ingresa al organismo por vía respiratoria. Se combina con la hemoglobina para formar carboxihemoglobina lo que interfiere en la capacidad del transporte de oxígeno por la sangre y provoca hipoxia tisular presentando mareos, somnolencia, vómito, colapso y muerte.</p>
Fisiopatología	<p>El monóxido de carbono es rápidamente absorbido por los alvéolos, pasando a la sangre donde se une a la hemoglobina. La absorción pulmonar es directamente proporcional a la concentración de CO en el ambiente, al tiempo de exposición, así como a la velocidad de ventilación alveolar que a su vez depende del ejercicio realizado durante el tiempo de exposición.</p> <p>Una vez en la sangre el CO se une con la hemoglobina con una afinidad de 210-270 veces superior a la del oxígeno, formando un compuesto denominado carboxi-hemoglobina. De forma resumida, una vez en contacto con el CO, éste es absorbido hacia la sangre y se une con la hemoglobina desplazando al oxígeno, y, además, el escaso oxígeno transportado es difícilmente cedido a los tejidos para su utilización, provocando todo ello hipoxia.</p>

En las áreas de riesgo es recomendable instalar equipos de lectura directa para medir las concentraciones ambientales de dióxido de azufre y equipos gravimétricos para determinar las concentraciones del material particulado en suspensión.

Gas: derivados del flúor

Características	El ácido fluorhídrico es un gas incoloro, cuya característica principal es la de ser altamente corrosivo en cualquiera de sus formas de presentación.
Fisiopatología	El componente ácido tiene un gran efecto corrosivo, provocando necrosis de tejidos orgánicos con los que entra en contacto. El grado de quemadura que produce está determinado por la concentración, el tiempo de exposición, el grosor del tejido expuesto. La vida media plasmática es de 1,4 horas ya que el HF una vez absorbido rápidamente se deposita en el hueso o es eliminado vía renal, por lo que solo encontramos niveles significativos de flúor en la sangre en las primeras horas de la intoxicación.

Ceniza volcánica

Las partículas de ceniza producidas en erupciones explosivas son a menudo lo suficientemente pequeñas para ser rápidamente inhaladas en lo profundo de los pulmones y las partículas más gruesas pueden alojarse en la nariz o en los ojos e irritar la piel. Según los estudios de la OMS las partículas de diámetro de 15 micras se depositan en la nariz, las de 10 micras alcanzan a llegar al árbol traqueo-bronquial y las menores de 5 micras son capaces de llegar a los alvéolos.

“La severidad e intensidad de los efectos respiratorios adversos de una explosión volcánica, dependen de varios factores: las características físico-químicas y cantidad del material expulsado; factores relacionados con el ambiente, como el estado del tiempo, la dirección de los vientos, la intensidad de las lluvias; la densidad de la población afectada; el suministro de agua y la disponibilidad de sistemas de atención médica

apropiados. Y de factores relacionados con el huésped, como son la intensidad de la exposición inmediata, la posibilidad de exposición crónica, la exposición a vegetación cubierta de polvo, que puede aumentar la susceptibilidad a la ceniza volcánica. Desde luego, factores indirectos como lesiones traumáticas provocadas por el calor y el flujo de lava, lodo y piedra y el impacto psicológico, social y económico que produce la catástrofe, pueden ser factores determinantes de la intensidad de la lesión respiratoria. El tamaño de las partículas y su composición mineral varía entre volcanes y aún entre erupciones de un mismo volcán”.⁵²

La ceniza volcánica produce un efecto irritante en las vías respiratorias, los ojos y la piel. “Para valorar los riesgos que tiene la lluvia de cenizas en la salud de personas son importantes 5 factores: el tamaño de las partículas; la frecuencia y duración de la exposición; factores adicionales

52. Noji, Eric. *Impacto de los desastres en la salud pública*. Organización Panamericana de la Salud. Bogotá, 2000. p.186.

como enfermedades preexistentes de las vías respiratorias, y la presencia de sílice cristalino (SiO_2) en las cenizas".⁵³

A nivel del aparato respiratorio superior produce irritación determinando rinitis, faringitis, amigdalitis, laringitis y empeoramiento de las sinusitis. Sobre las vías aéreas inferiores sus efectos están determinados por el tamaño de las partículas respirables (diámetro menor de 10 micrómetros). Los pacientes que sufren de hiperreactividad bronquial, bronquíticos crónicos, pacientes asmáticos y los que padecen enfermedad pulmonar obstructiva crónica pueden complicarse.⁵⁴ Las partículas de ceniza volcánica con concentraciones de azufre producen estados de hiperreactividad bronquial y puede lesionar la mucosa de las vías aéreas inferiores e incluso generar alteraciones obstructivas crónicas.

El compromiso respiratorio se encuentra relacionado con la falta de difusión y acatamiento de medidas de prevención, el tipo de vivienda del área cercana al volcán y el nivel de lluvias que ayudan a precipitar las cenizas.⁵⁵ A largo plazo en comunidades persistentemente afectadas por la caída de ceniza se pueden desarrollar silicosis, la cual se asocia con altas tasas de tuberculosis tal como lo

registran las estadísticas del Ministerio de Salud Pública del Ecuador, respecto a poblaciones que viven alrededor del volcán Tungurahua.

