



Erupción volcánica un riesgo para la salud: La toxicidad de la ceniza

***Benedetto Schiavo**

INTRODUCCIÓN

La ceniza volcánica es uno de los productos más característicos y complejos de una erupción volcánica, su estudio es esencial tanto para la comprensión de los procesos geológicos subyacentes como para la protección de la salud pública.^{1,2}

Durante una erupción, la fragmentación explosiva del magma produce partículas de diversos tamaños y composiciones, principalmente minerales silicatados y vidrio volcánico. Estas partículas pueden ser expulsadas a grandes altitudes y, dependiendo de las características de la erupción y de las condiciones atmosféricas, se dispersan a

* Investigador Asociado C del Instituto de Geofísica, UNAM
Email: benedetto@igefisica.unam.mx

Boletín de la Evidencia

Mayo-junio, 2025

Suplemento 3 Vol. 7 Núm 1.

ISSN: 2683-1422



Figura 1. Expulsión de ceniza del volcán Popocatepetl del 27 de febrero de 2024. Benedetto Schiavo, (2024)

distancias significativas (Figura 1), afectando no solo las zonas inmediatas al volcán, sino también áreas lejanas.³

Algunos estudios destacan la capacidad de la ceniza volcánica de permanecer en el aire durante meses o incluso más después de una erupción importante. La presencia de ceniza y gases sulfúricos en la alta atmósfera puede tener consecuencias en el balance térmico a nivel regional o global, afectando la retención de calor en la capa atmosférica. Esto puede dar lugar a una disminución de las temperaturas durante días o meses, generando un fenómeno de enfriamiento.⁴ Un ejemplo de este fenómeno es el ocurrido en el año 1816 que se conoce como el "año sin verano" debido a un fuerte enfriamiento global causado por la erupción del volcán Tambora (Indonesia) en el 1815. Este evento natural bloqueó la luz del sol y enfrió el planeta en más de un grado centígrado, provocando graves anomalías climáticas, hambrunas y disturbios sociales.⁵

Se estima que más de 500 millones de personas viven en áreas cercanas a volcanes activos, lo que resalta la magnitud del riesgo que la exposición a emisiones volcánicas representa para la salud pública a nivel mundial.⁶ Los seres humanos experimentan múltiples tipos de exposición (tracto respiratorio y gastrointestinal y contacto cutáneo) a las emisiones volcánicas. El sistema respiratorio es el más susceptible debido a la gran cantidad de aire que respiramos (~20 m³/día). Además, el impacto de dicha exposición depende de diferentes factores, principalmente características físicas (tamaño, forma, concentración y

densidad) y químicas (composición, reactividad y capacidad de intercambio catiónico) de la ceniza,^{7,8} asimismo edad, sexo y el estado de la salud de la persona expuesta también son factores determinantes. Los efectos de la exposición de la ceniza sobre la salud humana pueden clasificarse como agudos y crónicos, es decir, cambios transitorios y duraderos que se presentan en el organismo, respectivamente.

El estudio de la ceniza volcánica no solo aporta información sobre la dinámica del volcán y su comportamiento eruptivo, sino que también es clave para desarrollar protocolos de monitoreo y estrategias de respuesta ante emergencias.⁹ Conocer la composición y distribución espacial de la ceniza, así como determinar su tamaño y forma, permite diseñar medidas de mitigación que reduzcan la exposi-

ción de la población, optimicen la planificación de evacuaciones y minimicen los costos sanitarios y económicos asociados a los desastres volcánicos. Por ello, investigar en profundidad la formación, dispersión y propiedades de la ceniza es un pilar fundamental para la gestión integral de riesgos en zonas volcánicas.

