

# Artículos de revisión

## Las cenizas volcánicas y los riesgos a la Salud. Revisión sistemática de la literatura.

Torres-Meza Víctor M.<sup>1</sup>Director General del Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades.<sup>1</sup>

### Resumen

Las cenizas volcánicas son uno de los efectos más peligrosos de la actividad volcánica, especialmente para la salud pública. Las cenizas contienen pequeñas partículas que pueden penetrar en los pulmones y causar problemas respiratorios graves como asma, bronquitis y neumonía. Además, las cenizas pueden irritar los ojos y la piel, y causar problemas de salud a largo plazo si se inhalan durante períodos prolongados de tiempo. Las y los niños y las personas ancianas son particularmente vulnerables a estos efectos negativos. Es esencial que las autoridades sanitarias tomen medidas de protección para garantizar la seguridad de la población durante los eventos volcánicos. Es importante que se instalen filtros en las áreas afectadas, se proporcionen mascarillas y se informe a la población sobre los peligros de las cenizas. En conclusión, las cenizas volcánicas pueden tener consecuencias graves para la salud de la población, especialmente para las y los más vulnerables. Por lo tanto, es fundamental tomar medidas preventivas para proteger a las personas durante los eventos volcánicos.

### Introducción

Los volcanes representan una amenaza para casi 500 millones de personas; hoy existen aproximadamente 500 volcanes activos en la Tierra, y cada año hay de 10 a 40 erupciones volcánicas. Las erupciones volcánicas producen efectos peligrosos para el medio ambiente, el clima y la salud de las personas expuestas, y están asociadas al deterioro de las condiciones sociales y económicas. (Zuskin E, 2007)<sup>1</sup>

Junto con el magma y el vapor (H<sub>2</sub>O), los siguientes gases emergen en el medio ambiente: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), sulfuro de carbono (CS), disulfuro de carbono (CS<sub>2</sub>), cloruro de hidrógeno (HCl), hidrógeno (H<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), fluoruro de hidrógeno (HF), bromuro de hidrógeno (HBr) y varios compuestos orgánicos, así como metales pesados (mercurio, plomo, oro).

Los efectos dependen de la distancia a un volcán, en la viscosidad del magma y en las concentraciones de gas. Los peligros más cercanos al volcán incluyen flujos piroclásticos, flujos de lodo, gases y vapor, terremotos, ráfagas de aire y tsunamis. Entre los peligros en áreas distantes están los efectos de las cenizas volcánicas tóxicas y problemas del sistema respiratorio, ojos y piel, así como efectos psicológicos, lesiones, problemas de transporte y comunicación, eliminación de desechos y problemas de suministro de agua, colapso de edificios y cortes de energía.

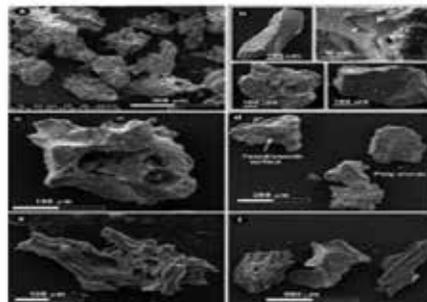
Otros efectos son el deterioro de la calidad del agua, menos períodos de lluvia, daños a los cultivos y la destrucción de la vegetación. Durante las erupciones volcánicas y sus secuelas inmediatas, se ha observado un aumento de la morbilidad del sistema respiratorio, así como de la mortalidad entre las personas afectadas por las erupciones volcánicas.

### Que son las cenizas volcánicas.

La ceniza se compone de finas partículas de roca volcánica fragmentada (de menos de 2 mm de diámetro), es áspera, abrasiva (puede desgastar las superficies al limpiarlas frotando o cepillando), algunas veces corrosiva e irritante (esta contiene sílice, y puede contener gases ácidos y metales tóxicos) es por eso que debe evitarse su aspiración e ingesta (Secretaría Técnica del Consejo de Salud Ocupacional y la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud, Costa Rica).

