

## Artículo original

**La actividad volcánica y su relación con el medio ambiente y salud**José Antonio Rivera Tapia<sup>1</sup><sup>1</sup> Posgrado en Ciencias Ambientales y Centro de Investigaciones Microbiológicas del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (ICBUAP).**Resumen**

El estudio de la actividad volcánica a nivel mundial muestra que la exhalación de ceniza a la atmósfera puede alterar las condiciones bióticas y abióticas. El Monte Santa Helena y el volcán Pinatubo provocaron alteraciones en vías respiratorias de las poblaciones aledañas, además el volcán Pinatubo por la gran cantidad de ceniza exhalada a la atmósfera provocó un descenso en la temperatura a nivel global. El volcán Popocatepetl no ha significado un riesgo, sin embargo su constante exhalación de gases y cenizas puede condicionar la exacerbación de diferentes enfermedades alérgicas en la población. Considerar la actividad volcánica como una fuente de contaminación natural permitirá conocer a mediano plazo su implicación como factor de riesgo en diversas enfermedades de las poblaciones.

**Palabras clave:** *Actividad volcánica, ceniza, contaminación, factor de riesgo, salud pública.*

**Summary**

The study of the volcanic activity worldwide shows that ash exhalation to the atmosphere can disturb abiotic and biotic factors. Mount St. Helens and the Pinatubo volcano caused alterations in the respiratory airways of the neighboring populations. Additionally, the Pinatubo volcano, for the great quantity of ash exhaled to the atmosphere, caused a decrease temperature worldwide. The Popocatepetl volcano has not meant a risk until now, however its constant exhalation of gases and ashes could condition the initiation exacerbation of various allergic diseases in the population. The volcanic activity as a source of natural contamination may allow to consider at short term its implication as a risk factor for diverse populations diseases.

**Key words:** *Volcanic activity, ash, contamination, risk factor, public health.*

**Introducción**

El estudio de los problemas de la salud derivados de la interacción del hombre con su ambiente requiere de una con-

cepción global de los aspectos que se involucran en la generación de dichos problemas. Por tanto es necesario enfocar los estudios desde un punto de vista interdisciplinario, promover y propiciar la participación de los diversos sectores gubernamentales, académicos, industriales y de la sociedad en general.<sup>1,2</sup>

Para identificar oportunamente los riesgos ambientales para los ecosistemas y la salud es necesario conocer las rutas de acceso de los agentes contaminantes al ambiente y, en cada caso, su velocidad de traslado y degradación, su acumulación en los ecosistemas y sus interacciones con los seres vivos, especialmente los que causan efectos adversos a la salud de la población.<sup>3</sup> Los efectos adversos de la contaminación pueden manifestarse a corto plazo como se ha visto en el aumento de las consultas médicas por afecciones respiratorias, oculares, y de la piel. Además se plantea que la contaminación también contribuye de forma importante a incrementar diversos padecimientos degenerativos (cardiovasculares, respiratorios y neurológicos), y en particular, al aumento en la frecuencia de cáncer, alteraciones del desarrollo y de padecimientos hereditarios.<sup>4-6</sup>

La actividad del volcán Popocatepetl hasta ahora no ha significado un grave peligro en cuanto a destrucción física por su grado de explosividad, pero las emanaciones de gases y cenizas pueden llegar a deteriorar el ambiente y el estado de salud de las poblaciones circundantes por la cantidad de partículas y gases que exhala. Su ubicación geográfica (19° 01' latitud norte y 98° 37' longitud oeste, y con una altitud que alcanza los 5,452 metros sobre el nivel del mar), lo coloca en una situación especial por los numerosos asentamientos humanos que rodean sus laderas. El objetivo de este trabajo es presentar una revisión que permita considerar a la contaminación natural, exhalación de gases y ceniza propias de la actividad volcánica, como un factor de riesgo para la salud.