RIESGO DE EXPOSICIÓN A CENIZAS

Toxicidad de la ceniza volcánica

El impacto de la ceniza volcánica en la salud humana (Figura 2), se ha vuelto cada vez más relevante en las últimas décadas. Varias redes de investigación, como la Red Internacional de Riesgos Volcánicos para la Salud (IVHHN, *International Volca-*

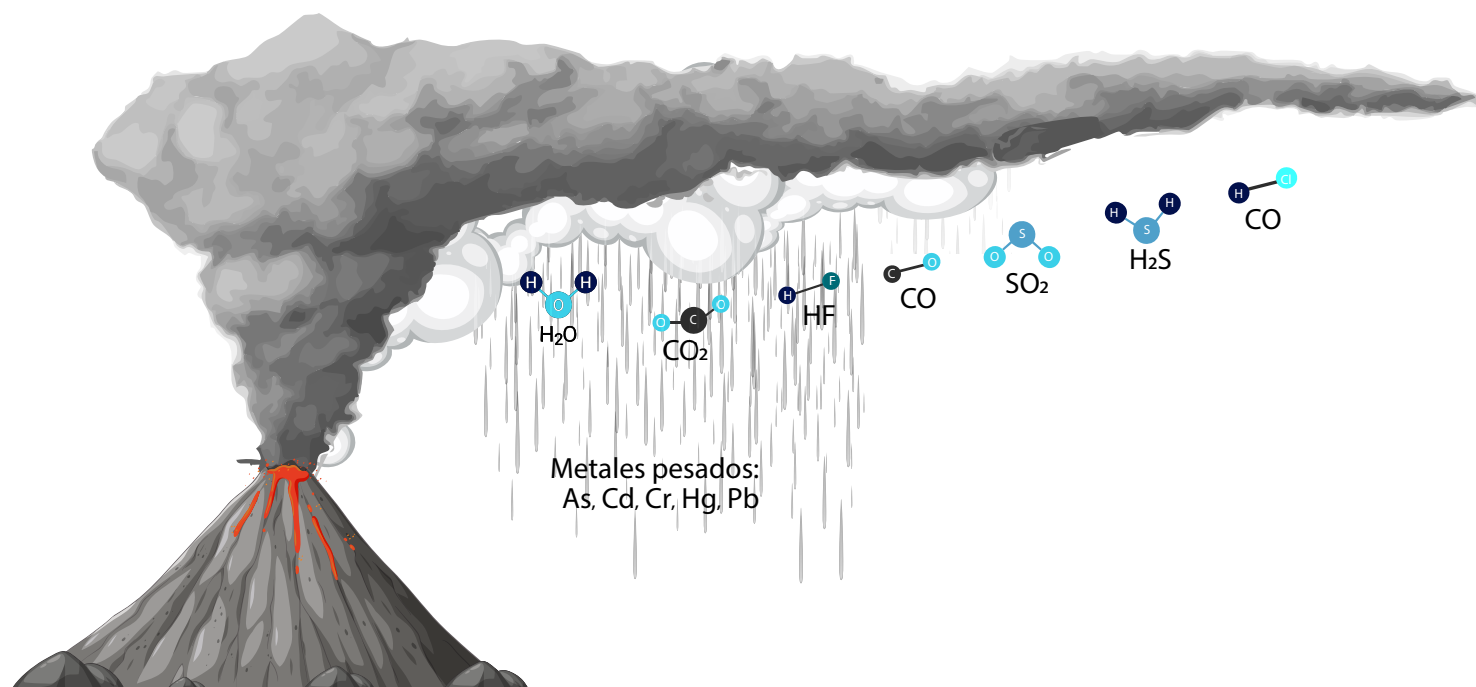


Figura 2. Sustancias presentes en las cenizas y gases volcánicos.

Boletín de la Evidencia

Mayo-junio, 2025

Suplemento 3 Vol. 7 Núm 1.

ISSN: 2683-1422

nic Health Hazard Network), se fundaron con el objetivo de establecer protocolos que permitan evaluar el riesgo derivado de la exposición a ceniza volcánica y proteger la salud pública.¹⁰

La toxicidad, es decir, los efectos agudos y crónicos, de la ceniza volcánica sobre la salud dependen del tamaño de las partículas (cuánto se puede respirar), la composición mineralógica (contenido de sílice cristalina) y las propiedades fisicoquímicas de las superficies de las partículas de ceniza.¹¹ La variabilidad y la compleja combinación de partículas gruesas ($<10\ \mu\text{m}$), finas ($<2.5\ \mu\text{m}$) y ultrafinas ($<1\ \mu\text{m}$) (Figura 3), determinan el potencial de la ceniza para