El color puede ir desde un tono gris claro hasta el negro, y pueden variar en tamaño: desde ser como arenilla hasta ser tan finas como los polvos de talco. Es insoluble en agua. Por ser tan fino el viento lo desplaza fácilmente y lo distribuye en una gran área. (Figura 1)

**Figura 1**  
Imágenes microscópicas de cenizas volcánicas





La ceniza volcánica está formada por partículas producidas por la fragmentación de las rocas durante las erupciones y tienen un tamaño menor a 2mm. Esta ceniza suele estar caliente en las inmediaciones del volcán y se enfría cuando cae a mayor distancia. La ceniza varía en apariencia, dependiendo del tipo de volcán y de la forma de erupción. (CENAPRED,2023).<sup>2</sup>

La ceniza volcánica no es ceniza en realidad. Es roca pulverizada. Una capa de una pulgada de ceniza seca pesa diez libras por pie cuadrado a medida que cae. A menudo contiene pequeños trozos de lava ligera y expandida llamada piedra pómez o escoria volcánica. La ceniza volcánica fresca puede ser áspera, ácida, arenosa, vidriosa, maloliente y completamente desagradable. (OPS/OMS)<sup>3</sup>

La ceniza volcánica tiene el potencial de causar enfermedades respiratorias agudas y crónicas si las partículas son lo suficientemente finas para ingresar al sistema respiratorio. La caracterización de la distribución del tamaño de grano (GSD) de la ceniza volcánica es, por lo tanto, un primer paso crítico en la evaluación de su peligro para la salud (Horwell, CJ (2007)

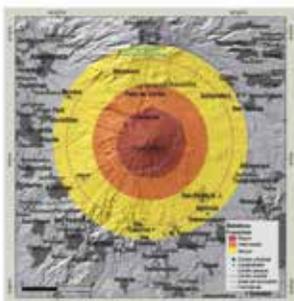
Aunque los gases suelen estar demasiado diluidos para constituir un peligro para una persona saludable, la combinación de gases ácidos y cenizas que pueden estar presentes a unos pocos kilómetros de la erupción podría causar daño pulmonar a niños, niñas pequeños, ancianos, ancianas y personas susceptibles, o aquellas que ya padecen enfermedades respiratorias graves.

Los volcanes tienen diferentes estilos de erupción. Algunos generan flujos piroclásticos o expulsan rocas balísticas y ceniza que pueden caer encima de las comunidades, como fue el caso de Volcán de Fuego en Guatemala, el volcán Soufrière Hills en Montserrat y el volcán La Soufriere en San Vicente y las Granadas; otros volcanes producen flujos de lava (por ejemplo, Hawái). En ocasiones, flujos de lodo (lahares) ocurren cuando el calor magmático derrite el hielo, como ocurrió en Colombia con la erupción del volcán Nevado del Ruíz. En otros casos, flujos de lodo también aparecen por fuertes lluvias que movilizan el sedimento volcánico en las laderas.

**Otras definiciones**

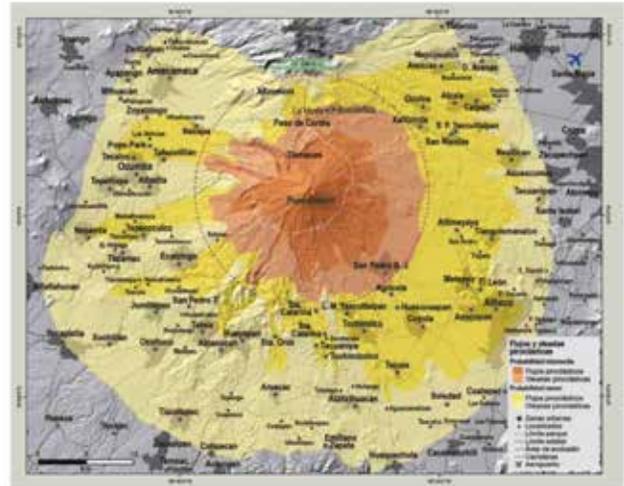
**Balísticos.** Son las rocas que arroja el volcán y pueden ser desde 64mm. hasta 50cm aproximadamente (figura 2).

