

Mapa de Peligros por Caída de Productos Balísticos del Volcán Popocatepetl

Miguel Angel Alatorre Ibagiengoitia¹, Hugo Delgado Granados²
 e Isaac Abimelec Farraz²
¹Facultad de Ciencias, U.N.A.M., ²Instituto de Geofísica U.N.A.M.



Durante las erupciones volcánicas ocurren diversos fenómenos, entre los cuales se encuentran las explosiones, las cuales arrojan fragmentos de roca (proyectiles) a grandes velocidades. Estos proyectiles son muy peligrosos para la población, razón por la que es indispensable que permanezca alejada del volcán, en un lugar protegido.

Para que la población pueda protegerse adecuadamente, es necesario establecer rangos de seguridad acordes con el alcance esperado de los proyectiles. Este alcance varía con la energía de los eventos, el tamaño de los proyectiles, la dirección del viento, etc. Para ello, se requiere calcular las distancias que alcanzarán los proyectiles bajo circunstancias que pueden ocurrir en la realidad (escenarios explosivos). Las características de un tipo de explosiones que pueden ocurrir en el volcán con probabilidad baja, intermedia y alta se reflejan en los escenarios explosivos, los cuales definen zonas que se pueden planear sobre un mapa. El mapa es una herramienta que permite reconocer las áreas más seguras al ocurrir explosiones en el Volcán Popocatepetl.

Los escenarios mostrados en este Mapa de Peligros por Caída de Productos Balísticos han sido calculados mediante observaciones hechas durante los eventos que han ocurrido en el transcurso de la presente erupción del Popocatepetl.

Las Explosiones Volcánicas

Para que se generen estas explosiones es necesario que existan gases disueltos en el magma (roca fundida) alojada en el interior de los volcanes. El nivel de explosividad dependerá de qué tan alto es el contenido de gases disueltos y qué tan densos y viscosos es el magma.

Las explosiones volcánicas ocurren al cambiar repentinamente la presión del magma en el interior de los volcanes. Esto obliga a los gases disueltos en el magma a liberarse rápidamente produciendo explosiones, las cuales consisten en un aumento rápido de volumen que, por su energía, rompen el magma, a las rocas que forman las paredes de los conductos volcánicos, o a las lavas que rellenan y taponan los conductos. La dirección y el alcance de los productos de las explosiones dependen de su magnitud, la geometría de la fuente y, sobre todo, de la densidad y forma de estos productos.

¿Qué son los productos balísticos?

Las explosiones volcánicas producen fragmentos que son expulsados hacia la atmósfera para luego caer sobre la superficie terrestre siguiendo trayectorias aproximadamente parabólicas. Los fragmentos pueden tener el alcance y la velocidad de hasta algunos metros y se conocen con el nombre de productos balísticos (Figura 1).



Figura 1. Proyectiles balísticos incandescentes arrojados por el Volcán Popocatepetl el 19 de diciembre del 2000. La mayoría se precipita dentro del cráter y el resto se impacta contra las laderas, reduciendo por la fricción dando la falsa apariencia de flujos de lava.

Los fragmentos de roca producidos durante las explosiones, son expulsados a través del cráter del volcán y de acuerdo con su tamaño se conocen como cenizas si tienen un tamaño menor a 2 mm, lapilli si su tamaño está entre 2 y 64 mm y bloques si los fragmentos son mayores a 64 mm. En el caso de que estos materiales hayan estado en estado líquido o semi-líquido al momento de la explosión, los fragmentos adquieren forma de hongo (como bollos) al solidificarse en el aire y se les denominan bombas volcánicas. Los bloques volcánicos son fragmentos de roca antigua que forman el cráter, las paredes de los conductos o los cuerpos de lava que han salido con anterioridad y que son lanzados en estado sólido desde el cráter.

Durante las explosiones volcánicas los proyectiles balísticos son expulsados del cráter con velocidades que pueden alcanzar los 1000 m/s, lo que les permite recorrer algunos kilómetros de distancia en menos de un minuto. La trayectoria parabólica que describen estos productos antes de caer en la superficie de la tierra es modificada por la fuerza de arrastre del aire, la cual disminuye considerablemente el alcance y provoca que la caída de los balísticos sea más vertical de la que sería en un movimiento parabólico (Figura 2).



Figura 2. Trayectoria de un proyectil balístico expulsado con velocidad V_0 y ángulo θ_0 . La fuerza de arrastre del aire disminuye considerablemente el alcance de los productos balísticos y provoca que la caída sea más vertical que en una trayectoria parabólica normal si no tomar en cuenta esta fuerza.