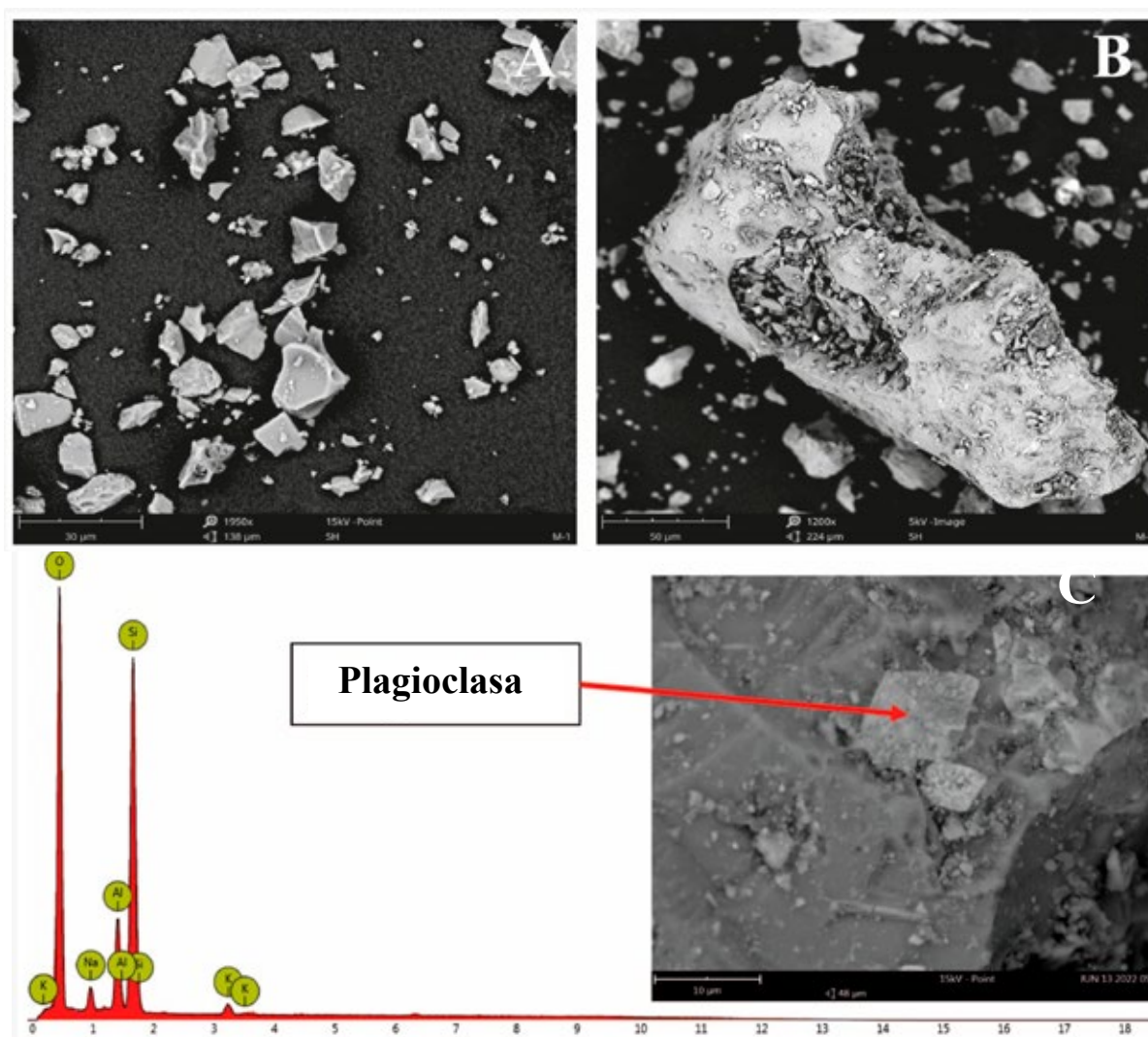


Figura 3. (A) Vista general de partículas de ceniza con el microscopio electrónico de barrido (SEM por sus siglas en inglés). Imagen que contiene partículas de diferente forma y tamaño. (B) Típica partícula de ceniza emitida por el volcán Popocatepetl. (B) Imagen al SEM de una partícula de silicio (Si) y aluminio (Al) con espectroscopía de energía dispersiva (EDS).¹²

Boletín de la Evidencia

Mayo-junio, 2025

Suplemento 3 Vol. 7 Núm 1.