**Actividad volcánica**

La actividad volcánica fascina e inquieta y en la denominación de erupciones explosivas se agrupan erupciones con diversas características, desde las que emiten fuera del cráter

columnas verticales, de una altura de diez a cuarenta kilómetros, cargadas con fragmentos de variados tamaños, hasta las caracterizadas por la expulsión de una emulsión de ceniza caliente y densa, particularmente devastadora debido a su temperatura que puede alcanzar los 500°C, y una velocidad entre diez y cien metros por segundo.<sup>7,8</sup>

Donald Peterson, del Servicio Geológico de los Estados Unidos de Norteamérica, afirma que la prevención de riesgos volcánicos depende del tipo de actividad que presente el volcán en estudio, como puede ser la cantidad y características de las cenizas arrojadas a gran distancia, con flujos rápidos y avalanchas de lodos.<sup>9-11</sup>

En 1815 se registró una explosión volcánica en Indonesia, donde se produjeron efectos claramente perceptibles por la cantidad de ceniza liberada, y por medio de las corrientes atmosféricas dieron vuelta a todo el planeta, lo que provocó el llamado año sin verano, a causa del oscurecimiento generalizado, y como resultado del material suspendido se presentó un descenso en la temperatura terrestre. También las erupciones del volcán Irazú en Costa Rica y del volcán Redoubt, en Alaska, han propiciado disturbios en los ecosistemas circundantes.<sup>12-14</sup>

Las erupciones explosivas como las del Monte Santa Helena en 1981 y la del Pinatubo en Filipinas durante 1991, representaron un importante riesgo en la salud, ya que este último arrojó una cantidad colosal de ceniza a la estratosfera, lo que provocó una caída en la temperatura mundial que se prolongó dos años.<sup>15,16</sup>

La erupción del volcán Chichón, en México (abril de 1982), emitió una cantidad considerable de azufre, el cual al reaccionar con el vapor de agua en la estratosfera dio como resultado una bruma de gotas de ácido sulfúrico, tales gotas son químicamente estables y tardan en sedimentarse desde la estratosfera. Las predicciones del efecto final de las exhalaciones de El Chichón sobre el clima son todavía provisionales, pero se espera un enfriamiento global en la superficie de la tierra de 0.3°C.

Son trece los volcanes que han producido erupciones en tiempos históricos en nuestro país, algunos de ellos “dormidos”. El volcán Tres Vírgenes en Baja California, el Sanganguey y Ceboruco en Nayarit, el volcán del Fuego en Colima, el Parícutín y el Jorullo en Michoacán, el Popocatepetl y el Citlaltépetl dentro del eje neovolcánico, el Xitle en el D.F., el Chichón y el Tacaná en Chiapas, el Bárcenas y Everman en las Islas Revillagigedo.

El vulcanismo en México es originado por la dinámica en la zona de subducción del Pacífico, las fallas Motagua-Polochic, la falla Rivera y la reactivación de la falla que corre de Este a Oeste y que configura el eje neovolcánico transmexicano.

En Colima se encontró un depósito de productos conocidos genéricamente como de “caída libre de ceniza”, que incluye fragmentos de roca y ceniza que se depositaron sobre

el terreno cuando una columna eruptiva se elevó sobre el volcán en un evento explosivo. Por gravedad y ayudadas por el viento se han distribuido en una amplia zona alrededor del volcán. La lluvia de ceniza implica riesgos al cubrir cultivos, áreas de ganado, interrumpir el tránsito terrestre y aéreo, además de los riesgos a la salud por el contacto con partículas impalpables.<sup>17</sup>

En el periodo de febrero a diciembre de 1994 el volcán Popocatepetl tuvo una producción de 24,261 toneladas métricas de bióxido de azufre, representando una fuente natural de contaminación. El análisis de la ceniza reportó ser roca pulverizada rica en cuarzo y silicio, material de origen preexistente producto de un tapón en el cono del volcán.<sup>18</sup>