**Figura 2**  
Probabilidad de Balísticos para el Volcán Popocatepetl.  
Mayo 2023



**Flujos y oleadas piroclásticas:** Es el material volcánico y gas que se mueve por las laderas

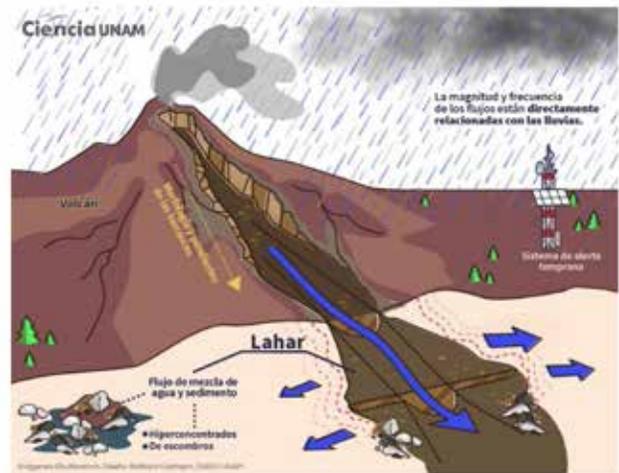
**Figura 3**  
Flujos y oleadas piroclásticas del Volcán Popocatepetl



**Lava:** masa de roca fundida que genera un domo, cuando se rompe se derrama por las laderas

**Lahares:** son corrientes de lodo y escombros volcánicos que descienden por las laderas de un volcán hasta depositarse en las zonas bajas

**Figura 3**  
Esquema de los Lahares



**Avalanchas:** cuando una parte del volcán se rompe, ocasiona desprendimientos de roca y derrumbes





## Volcán Popocatepetl

El Popocatepetl (del náhuatl: Popōcatepētlā "Monte que humea") es un volcán activo localizado en México. Tiene una altitud de 5452 metros sobre el nivel del mar. Se encuentra en los límites territoriales del Estado de México, Morelos y Puebla. Se localiza unos 72 km al sureste de la Ciudad de México, a 43 km de Puebla, a 63 km de Cuernavaca, y a 53 km de Tlaxcala. Figura 4

Figura 4 Localización geográfica del Volcán Popocatepetl



Fuente: CENAPRED, 2023

El volcán Popocatepetl, con una elevación de 5,419.43 msnm, es la tercera cima más alta de México. Es un estratovolcán de composición andesítico-dacítica localizado en la parte central del Cinturón Volcánico Transmexicano, en las coordenadas 19°01'23" N y 98°37'22" W.

Tiene un cráter con geometría elíptica de 800x600 m y 307 m de profundidad (solo 90 m de profundidad respecto al borde NE, el de menor altitud) (Cenapred, 2016).<sup>5</sup> Constituye el extremo sur de la Sierra Nevada, colindando al N con el complejo volcánico Iztaccíhuatl a través del Paso de Cortés (3,685 msnm), con un desnivel en este sector de 1,734 m. En sus vertientes E y SE, rodeado por los valles de Puebla y Atlixco, presenta un mayor desnivel, con una altura relativa de 3,300 hasta 3,800 m y una pendiente promedio de 34° (Instituto de Geofísica UNAM, 2017)<sup>6</sup>

Tiene una forma cónica simétrica, y está unido por la parte norte con el Iztaccíhuatl mediante un puerto de montaña conocido como Paso de Cortés. El volcán tenía glaciares perennes cerca de la boca del cono, en la punta de la montaña. Es el segundo volcán más alto de México, solo después del Citlaltépetl, de 5636 msnm (INEGI, 2009)<sup>7</sup>