ISSN: 2683-1422

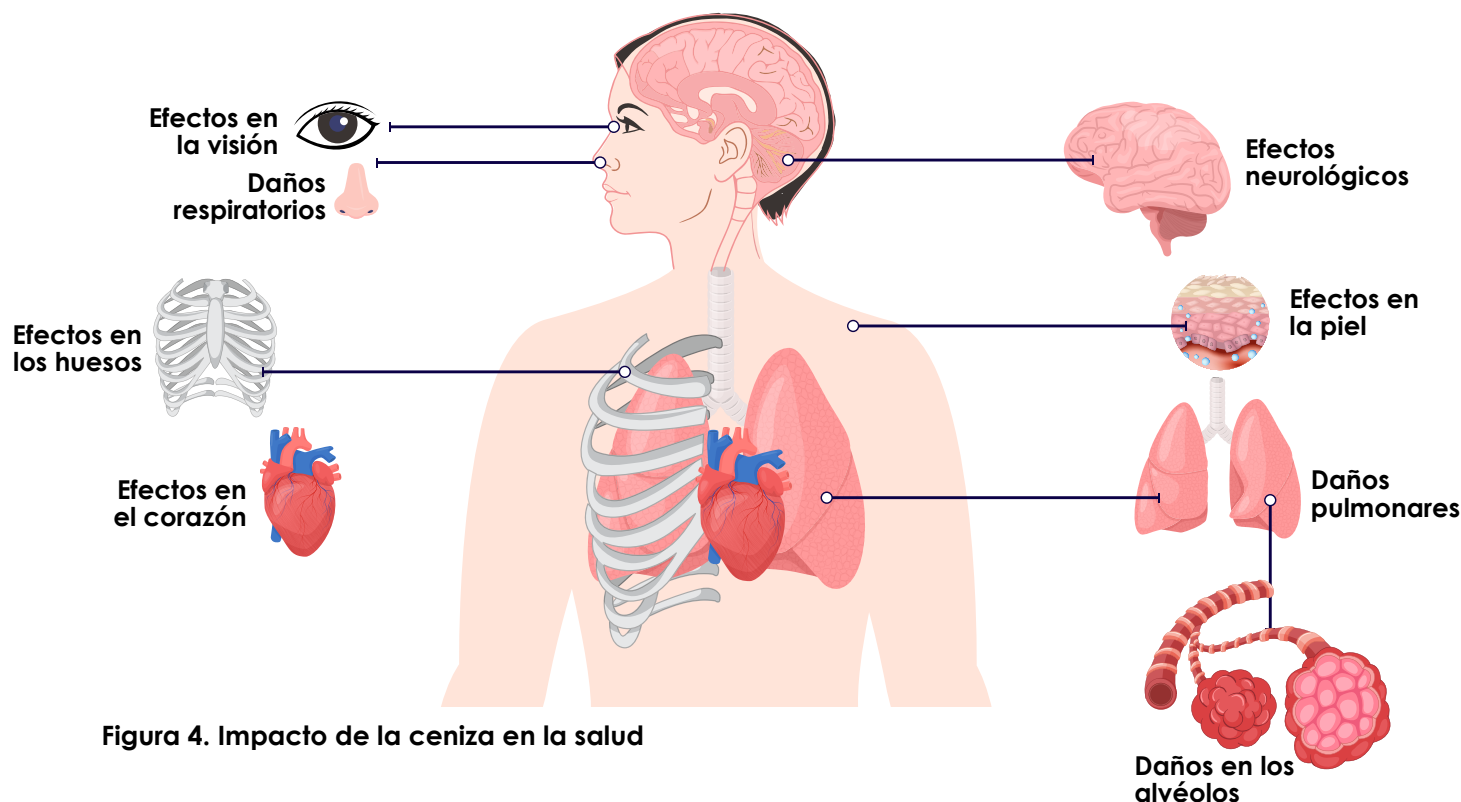


Figura 4. Impacto de la ceniza en la salud

penetrar en las vías respiratorias¹² y llegar a la parte profunda del pulmón, es decir, los alvéolos.¹³ Considerando los componentes de la ceniza, se destaca la presencia de sílice cristalina, altamente perjudicial para el sistema respiratorio,¹⁴ su inhalación puede causar irritación, inflamación crónica y, en exposiciones prolongadas, enfermedades pulmonares severas como la silicosis y fibrosis pulmonar. Además, la ceniza volcánica puede incorporar metales pesados como plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cromo (Cr) y arsénico (As),^{15,16} conocidos por su capacidad de bioacumularse y generar efectos tóxicos en diversos sistemas del organismo, incluyendo el sistema nervioso, cardiovascular y renal (Figuras 4).¹⁷

Algunos estudios han reportado la presencia de elementos esenciales y no esenciales en el cabello de personas, niños y adultos, que viven cerca de

zonas volcánicas y que están crónicamente expuestos a productos volcánicos.^{18,19} En comparación a las partículas y metales pesados de origen antropogénicos, los metales contenidos en la ceniza tienen concentraciones relativamente bajas. Lo que vuela de la ceniza volcánica es particularmente tóxica debido a su bioreactividad y biodurabilidad al contacto con fluidos biológicos.

Recientemente, en algunos estudios se destaca la importancia de aplicar pruebas de bioaccesibilidad pulmonar y de reactividad biológica de la ceniza volcánica.^{16,20} La bioaccesibilidad pulmonar es aplicada con pruebas de lixiviación simulando las condiciones externas (neutras, pH~7) e internas (macrófago alveolar, pH~4.5) de los pulmones.¹⁶ Los resultados destacan que la ceniza es poco bioaccesible y altamente biodurable a contacto con los fluidos pulmonares. Los metales pesados resultan más bioaccesibles en la parte

Boletín de la Evidencia

Mayo-junio, 2025

Suplemento 3 Vol. 7 Núm 1.

ISSN: 2683-1422