*Efectos en la salud por la actividad volcánica.* Los efectos en la salud por la exposición a cenizas volcánicas se han documentado en diferentes regiones, como es el caso de los volcanes La Soufriere, Sakurajima, Masaya, Yasur y el Monte Santa Helena.<sup>19-23</sup> Durante los cuatro años siguientes a la erupción del Monte Santa Helena que ocurrió entre el 27 de marzo y el 18 de octubre de 1980 al Sureste del estado de Washington, las personas expuestas manifestaron disminución en el flujo espiratorio forzado (FEV), aumento en la sintomatología respiratoria y efectos oculares. También se observó que en 18 de 23 autopsias la muerte fue causada por la inhalación de ceniza, los estudios de laboratorio mostraron que la ceniza no presentaba características tóxicas, sin embargo la porción respirable contenía de un 3 al 7% de silicio cristalino libre, lo cual representaba un riesgo potencial para la salud.<sup>24-26</sup>

Warheit y colaboradores (1988), demostraron que las cenizas del Monte Santa Helena no inducen la acumulación de macrófagos después de la exposición a ésta; sin embargo se sugiere que debido a la amplia variedad en las características físico-químicas de la ceniza, en ciertas ocasiones se puede activar el complemento y consecuentemente atraer macrófagos. Por su parte, los datos experimentales permiten observar cambios histológicos en la estructura pulmonar después del cuarto día de exposición a la ceniza volcánica.<sup>27</sup>

Durante la última semana de diciembre de 1994, el volcán Popocatepetl inició una nueva etapa de actividad, expulsando cenizas y óxidos de azufre. Por tanto se aplicó el cuestionario de enfermedades respiratorias de la *American Thoracic Society* y se realizó espirometría cronometrada a 80 personas que estuvieron expuestas de uno a cinco días. La mayoría experimentó ardor y resequeidad orofaríngea, tos, disnea de medianos y grandes esfuerzos y expectoración. En las espirometrías, 34 personas resultaron normales, 44 mostraron alteraciones restrictivas y 2 obstrucción. Estos resultados preliminares muestran alteraciones funcionales pulmonares en una proporción similar a la exposición a humo de tabaco o leña. La inhalación de bióxido de carbono provoca constricción del tracto respiratorio y aumenta las resistencias al flujo

**Cuadro 1.** Contaminantes emitidos por la actividad volcánica.

Volcán	Emisión	Referencia
Popocatepetl	SO <sub>2</sub>	Rojas, 1995
Chichón	NO, NO <sub>2</sub> , HCl	Michelangeli, 1989
Sakurajima	Hg	Tomiyasu, 2000
Copahue	Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, U, V, Zn	Gómez, 2002
Monte Etna	Rn, CO <sub>2</sub>	D' Alessandro, 2003
Soufriere (Montserrat)	BrO, SO <sub>2</sub> , HCl	Bobrowski, 2003

del aire, por lo que se observan cambios en los patrones normales de la función pulmonar.<sup>19</sup>

La inhalación de ceniza en modelos animales demuestran disminución en la movilidad ciliar a nivel del epitelio traqueal, el tejido traqueal presenta cambios citomorfológicos moderados después de dos horas de exposición a concentraciones de ceniza de 1, 10 y 100 µg/mL. El grado del daño epitelial y los cambios en la movilidad ciliar están relacionados con las dosis y el número de exposiciones a la ceniza volcánica.<sup>28,29</sup>

La inhalación experimental de ceniza (10 µg/m<sup>3</sup>) en hámsters, proveniente de la actividad del volcán Popocatepetl, provocó foco neumónico con detritus celulares, reacción inflamatoria aguda y crónica e infiltrado de linfocitos a nivel del tejido pulmonar.<sup>30</sup>

La actividad volcánica no sólo se relaciona con emisión de ceniza, ya que también se despiden otros contaminantes que representan riesgo para la salud y los ecosistemas circundantes (cuadro 1).