Eventos Explosivos en el Volcán Popocatepetl

En el pasado geológico del volcán Popocatepetl han ocurrido numerosos eventos explosivos, algunos de ellos de gran magnitud. Al realizar los registros de campo relacionados con este trabajo, se identificaron en las inmediaciones del volcán impactos balísticos que ocurrieron durante algunas de las erupciones pasadas (Figura 3).



Figura 3. En las inmediaciones de los volcanes existen vestigios de impactos balísticos producidos durante erupciones antiguas que ocurrieron hace cientos de miles de años. Este registro parabólico ayuda a comprender muchos de los aspectos relacionados con este tipo de procesos volcánicos.

Durante el presente periodo de actividad, que comenzó el 21 de diciembre de 1994 y que continúa hasta la fecha, también han ocurrido varios eventos explosivos, todos ellos de poca a mediana intensidad. Varios de ellos han producido grandes columnas de cenizas que han sido visibles a decenas de kilómetros de distancia (Figura 4). Sin embargo, en las proximidades del volcán es donde se pueden observar con mayor claridad los efectos de los impactos balísticos (Figuras 5 y 6).



Figura 4. Explosión ocurrida en el volcán Popocatepetl el 12 de diciembre del año 2000, vista desde la estación Universidad del Mérida en el Distrito Federal aproximadamente a 60 km del cráter.



Figura 5. Explosión ocurrida el 27 de abril de 1994 en el volcán Popocatepetl, visto desde las cercanías del cráter, aproximadamente a 3.5 km del cráter. Se puede apreciar la caída de cenizas (superior) e impactos balísticos sobre la superficie del cráter que produce nubes de cenizas y lapilli pulverizado. La columna de cenizas alcanzó 15 kilómetros por encima del cráter. Fotografía tomada por el M. I. Roberto Quas Weggen.



Figura 6. Cráter de impacto de un proyectil balístico arrojado a casi 3 km del cráter del Volcán Popocatepetl durante un evento explosivo ocurrido el 7 de agosto de 1996. Se observa un bloque de 85 cm de largo alojado en el interior del cráter que produce. Fotografía tomada por el M. I. Roberto Quas Weggen.

El evento ocurrido en el volcán Popocatepetl el 30 de junio de 1997 representa uno de los explosivos más grandes ocurridos durante la erupción actual. El evento lanzó fragmentos de pólvora de hasta 10 cm de diámetro en flujo de Conas, partiendo del tamaño de la arena en Anahuacayán y cenizas más finas en la Ciudad de México.

En noviembre y diciembre de 1998 ocurrieron también diferentes eventos explosivos que produjeron proyectiles balísticos incandescentes que alcanzaron una distancia máxima de 3.7 km respecto al cráter (Figuras 7a y 7b).