interna del pulmón en comparación a la parte externa, esto debido a las condiciones más ácidas que favorecen la disolución del material geológico. Además, se destaca la capacidad de la ceniza de bioacumularse en los pulmones y generar inflamación aguda a corto plazo y, en su caso, desencadenar complicaciones graves en personas con enfermedades respiratorias preexistentes.^{12,16} En cambio, los efectos biológicos se evalúan con pruebas de reactividad de la superficie de la ceniza, aplicando cultivos en la interfaz aire-líquido de dos tipos de células de las vías respiratorias humanas, i) células epiteliales bronquiales BEAS-2B y ii) células epiteliales alveolares tipo II A549.²¹

La ceniza volcánica es altamente reactiva debido a su elevada área superficial, que se incrementa por la porosidad y la morfología irregular de sus partículas. Las superficies, compuestas mayoritariamente por vidrio volcánico y silicatos, ofrecen numerosos sitios activos que facilitan la adsorción de contaminantes y la promoción de reacciones ácido-base y de óxido-reducción.²² Esto puede dar lugar a la formación de radicales libres y a la generación de ácidos, alterando la química del cuerpo.

Efectos de la ceniza en la salud

Las erupciones volcánicas que generan abundante caída de ceniza suelen desencadenar síntomas respiratorios agudos, como irritación torácica, molestias nasales y faríngeas, y agravar patologías como asma y bronquitis, manifestándose con tos intensa, disnea, opresión torácica y sibilancias. Esta misma inhalación de ceniza fina puede exacerbar enfermedades crónicas como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y la cardiopatía isquémica.²³

Durante la erupción del Etna en 2002 se observó un aumento notable de consultas de urgencias por afecciones respiratorias y cardiovasculares, así

como conjuntivitis, dermatitis y alergias,^{24,25} mientras que en Islandia y Japón múltiples erupciones se asociaron con brotes de asma y bronquitis.^{11,26}