**El futuro del medio ambiente y salud.** El ambiente físico y biológico del planeta está cambiando de forma significativa como resultado de la actividad humana, y estos cambios pueden representar un enorme impacto en la salud humana. Una de las prioridades del desarrollo es la protección a la salud en un escenario de rápido cambio ambiental. Por tal situación, se requieren de políticas sociales que conviertan el crecimiento económico en verdadero desarrollo sustentable. Por tales razones es necesario que los sectores económico, social y ambiental se involucren en real colaboración.<sup>36,37</sup> Los países desarrollados, recientemente han considerado al ambiente como parte fundamental en el desarrollo de la planeación y política de un país, y que el estudio del medio ambiente puede favorecer, desde el punto de vista del costo-beneficio, a las empresas. Los primeros resultados, permiten observar que los instrumentos económicos y políticos con objetivos y aplicaciones al medio ambiente tienen una gran relevancia en el sector salud. Es necesario que a nivel mundial los ministerios de salud o dependencias encargadas influyan considerablemente en la política económica de los gobiernos.<sup>38,39</sup>

Hay que tener en cuenta que los procesos de urbanización se pueden considerar como uno de los principales cambios ambientales globales que afectan directamente la salud. Las

poblaciones más afectadas se localizan en países desarrollados, donde un rápido crecimiento urbano se ha acompañado de una masiva pobreza urbana y por ende la aparición de diversas enfermedades.<sup>40</sup> Así, el término de salud de la población se ha visto influido por “fuerzas económicas y ambientales”, donde el cambio ambiental incluye alteraciones en el clima, calentamientos globales, disminución de los recursos naturales, ecotoxicidad y disminución de la biodiversidad, pronosticándose que estos cambios ambientales generarán impactos en la salud a mediano y largo plazo.<sup>41-44</sup>

Los niños representan un grupo de la población que requiere de una consideración especial en lo referente a la exposición de riesgos ambientales, ya que sus tejidos y órganos crecen rápidamente, desarrollándose y diferenciándose. Estos procesos crean ventanas de gran vulnerabilidad a los tóxicos ambientales. Y debido a que los patrones de exposición a contaminantes ambientales son muy diferentes entre niños y adultos se deben investigar los siguientes puntos: a) explorar y cuantificar patrones de exposición, b) implementar y/o utilizar pruebas o técnicas para el reconocimiento de consecuencias por la exposición durante el desarrollo temprano, c) identificar, por medio de estudios clínicos y epidemiológicos la etiología posible por la asociación entre la exposición ambiental y la(s) enfermedades, d) elucidar a nivel celular y molecular los mecanismos patogénicos de las enfermedades ambientales.<sup>45</sup>

## Conclusiones

La ecología de la salud es un subsistema que representa el interés de la salud pública, desde el punto de vista del monitoreo de la exposición a contaminantes, tanto naturales o antropogénicos, y de su impacto en la salud. Se plantea que si las exhalaciones volcánicas son frecuentes y las condiciones climáticas influyen en la dispersión de cenizas, como es el caso del volcán Popocatepetl, se puede favorecer la aparición de alteraciones en la salud.

Estudios multidisciplinarios en países desarrollados respecto a la actividad volcánica han permitido mitigar los riesgos en la salud. El futuro de la relación ambiente-salud depende de la integración de diversos grupos en la sociedad, siendo necesario involucrar profesionales de los campos de la economía, tecnología, socioculturales, salud y otras áreas más.

Si consideramos que la economía y la salud pública están sustancialmente determinadas por las condiciones del medio ambiente, entonces se debe insistir que los valores, la visión y la capacidad de los dirigentes puede tener un impacto extraordinario en el futuro del medio ambiente y la salud.