Los datos históricos de muerte por concentraciones altas de ceniza son escasos, sin embargo cuando la ceniza se mezcla con los gases, puede ocasionar la muerte, principalmente por consumo de agua contaminada con flúor. También se reportan casos de muertes relacionadas con la presencia de quemaduras extensas, necrosis de los tejidos, sepsis y bronconeumonía, como consecuencia de la aspiración de cenizas calientes.

i Los estudios de vigilancia epidemiológica con relación a las erupciones del monte Santa Helena en 1980 demostraron que de las autopsias de los 25 cuerpos recuperados, 17 ocurrieron por asfixia al inhalar cenizas y 5 por lesiones térmicas. Tres de los muertos eran leñadores en un paraje a 19 km del cráter; dos sobrevivieron al flujo pero sufrieron quemaduras de 2 y 3 grados que afectaron al 33 y 47% de la superficie corporal respectivamente. Los dos leñadores murieron después de un síndrome de

Las partículas de ceniza afectan de diferente manera al organismo: las partículas mayores se quedan en la parte externa del cuerpo, afectando a los ojos y las fosas nasales; las más pequeñas pueden llegar hasta los pulmones y provocar o activar enfermedades respiratorias.

53. Seaman, John; Leivesley, Sally; y Hogg, C. *Epidemiología de desastres naturales*. Editorial Harla. 1989. pp.144.

54. Ministerio de Salud Pública del Ecuador. *Efectos en la salud por las erupciones del Tungurahua*. Boletín No.1. Febrero de 2000.

55. Valencia, Juan Felipe. Entrevista. Manizales, julio de 2004.

dificultad respiratoria del adulto inducido por la inhalación de partículas de ceniza caliente.⁵⁶

A continuación resumimos las características, el impacto y las acciones preventivas:⁵⁷

Evento eruptivo: emisión y caída de ceniza			
Tipo de afectación	Consecuencias	Impacto a la comunidad	Acciones preventivas
Respiratoria	Inhalación de ceniza fina. <10 micras de diámetro.	Asma, recrudecimiento de enfermedades pulmonares previas.	Pruebas de laboratorio para medición de partículas. Uso de mascarilla de alto rendimiento. Protección de casas y oficinas de la infiltración de ceniza.
	Inhalación de polvo de sílice (presencia de sílice, cuarzo).	Silicosis si existe una exposición fuerte y continua (años).	Análisis de laboratorio para identificar sílice. Equipo protector respiratorio.
Tóxicas	Ingestión de agua contaminada con flúor, metales pesados (aluminio, cobre, arsénico).	Malestar gastrointestinal. Puede llevar a la muerte en personas vulnerables (enfermos crónicos).	Pruebas de laboratorio que identifiquen elementos tóxicos. Evitar las aguas superficiales para beber.
	Ingestión de alimentos contaminados (como en el caso anterior), incluida la leche.		Pruebas de laboratorio que determinen si existen elementos tóxicos. Observar la salud de los animales. Análisis de laboratorio de la leche.
Oculares	Cuerpos extraños en ojos.	Conjuntivitis; desgaste de las córneas.	Gafas protectoras para exposiciones fuertes (trabajadores al aire libre).

56. Noji, Eric. *Impacto de los desastres en la salud pública*. Organización Panamericana de la Salud. Bogotá, 2000.

57. Puede ampliar la información en: Organización Panamericana de la Salud. *¿Cómo prepararse y qué hacer durante la caída de ceniza volcánica?* www.paho.org/spanish/dd/ped/te_volc.htm

Evento eruptivo: emisión y caída de ceniza (continuación)			
Tipo de afectación	Consecuencias	Impacto a la comunidad	Acciones preventivas
Mecánica	Colapso y caída de techos.	Traumas.	Prevenir la acumulación de cenizas. Eliminar la ceniza con precaución.
	Accidentes de tránsito por caminos resbalosos y poca visibilidad.	Traumas, suspensión del transporte de emergencia, viajeros desamparados	Control de tránsito y asignación de refugios de emergencia.
	Interferencias en radio y televisión.	No se reciben las alertas, no funciona la transmisión por satélite.	Campañas de información pública antes de la erupción.
	Interrupción de la electricidad.	Averías en servicios públicos, sistemas de calefacción, etc.	Cubrir aisladores u organizar cuadrillas de reparación.
<p>Protección de las vías respiratorias y de los ojos: Actualmente hay mascarillas baratas, desechables y de alto rendimiento, capaces de retener partículas de tamaño micrométrico; se pueden almacenar localmente para su distribución inmediata en las comunidades después de una caída de ceniza. Se debe disponer de respiraderos de media mascarilla o de cascos de corriente de aire (respiraderos con visera y motor) y lentes de seguridad para el personal de urgencias y otras personas que trabajen al aire libre y brigadas de limpieza.</p>			

Evento eruptivo: emisión de gas			
Tipo de afectación	Consecuencias	Impacto a la comunidad	Acciones preventivas
Ambiental	Lluvia ácida	Irritación de ojos y piel; posible contaminación tóxica. El olor ácido del depósito proviene de la superficie de las partículas de cenizas y no representa un riesgo respiratorio por gases tóxicos.	Protección durante la lluvia; evitar almacenar agua pluvial para beberla, especialmente de techos metálicos, etc.