En cambio, los efectos crónicos se relacionan con una mayor tasa de mortalidad por enfermedades cardiopulmonares y una mayor prevalencia de algunos tipos de cáncer (por ejemplo, cáncer de labio, de cavidad oral, de faringe y de mama en mujeres).²⁶ Vigneri *et al.* (2017), reportaron una mayor incidencia de cáncer de tiroides en zonas volcánicas, y específicamente en el histotipo papilar.²⁷ Aunque todavía los metales se encuentran dentro de los límites aceptables, el efecto de hormesis, es decir, la actividad de metales pesados a concentraciones muy bajas debido a la respuesta celular bifásica y no lineal, y el posible efecto de potenciación resultante de la mezcla de diferentes metales que actúan sinérgicamente, pueden explicar el daño celular a concentraciones muy bajas.²⁷ Además, enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer también se han vinculado a la exposición crónica a metales contenidos en las emisiones volcánicas.²⁸

En el caso de problemas respiratorios a largo plazo, existe la preocupación de que se produzca silicosis, un tipo nodular de fibrosis pulmonar. Para ello, se deben cumplir tres condiciones: primero, una alta proporción de partículas finas (<2.5 µm) en la ceniza; segundo, una alta concentración de sílice cristalina; y tercero, la exposición a la ceniza en cantidades significativas durante años o décadas. Sin embargo, actualmente no se han documentado casos de silicosis confirmados.¹¹

Los experimentos *in vivo* han demostrado que los metales en el cerebro aumentan el estrés oxidativo y causan daño neuronal y neurotoxicidad. También se ha reportado que las emisiones volcánicas se asocian con el deterioro de la

Boletín de la Evidencia

Mayo-junio, 2025

Suplemento 3 Vol. 7 Núm 1.

ISSN: 2683-1422

espermatogénesis, apoptosis celular pulmonar e inflamación neuronal.²⁹ Estudios toxicológicos han sugerido que la exposición a la ceniza volcánica también podría tener un impacto negativo en el sistema inmunitario, lo que podría provocar infecciones más frecuentes y daños orgánicos.

La inhalación de sílice cristalina induce inflamación al estimular el inflamósoma NLRP3, un complejo receptor citosólico que desempeña un papel fundamental en el impulso de las respuestas inmunes inflamatorias.³⁰ Investigaciones sobre la incidencia y prevalencia de enfermedades han demostrado que la exposición a ceniza volcánica se correlaciona con un aumento en la morbilidad respiratoria en comunidades próximas a volcanes activos, lo que subraya la importancia de implementar protocolos de monitoreo y medidas preventivas para reducir estos riesgos y proteger la salud pública.³¹

CONCLUSIONES

El estudio de la ceniza volcánica evidencia una problemática de gran relevancia para la salud pública, dada su compleja composición y bioreactividad. La inhalación de estas partículas puede desencadenar enfermedades respiratorias graves, como silicosis y fibrosis pulmonar, y exacerbar condiciones preexistentes como el asma, mientras que el contacto directo puede provocar irritación cutánea y ocular.

La presencia de metales pesados aumenta el riesgo sistémico, lo que resulta especialmente crítico en poblaciones vulnerables. Además, la dispersión de la ceniza, influenciada por las condiciones atmosféricas y las características de la erupción, puede impactar áreas alejadas de la zona eruptiva. Por ello, se hace imperativo implementar sistemas de monitoreo continuo y protocolos de respuesta temprana que integren estudios multidisciplinarios para evaluar y mitigar estos riesgos.

La investigación en este ámbito no solo contribuye a entender los mecanismos de toxicidad, sino que también sienta las bases para desarrollar políticas de salud pública y estrategias preventivas, promoviendo la resiliencia y protección de las comunidades expuestas a eventos volcánicos.