Los estudios paleomagnéticos que se han hecho de él indican que tiene una edad aproximada de 730,000 años. Es de forma cónica, tiene un diámetro de 25 km en su base y la cima es el corte elíptico de un cono y tiene una orientación noreste-suroeste. La distancia entre las paredes de su cráter varía entre los 660 y los 840 m. (Figura 5)

Figura 5 Volcán Popocatepetl



El Popocatepetl ha estado desde siempre en actividad, a pesar de haber estado en reposo durante buena parte de la segunda mitad del siglo XX. En 1991 se inició un incremento en su actividad y a partir de 1993 las fumarolas eran ya claramente visibles desde distancias de alrededor de 50 kilómetros.

Dieciocho municipios tienen territorio sobre las laderas del volcán y las planicies aledañas, todos ellos vulnerables, en mayor o menor grado, a los diferentes peligros que emanan de la actividad actual y posible actividad futura del volcán. Varios de estos municipios tienen pueblos y comunidades asentadas en el radio de 15 km del cráter del volcán Popocatepetl: al NE, Santiago Xalizintla y San Nicolás de los Ranchos; al SE, San Pedro Benito Juárez y Guadalupe Huxocoapan. Además, poblaciones importantes, de más de 1,000 habitantes, se encuentran en el radio de 15 a 50 km. Varios de estos municipios tienen un alto crecimiento demográfico, como los de Amecameca (NW), Yecapixtla-Cuautla-Zacualpan (SW), Cholula (E) y Atlixco (SE), poblaciones que han sido afectadas por diversas erupciones en el transcurso de los últimos 2,000 años. (Instituto de Geofísica, UNAM 2017)<sup>8</sup>

### Impactos en la Salud Humana

La evaluación del impacto en la salud es un conjunto vinculado de enfoques y herramientas para estimar, antes de que ocurran, las implicaciones para la salud humana de las políticas, programas, acciones o eventos propuestos. En general, incluye hacer recomendaciones sobre cómo se pueden amplificar los efectos favorables para la salud, reducir las consecuencias adversas y mejorar la equidad (OMS, 1999).<sup>9</sup>

La evaluación del impacto en la salud también se ha utilizado para estimar la carga de mortalidad y enfermedad atribuible a un factor ambiental en un momento dado; la metodología está particularmente bien desarrollada en relación con la contaminación del aire exterior (Cohen et al., 2017).<sup>10</sup>

En ambientes volcánicos, las emisiones respirables en el aire (partículas de ceniza, aerosoles y gases) podrían afectar potencialmente la salud humana, pero existe evidencia epidemiológica limitada de este contexto (Gudmundsson, 2011; Hansell & Oppenheimer, 2004; Horwell & Baxter, 2006)<sup>11</sup> y rara vez se dispone de mediciones detalladas de la exposición de tales eventos.



Por lo tanto, es posible que las agencias de protección civil y de salud pública deban basarse en extrapolaciones de otras pruebas al estimar los riesgos para la salud de las comunidades.

Los estudios disponibles revisados sugieren que los efectos agudos y crónicos en la salud de las cenizas volcánicas dependen del tamaño de las partículas (cuánto respirable), la composición mineralógica (contenido de sílice cristalina) y las propiedades fisicoquímicas de las superficies de las partículas de cenizas (Gudmundsson G,2011).<sup>12</sup>

Las partículas pequeñas contenidas en la ceniza volcánica son inhaladas con facilidad, la mayor parte se aloja en la mucosa nasal y, dada su naturaleza abrasiva, causan inflamación. Algunas llegan a las vías respiratorias bajas. Este fenómeno inflamatorio se manifiesta con síntomas como irritación en la garganta, escurrimiento nasal, obstrucción nasal, tos, flema y en casos extremos en pacientes con enfermedades respiratorias crónicas se presenta dificultad para respirar y broncoespasmo de menor a mayor intensidad. (INER,2004)<sup>13</sup>

Estos pueden variar entre volcanes e incluso entre erupciones, lo que dificulta la comparación. Los síntomas respiratorios agudos que sugieren asma y bronquitis han sido bien descritos. Las exacerbaciones de enfermedades pulmonares y cardíacas preexistentes son comunes después de la inhalación de cenizas volcánicas. Se dispone de información limitada sobre el aumento de la mortalidad por erupciones recientes, pero la evidencia histórica está bien descrita. No se han encontrado efectos a largo plazo sobre la función pulmonar después de la exposición a cenizas volcánicas.