## Referencias

1. Storch HV, Stehr N. Climate research. The case for the social sciences. *Ambio* 1997; 26: 66-71.
2. Kiessling KL. Conference on the Aral sea-women, children, health and environment. *Ambio* 1998; 27: 560-564.
3. Connell DW. Ecotoxicology a framework for investigations of hazardous chemicals in the environment. *Ambio* 1987; 16: 47-50.
4. López P, Ramos M. El medio ambiente en México: temas, problemas y alternativas. Ed. Fondo de Cultura Económica, México D.F. 1982: 357-369.
5. Wakisaka I, Yanagihashi T, Sato M, Tomari T. Health effects of volcanic air pollution an analysis of the national health insurance. *Nippon Eiseigaku Zasshi* 1989; 44: 977-986.
6. Mannino DM, Ruben S, Holschun FC, Wilson MD. Emergency department visits and hospitalizations for respiratory disease on the island Hawaii, 1981 to 1991. *Hawaii Med J* 1996; 55: 48-54.
7. Rubin CH, Noji EK, Seligman PJ, Holtz JL, Grande J, Vittani F. Evaluating a fluorosis hazards after a volcanic eruption. *Arch Environ Health* 1994; 49: 395-401.
8. Baxter PJ, Bonadonna C, Dupree R, Hards VL, Kohn SC, Murphy MD, Nichols A, Nichols RA, Norton G, Searl RS, Vickers BP. Cristobalite in volcanic ash of the Soufriere Hills volcano, Montserrat, British West Indies. *Science* 1999; 283: 1142-1145.
9. Weinstein P, Patel A. The Mount Ruapehu eruption, 1996: a review of potential health effects. *Aust N Z J Public Health* 1997; 21: 773-778.
10. Yano E, Takeuchi A, Nishii S, Koizumi A, Poole A, Brown RC, Johnson NF, Evans PH, Yukiya Y. *In vitro* biological effects of volcanic ash from Mount Sakurajima. *J Toxicol Environ Health* 1985; 16: 127-135.
11. Dollberg DD, Bolyard ML, Smith DL. Evaluation of physical health effects due to volcanic hazard: crystalline silica in Mount St. Helens volcanic ash. *Am J Public Health* 1986; 76: 53-58.
12. Carrillo R. La amenaza de los volcanes. *Información Científica y Tecnológica-CONACYT* 1994; 211: 12-15.
13. Willie A, Fuentes G. Effects of the ashes of the Irazu volcano (Costa Rica) on various insects. *Rev Biol Trop* 1975; 23: 165-175.
14. Dorova JM, Milner AM. Research: Effects of recent volcanic eruptions on aquatic habitat in the drift river, Alaska, USA: Implications at other cook inlet region volcanoes. *Environ Manage* 1999; 23: 217-230.
15. Krees V. Magma mixing as a source for Pinatubo sulphur. *Nature* 1997; 389: 591-593.
16. Brasseur G. Mount Pinatubo aerosols, chlorofluorocarbons and ozone depletion. *Science* 1992; 257: 1239-1242.
17. Navarro OC. Conviviendo con los volcanes. *Información Científica y Tecnológica-CONACYT* 1994; 211: 22-24.
18. Rojas RM, Noa OH, Pérez NJ, Villalba CJ. Efecto sobre la función pulmonar en personas expuestas a cenizas del volcán Popocatepetl, diciembre de 1994-enero de 1995. *Rev Inst Nal Enf Resp Mex* 1995; 8: 112-118.
19. Buist AS, Vollmer WM, Johnson LR, Bertein RS. A four year study of the prospective effects of volcanic ash Mt. St. Helen. *Am Rev Respir Dis* 1986; 133: 526-534.
20. Yano E, Yokoyama Y, Higashi H, Nishii S, Maeda K, Koizumi A. Health effects of volcanic ash: a repeat study. *Arch Environ Health* 1990; 45: 367-373.
21. Baxter PJ, Ing R, Falk H, Plikaytis B. Mount St. Helens eruption: the acute respiratory effects of volcanic ash in a North American community. *Arch Environ Health* 1983; 38: 138-143.
22. Baxter PJ, Stoiber RE, Williams SN. Volcanic gases and health. *Masaya volcano, Nicaragua. Lancet* 1993; 2: 150-151.