REFERENCIAS

1. Horwell CJ, Baxter PJ. The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. *Bull Volcanol.* 2006;69:1–24. doi:10.1007/s00445-006-0052-y
2. Mueller W, Cowie H, Horwell CJ, Hurley F, Baxter PJ. Health impact assessment of volcanic ash inhalation: a comparison with outdoor air pollution methods. *GeoHealth.* 2020;4:e2020GH000256. doi:10.1029/2020GH000256
3. Poulidis AP, Phillips JC, Renfrew IA, *et al.* Meteorological controls on local and regional volcanic ash dispersal. *Sci Rep.* 2018;8:6873. doi:10.1038/s41598-018-24651-1
4. Aubry TJ, Farquharson JI, Rowell CR, *et al.* Impact of climate change on volcanic processes: current understanding and future challenges. *Bull Volcanol.* 2022;84:58. doi:10.1007/s00445-022-01562-8
5. Wirakusumah AD, Rachmat H. Impact of the 1815 Tambora eruption to global climate change. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2017;71:012007. doi:10.1088/1755-1315/71/1/012007
6. Small C, Naumann T. The global distribution of human population and recent volcanism. *Glob Environ Change B Environ Hazards.* 2001;3(3-4):93–109. doi:10.1016/S1464-2867(02)00002-5

Boletín de la Evidencia

Mayo-junio, 2025

Suplemento 3 Vol. 7 Núm 1.

ISSN: 2683-1422

7. Shoji D, Noguchi R, Otsuki S, *et al.* Classification of volcanic ash particles using a convolutional neural network and probability. *Sci Rep.* 2018;8:8111. doi:10.1038/s41598-018-26200-2
8. Hornby A, Gazel E, Bush C, *et al.* Phases in fine volcanic ash. *Sci Rep.* 2023;13:15728. doi:10.1038/s41598-023-41412-x
9. Damby DE, Horwell CJ, Larsen G, *et al.* Assessment of the potential respiratory hazard of volcanic ash from future Icelandic eruptions: a study of archived basaltic to rhyolitic ash samples. *Environ Health.* 2017;16:98. doi:10.1186/s12940-017-0302-9
10. Horwell CJ, Baxter PJ, Damby DE, *et al.* The International Volcanic Health Hazard Network (IVHHN): reflections on 20 years of progress. *Front Earth Sci.* 2023;11:1213363. doi:10.3389/feart.2023.1213363
11. Gudmundsson G. Respiratory health effects of volcanic ash with special reference to Iceland. A review. *Clin Respir J.* 2011;5(1):2–9. doi:10.1111/j.1752-699X.2010.00231.x
12. Schiavo B, Morton-Bermea O, Meza-Figueroa D, *et al.* Characterization and polydispersity of volcanic ash nanoparticles in synthetic lung fluid. *Toxics.* 2023;11(7):624. doi:10.3390/toxics11070624
13. Horwell CJ. Grain-size analysis of volcanic ash for the rapid assessment of respiratory health hazard. *J Environ Monit.* 2007;9:1107–15. doi:10.1039/B710583P
14. Horwell CJ, Williamson BJ, Donaldson K, *et al.* The structure of volcanic cristobalite in relation to its toxicity; relevance for the variable crystalline silica hazard. *Part Fibre Toxicol.* 2012;9:44. doi:10.1186/1743-8977-9-44
15. Schiavo B, Morton-Bermea O, Salgado-Martinez E, *et al.* Evaluation of possible impact on human health of atmospheric mercury emanations from the Popocatepetl volcano. *Environ Geochem Health.* 2020;42:3717–29. doi:10.1007/s10653-020-00610-6
16. Schiavo B, Meza-Figueroa D, Morton-Bermea O, *et al.* Metal(loid) bioaccessibility and risk assessment of ashfall deposit from Popocatepetl volcano, Mexico. *Environ Geochem Health.* 2024;46:354. doi:10.1007/s10653-024-02135-8
17. Balali-Mood M, Naseri K, Tahergorabi Z, *et al.* Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Front Pharmacol.* 2021;12:643972. doi:10.3389/fphar.2021.643972
18. Amaral A, Arruda M, Cabral S, *et al.* Essential and non-essential trace metals in scalp hair of men chronically exposed to volcanogenic metals in the Azores, Portugal. *Environ Int.* 2008;34(8):1104–8. doi:10.1016/j.envint.2008.03.013
19. Varrica D, Tamburo E, Dongarrá G, *et al.* Trace elements in scalp hair of children chronically exposed to volcanic activity (Mt. Etna, Italy). *Sci Total Environ.* 2014;470–471:117–26. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.09.058
20. Maters E, Delmelle P, Rossi MJ, *et al.* Controls on the surface chemical reactivity of volcanic ash investigated with probe gases. *Earth Planet Sci Lett.* 2016;450:254–62. doi:10.1016/j.epsl.2016.06.044
21. Tomašek I, Eychenne J, Damby DE, *et al.* Physicochemical properties and bioreactivity of sub-10 µm geogenic particles: comparison of volcanic ash and desert dust. *GeoHealth.* 2025;9:e2024GH001171. doi:10.1029/2024GH001171
22. Tomašek I, Damby DE, Andronico D, *et al.* Assessing the biological reactivity of organic compounds on volcanic ash: implications for human health hazard. *Bull Volcanol.* 2021;83:30. doi:10.1007/s00445-021-01453-4