Un desafío clave para identificar los impactos en la salud de las erupciones volcánicas es idear y aplicar métodos epidemiológicos que puedan implementarse rápidamente al inicio de la erupción. Se han perdido oportunidades de estudio en el pasado, dejando grandes lagunas en nuestro conocimiento para hacer frente al riesgo humano en futuras erupciones. A pesar de estos vacíos de evidencia, los impactos en la salud deben estar a la vanguardia de las evaluaciones de riesgo volcánico y la toma de decisiones sobre las evacuaciones oportunas de las poblaciones, y sobre la provisión de mensajes de salud pública basados en evidencia, para los grupos vulnerables expuestos a las emisiones volcánicas. ( Introduction to IVHHN Standardized Protocols to Assess the Health Impacts from Volcanic Eruptions )<sup>14</sup>

Lecciones aprendidas de erupciones volcánicas significativas pasadas

La siguiente cronología describe algunas de las erupciones pasadas significativas en la historia reciente y reúne las lecciones principales, lo que subraya la necesidad de enfoques estandarizados para estudiar los impactos en la salud.

### Monte St. Helens, Estados Unidos, 1980

Se considera que la primera vez que una sociedad moderna tuvo que lidiar con un evento masivo de caída de ceniza fue en los EE. UU. después de la erupción del Monte St Helens en 1980. Un episodio importante de contaminación del aire causado por partículas finas de ceniza suspendidas que duró seis días y fue demostrado por la vigilancia de la salud. (asistencias diarias al hospital) para tener un impacto mínimo en las personas sanas,

con solo una tranquilidad limitada para aquellas con condiciones cardiorrespiratorias preexistentes.

Sin embargo, las personas con enfermedades preexistentes limitaron su exposición a las cenizas permaneciendo en el interior de casas estadounidenses bien construidas. Un estudio de madereros provistos de protección respiratoria no mostró un impacto respiratorio duradero por la exposición a las cenizas, pero ahora reconocemos que otros grupos al aire libre muy expuestos, como los trabajadores de emergencia, también requieren seguimiento. Hubo pruebas contradictorias de los resultados de los estudios de prevalencia de los impactos respiratorios en población infantil, y no se realizó ningún estudio completo de mortalidad en ese momento (Bernstein et al., 1986).<sup>15</sup>

**Figura 6**  
**Monte St. Helens, Estados Unidos, 1980**



### Monte Pinatubo, Filipinas, 1991

Pinatubo estalló en una erupción masiva única después de 2 meses de actividad premonitoria. Aparte de una encuesta de prevalencia en campamentos de evacuación, que mostró impactos respiratorios mínimos en áreas de fuertes caídas de ceniza (Surimeda et al., 1992),<sup>16</sup> no hubo estudios a largo plazo de grandes poblaciones expuestas durante varios años a la ceniza resuspendida. Se realizó una encuesta "instantánea" sobre la principal causa de muerte en la erupción: el colapso de los techos bajo el peso de las cenizas y la vulnerabilidad de ciertos tipos de edificios (Spence et al., 2005).<sup>17</sup> Desafortunadamente, no se amplió para vincular los tipos de lesiones y muertes con la falla del edificio. La reconstrucción se llevó a cabo muy rápidamente, por lo que cualquier estudio necesario se habría tenido que completar en los días inmediatamente posteriores a la erupción. Los depósitos de ceniza persistieron durante años. Debido a que fue una de las erupciones más grandes del Siglo XX, este fue un desastre extremadamente importante que justificó investigación para la mitigación de desastres: no se han presentado oportunidades de estudio comparables en el mundo desde entonces.