23. Cronin SJ, Sharp DS. Environmental impacts on health from continuous volcanic activity at Yasur (Tanna) and Ambryn, Vanuatu. *Int J Environ Health Res* 2002; 12: 109-123.
24. Johnson KG, Loftsgaarden DO, Gideon RA. The effects of Mounts St. Helen volcanic ash on the pulmonary function of 120 elementary school children. *Am Rev Resp Dis* 1982; 126: 1066-1069.
25. Baxter PJ, Ing R, Falk H, French J, Stein GF, Bernstein RS, Merchant JA, Allard J. Mount St. Helens eruption, my 18 to June 12. An overview of the acute health impact. *JAMA* 1981; 246: 2585-2589.
26. Fraunfelder FT, Kalina RE, Buist AS, Bernstein RS, Johnson DS. Ocular effects following the volcanic eruptions of mount St. Helens. *Arch Ophthalmol* 1983; 101: 376-378.
27. Warheit DB, Overby LH, George G, Brody AR. Pulmonary macrophages are attracted to inhaled particles through complement activation. *Exp Lung Res* 1988; 14: 51-66.
28. Bland MC, Nakaue HS, Goeger MP, Helfer DH. Duration of exposure histological effects on broiler lungs, performance, and house environment with Mt. St. Helens volcanic ash dust. *Poult Sci* 1985; 64: 51-58.
29. Schiff LJ, Byrne MM, Elliott SF, Moore SJ, Ketels KV, Graham JA. Response of hamster trachea in organ culture to Mount St. Helens volcanic ash. *Scan Electron Microsc* 1981; Pt: 169-178.
30. Rivera TJA, Cedillo RL, Gil JC, Giono CS. *Rev Universidad y Ciencia* 2003; 19: (En prensa).
31. Michelangeli DV, Allen M, Yung YL. El Chichon volcanic aerosols: impact of radioactive, thermal, and chemical perturbations. *J Geophys Res* 1989; 94: 18429-18443.
32. Tomiyasu T, Nagano A, Sakamoto H, Yonehara N. Background levels of atmospheric mercury in Kagoshima city, and influence of mercury emission from Sakurajima volcano, southern Kyushu, Japan. *Sci Total Environ* 2000; 259: 231-237.
33. Gomez D, Smichowski P, Polla G, Ledesma A, Resnizky S, Rosa S. Fractionation of elements by particle size of ashes ejected from Copahue volcano, Argentina. *J Environ Monit* 2002; 4: 972-977.
34. D' Alessandro W, Vita F. Groundwater radon measurements in the Mt. Etna area. *J Environ Radiact* 2003; 65: 187-201.
35. Bobrowski N, Honninger G, Galle B, Platt U. Detection of bromine monoxide in a volcanic plume. *Nature* 2003; 423: 273-276.
36. Woodward A, Hales S, Litidamu N, Philips D, Martin J. Protecting human health in a changing world: the role of social and economic development. *Bull World Health Organ* 2000; 78: 1148-1155.
37. Beslagic Z. Population and health. *Med Arh* 2001; 55: 9-12.
38. Levy BS. The future of environment and health: a global perspective. *Int J Occup Environ Health* 1999; 5: 299-303.
39. Warford JJ. Environment, health, and sustainable development: the role of economic instruments and policies. *Bull World Health Organ* 1995; 73: 387-395.
40. Spickett J, Lindars E. Environmental health in environmental protection. *Aust N Z J Public Health* 2000; 24: 223-225.
41. Stephens C. The urban environment, poverty and health in developing countries. *Health Policy Plan* 1995; 10: 109-121.
42. Vallejo M, Jáuregui-Renaud K, Hermosillo AG, Márquez MN, Cárdenas M. Efectos de la contaminación atmosférica en la salud y su importancia en la ciudad de México. *Gac Méd Méx* 2003; 139: 57-63.
43. Munguía CME, Pérez NJ. La contaminación atmosférica en el sur de la zona metropolitana del Valle de México. *Rev Inst Nal Enf Resp Mex* 2003; 16: 48-53.
44. Hancock T. Future directions in population health. *Can J Public Health* 1999; 90(Suppl): 68-70.
45. Landrigan PJ. Risk assessment for children and other sensitive populations. *Ann NY Acad Sci* 1999; 895: 1-9.