Boletín de la Evidencia

Mayo-junio, 2025

Suplemento 3 Vol. 7 Núm 1.

ISSN: 2683-1422

23. Hlodversdottir H, Petursdottir G, Carlsen HK, *et al.* Long-term health effects of the Eyjafjallajökull volcanic eruption: a prospective cohort study in 2010 and 2013. *BMJ Open*. 2016;6(6):e011444. doi:10.1136/bmjopen-2016-011444
24. Lombardo D, Ciancio N, Campisi R, *et al.* A retrospective study on acute health effects due to volcanic ash exposure during the eruption of Mount Etna (Sicily) in 2002. *Multidiscip Respir Med*. 2013;8:9. doi:10.4081/mrm.2013.550
25. Shimizu Y, Dobashi K, Hisada A, *et al.* Acute impact of volcanic ash on asthma symptoms and treatment. *Int J Immunopathol Pharmacol*. 2007;20(2 Suppl 2):9–14. doi:10.1177/03946320070200S203
26. Amaral A, Rodrigues V, Oliveira J, *et al.* Chronic exposure to volcanic environments and cancer incidence in the Azores, Portugal. *Sci Total Environ*. 2006;367(1):123–8. doi:10.1016/j.scitoten- v.2006.01.024
27. Vigneri R, Malandrino P, Gianí F, *et al.* Heavy metals in the volcanic environment and thyroid cancer. *Mol Cell Endocrinol*. 2017;457:73–80. doi:10.1016/j.mce.2016.10.027
28. Navarro-Sempere A, Cobo R, Camarinho R, *et al.* Living under the volcano: effects on the nervous system and human health. *Environments*. 2025;12(2):49. doi:10.3390/environments12020049
29. Camarinho R, Garcia PV, Choi H, *et al.* Pulmonary oxidative stress and apoptosis in mice chronically exposed to hydrothermal volcanic emissions. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2021;28:35709–16. doi:10.1007/s11356-021-13043-0
30. Damby DE, Horwell CJ, Baxter PJ, *et al.* Volcanic ash activates the NLRP3 inflammasome in murine and human macrophages. *Front Immunol*. 2018;8:2000. doi:10.3389/fimmu.2017.02000
31. Bonadonna C, Frischknecht C, Menoni S, *et al.* Integrating hazard, exposure, vulnerability and resilience for risk and emergency management in a volcanic context: the ADVISE model. *J Appl Volcanol*. 2021;10:7. doi:10.1186/s13617-021-00108-5

D.R. ©mayo-junio. Erupción volcánica un riesgo para la salud: La toxicidad de la ceniza. *CyRS*. 2025; 7(1Suppl 3): 1-9.
DOI <https://doi.org/10.22201/fesz.26831422e.2025.7.1s.3>

Suplemento **Boletín de la evidencia** de la **Revista Casos y Revisiones de Salud**

Coordinador: Dr. Víctor Manuel Mendoza Núñez
Información: Dr. Benedetto Schiavo
Diseño e ilustraciones: Catalina Armendáriz Beltrán

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Campus I,
Av. Guelatao #66, Col. Ejército de Oriente, Alcaldía
Iztapalapa, C.P. 09230, Ciudad de México
Tels.: 56230700 ext. 30770. Email: mendovic@unam.mx