Figura 7

Monte Pinatubo, Filipinas, 1991



### Cerro Negro, Nicaragua, 1992

Esta pequeña erupción depositó ceniza fina en la ciudad de León y sus alrededores. Un viento alisio persistente y fuerte creó una columna constante de ceniza que se podía ver viajando muchos kilómetros y mar adentro. Los médicos informaron que la ciudad sufrió un brote evidente de enfermedad respiratoria durante semanas mientras persistía el penacho, con una afluencia de pacientes, pero las instalaciones médicas estaban mal equipadas (Malilay et al., 1996).<sup>18</sup> Una teoría es que el componente grueso de la ceniza descompuso la materia vegetal al golpear la vegetación con el viento fuerte, aumentando la cantidad de material alergénico fino en el aire que podría desencadenar la sensibilización en individuos susceptibles. Ninguna investigación para analizar esta hipótesis era factible en ese momento.

Figura 8

Cerro Negro, Nicaragua, 1992



### Volcán Soufrière Hills, Montserrat 1995 – 2011

Montserrat es una pequeña isla volcánica en el Caribe, un territorio británico de ultramar. El volcán comenzó inesperadamente a hacer erupción a pequeña escala y luego se intensificó gradualmente hasta tener una erupción devastadora en junio de 1997 cuando 19 personas murieron en un flujo piroclástico. La población estuvo expuesta a frecuentes caídas de ceniza durante la erupción, a partir de pequeñas explosiones y colapsos de domos de lava, lo que presentó un riesgo respiratorio de silicosis debido a la sílice cristalina en una proporción de las partículas de ceniza respirables. Dos evaluaciones de riesgos (1997 y 2003) involucraron encuestas de exposición repetidas en trabajadores al aire libre y la comunidad.

La población expuesta se redujo en número a medida que los isleños se fueron a otros países, lo que hizo que los estudios de cohortes fueran inviables, pero las evaluaciones de riesgo sugirieron que el riesgo de silicosis era pequeño. Una encuesta

sobre el asma en escolares de la isla mostró un efecto en los que vivían en áreas de caída de ceniza, mientras que las visitas al único hospital de la isla y la cantidad de medicamentos contra el asma dispensados en la farmacia de la isla no mostraron cambios durante la erupción. El asma (prevalencia del 18% en el estudio de niños) estaba siendo mal reconocido y tratado en la isla, especialmente con un sistema de salud pequeño y disfuncional como resultado de la crisis (Baxter et al., 2014).<sup>19</sup>

Figura 9

Volcán Soufrière Hills, Montserrat 1995 – 2011



### Rabaul, Papúa Nueva Guinea, 2007 – 8.

En una pequeña erupción en el volcán Rabaul en 2007-2008, una columna persistente de cenizas y gas fumigó una amplia zona donde vivían 70.000 personas, presentando una grave crisis de contaminación del aire. Durante varios meses, en 2008, hubo una sequía que permitió que la ceniza se acumulara por todas partes, lo que se sumó al peligro para la salud al inhalar la columna persistente de ceniza respirable mezclada con gas de dióxido de azufre. Los problemas respiratorios fueron ampliamente reportados y las escuelas tuvieron que lidiar con niños que sufrían ataques de asma sin tratar, la tuberculosis ya estaba extendida en la zona antes de la erupción. La ausencia de una infraestructura adecuada impidió la realización de encuestas respiratorias rápidas en las que basar los consejos médicos urgentes a los más vulnerables de la población.

Figura 10

Rabaul, Papúa Nueva Guinea, 2007 – 8.



## Volcán Cordon Caulle, Chile, con dispersión generalizada de ceniza en la Patagonia, Argentina 2011

En 2011, la erupción del Cordón Caulle en Chile produjo una fuerte caída de ceniza en la estepa patagónica semiárida con consecuencias dramáticas (Folch et al., 2014).<sup>20</sup> Las tormentas de ceniza fueron creadas por los fuertes vientos regulares en el área en ausencia de lluvia, lo que provocó una exposición muy alta a la ceniza respirable en esas ocasiones, y la ceniza inundó fácilmente los edificios rurales abiertos y endebles en los que vivían las familias de agricultores. La vida normal no volvió hasta 3 meses después de la erupción. Se necesitaba urgentemente una evaluación de los riesgos para la salud, especialmente en los niños y niñas, con miras a sacarlos temporalmente de las zonas afectadas; las personas adultas con enfermedades crónicas preexistentes también necesitaban consejos para protegerse. No se realizaron estudios epidemiológicos de desastres ni encuestas de exposición.

Figura 11  
Volcán Cordon Caulle, Chile



A pesar de la magnitud de estas erupciones volcánicas, existe poca información sobre los impactos de eventos tan grandes en países de bajos ingresos, especialmente aquellos en países cálidos con construcción de viviendas abiertas y cocina interior generalizada con combustibles sólidos. Además, no hay información sobre tal caída de ceniza en comunidades con una alta incidencia de neumonía infantil, una de las causas más comunes de muerte en bebés en países en desarrollo (Liu et al., 2015).<sup>21</sup>

Las preguntas claves: como determinar las relaciones exposición-respuesta y cómo la exposición a las cenizas desencadena la sensibilidad de las vías respiratorias en personas previamente sanas, en particular niños y ancianos, han permanecido en gran parte sin respuesta.

Existen numerosos obstáculos para realizar estudios epidemiológicos en erupciones volcánicas, pero no faltan preguntas para responder. Una limitación importante es la falta de protocolos que se puedan aplicar en una crisis para investigar rápidamente los impactos en la salud con fines de evaluación de riesgos, así como para responder preguntas sobre los efectos a largo plazo de las altas exposiciones a cenizas y gases en las emisiones volcánicas.

## Referencias bibliográficas

- Zuskin E, Mustajbegović J, Doko Jelinić J, Pucarín-Cvetković J, Milosević M. Ucinici vulkanskih erupcija na okolis i zdravlje [Effects of volcanic eruptions on environment and health]. Arh Hig Rada Toksikol. 2007 Dec;58(4):479-86. Croatian. doi: 10.2478/v10004-007-0041-3. PMID: 18063533.
- CENAPRED, 2023 consultado en :<https://www.gob.mx/cenapred/articulos/que-es-la-ceniza-volcanica>
- OPS. Consultado en: <https://www.paho.org/es/temas/erupciones-volcanicas>
- Horwell, C.J. (2007) 'Grain size analysis of volcanic ash for the rapid assessment of respiratory health hazard', Journal of Environmental Monitoring, 9(10), 1107 - 1115.
- CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres), <http://www.cenapred.gob.mx/es/Instrumentacion/InstVolcanica/MVVolcan/>.
- Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Geofísica Memoria técnica del mapa de peligros
- del volcán Popocatepetl. Memoria técnica del mapa de peligros del volcán Popocatepetl Martín Del Pozzo A. L. / Alatorre Ibarquengoitia M. / Arana Salinas L. Bonasia R./ Capra Pedol L. / Cassata W. / Córdoba G. / Cortés Ramos J. Delgado Granados H. / Ferrés López M. D. / Fonseca Álvarez R. García Reynoso J. A. / Gisbert G. / Guerrero López D. A. / Jaimes Viera M. C. Macías Vázquez J. L. / Nieto Obregón J. / Nieto Torres A. / Paredes Ruiz P. A. Portocarrero Martínez J. / Renne P. / Rodríguez Espinosa
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, ed. (2005). «Elevaciones principales - Puebla». Archivado desde el original el 10 de marzo de 2012. Consultado el 17 de marzo de 2009.
- Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geofísica. Memoria técnica del mapa de peligros
- del volcán Popocatepetl. Memoria técnica, 2017
- Organización Mundial de la Salud (OMS) ( 1999 ). Evaluación del impacto en la salud: Conceptos principales y enfoque sugerido. Documento de consenso de Gothenberg , Ginebra : OMS.
- Cohen, AJ , Brauer, M. , Burnett, R. , Anderson, HR , Frostad, J. , Estep, K. , Balakrishnan, K. , Brunekreef, B. , Dandona, L. , Dandona, R. y Feigin , V. ( 2017 ). Estimaciones y tendencias de 25 años de la carga mundial de morbilidad atribuible a la contaminación del aire ambiente: un análisis de los datos del estudio de la carga mundial de morbilidad de 2015 . The Lancet , 389 ( 10082 ) , 1907 – 1918
- Gudmundsson, G. ( 2011 ). Efectos de la ceniza volcánica en la salud respiratoria con especial referencia a Islandia. Una revisión The Clinical Respiratory Journal , 5 ( 1 ) , 2 – 9 . <https://doi.org/10.1111/j.1752-699X.2010.00231.x>
- Gudmundsson G. Respiratory health effects of volcanic ash with special reference to Iceland. A review. Clin Respir J. 2011 Jan;5(1):2-9. doi: 10.1111/j.1752-699X.2010.00231.x. Epub 2010 Nov 29. PMID: 21159135.
- Narváez Porras Octavio. Cano Valle Fernando CENIZAS VOLCÁNICAS. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL. Rev. Inst. Nal. Enf. Resp. Mex. vol.17 no.3 México sep. 2004
- Introduction to IVHHN Standardized Protocols to Assess the Health Impacts from Volcanic Eruptions
- Bernstein, R.S., Baxter, P.J., Falk, H., Ing, R., Foster, L. and Frost, F., 1986. Immediate public health concerns and actions in volcanic eruptions: lessons from the Mount St. Helens eruptions, May 18-October 18, 1980. American Journal of Public Health, 76(Suppl), p.25-37.
- Surmieda, M.R.S., Abad-Viola, G., Abellanosa, I.P., Magboo, F.P., Magpantay, R.L., Pascual, M.L.G., Tayag, E.A., Diza, F.C., Lopez, J.M., Miranda, M.E.G. and Sadang, R.A., 1992. Surveillance in evacuation camps after the eruption of Mt. Pinatubo, Philippines. MORBIDITY AND MORTALITY WEEKLY REPORT: CDC Surveillance Summaries, p.9-12.
- Spence, R.J.S., Kelman, I., Baxter, P.J., Zuccaro, G. and Petrazzuoli, S., 2005. Residential building and occupant vulnerability to tephra fall. Natural Hazards and Earth System Science, 5(4), p.477-494.
- Mallay, J., Real, M. G., Ramirez Vanegas, A., Noji, E. & Sinks, T. 1996. Public health surveillance after a volcanic eruption: lessons from Cerro Negro, Nicaragua, 1992. Bull Pan Am Health Organ, 30(3), p218-226.
- Baxter, P.J., Searl, A.S., Cowie, H.A., Jarvis, D. and Horwell, C.J., 2014. Evaluating the respiratory health risks of volcanic ash at the eruption of the Soufriere Hills Volcano, Montserrat, 1995 to 2010. Geological Society, London, Memoirs, 39(1), p.407-425.
- Folch, A., Mingari, L., Osorio, M.S. and Collini, E., 2014. Modeling volcanic ash resuspension-application to the 14-18 October 2011 outbreak episode in central Patagonia, Argentina. Natural Hazards & Earth System Sciences, 14(1).
- Liu, L., Oza, S., Hogan, D., Perin, J., Rudan, I., Lawn, J.E., Cousens, S., Mathers, C. and Black, R.E., 2015. Global, regional, and national causes of child mortality in 2000–13, with projections to inform post-2015 priorities: an updated systematic analysis. The Lancet, 385(9966), p.430-440.