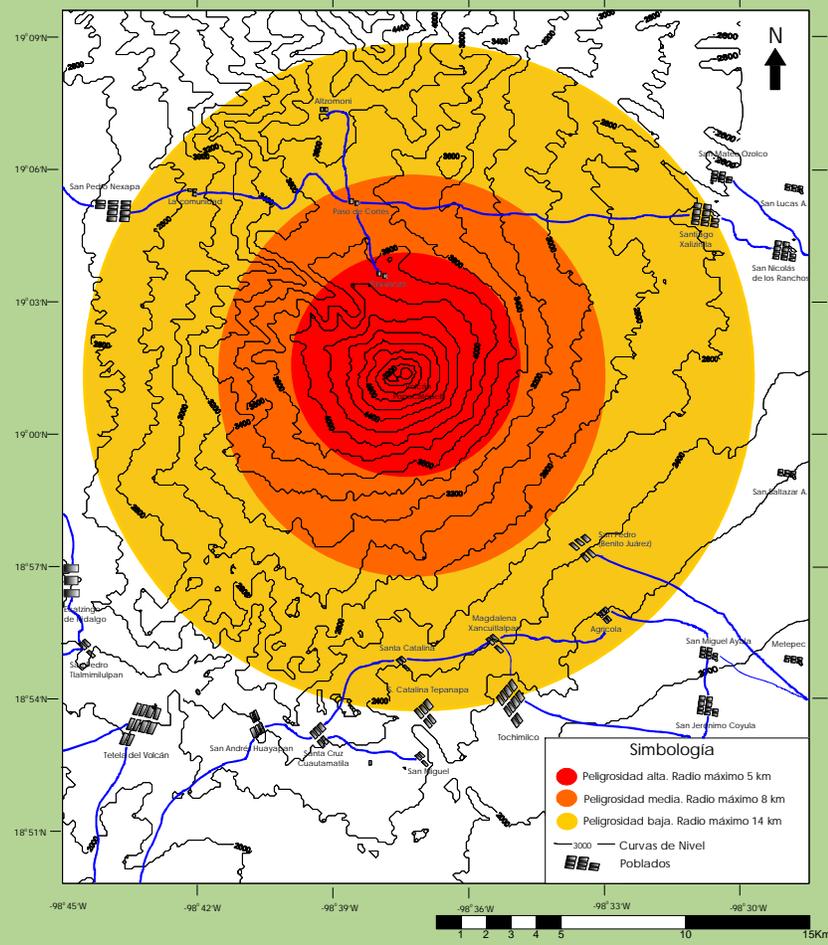


Figura 7. Fotografías del evento explosivo del Volcán Popocatepetl ocurrido el 17 de diciembre de 1998 en el que fueron arrojados proyectiles balísticos incandescentes hasta una distancia de 17.3 km del cráter. A) Al inicio de la explosión (18:47:27), B) Al momento en que se observa el impacto de los productos balísticos sobre la masa de hielo glacial (18:47:44). Nota: que hay una diferencia de 17 segundos entre las dos imágenes, aunque los primeros impactos ocurrieron 5 segundos después de iniciada la explosión. C) Después de la explosión ocurrida el 17 de diciembre de 1998, los productos balísticos alcanzaron la zona de matorrales del volcán Popocatepetl y quemaron la vegetación, produciendo un incendio considerable (18:48:18). Fotografías del archivo videográfico del CENAPRED.

Figura 8. Peligros por caída de productos balísticos del volcán Popocatepetl. El peligro volcánico se define como la probabilidad de que un área determinada sea afectada por procesos o productos volcánicos potencialmente destructivos en un intervalo dado de tiempo. El Mapa de Peligros por Caída de Productos Balísticos del Volcán Popocatepetl presenta las áreas máximas aproximadas que pueden ser alcanzadas por los proyectiles balísticos lanzados por el volcán Popocatepetl de acuerdo a diferentes escenarios explosivos que están basados en observaciones de la erupción actual y eventos históricos del volcán.

Para determinar los máximos alcances posibles se elaboró un modelo matemático que describe la trayectoria de los productos balísticos considerando la fuerza de la gravedad y la fuerza de arrastre del aire. Con dicho modelo se calcula el ángulo de lanzamiento del proyectil con el que se obtiene su máximo alcance.

Durante el procesamiento de la información se encontró que existe un rango óptimo de tamaño de los fragmentos, el cual depende de la magnitud de la explosión y con el cual los balísticos logran un mayor alcance. Esto es debido a que los fragmentos de dimensiones mayores y menores a este rango optan respectivamente más las fuerzas gravitatoria y de arrastre respectivamente, y como consecuencia de ello su alcance es menor.

Utilizando las condiciones de máximo alcance obtenidas y considerando un viento favorable se calculó la distancia máxima que pueden alcanzar los proyectiles balísticos en tres escenarios explosivos posibles en el volcán Popocatepetl: el de la erupción actual (el más común), el de una erupción de magnitud intermedia (subfallina) y el de una erupción de gran magnitud (plumina), todos documentados con base en erupciones pasadas de diferentes magnitudes del Popocatepetl para obtener resultados realistas.

En cada cálculo se consideró la topografía del volcán así como las restricciones que impone el cráter al ángulo de salida. En función de lo anterior, el alcance varía según el sector hacia donde se dirige la explosión, sin embargo, el alcance máximo calculado para la zona de mayor peligro (escenario de magnitud similar a la erupción actual) es de 5 km, mientras que el de la zona de peligrosidad intermedia (escenario de erupción subfallina) es de 8 km y el alcance de la zona de peligrosidad baja (escenario de erupción plumina) es de 14 km a partir del cráter.

De esta manera, los tres escenarios plausibles en el mapa permiten tener una percepción espacial del área que puede ser afectada por la caída probable de balísticos. En el caso más probable y por tanto de mayor peligro, el área de afectación se señala en color rojo. En el caso menos probable y por tanto de menor peligro, correspondiente a los eventos explosivos plumina, el alcance es mayor y el área de afectación se muestra en color amarillo. En este caso, se incluyen diversas poblaciones dentro de esta área. La zona de peligrosidad intermedia se muestra en color naranja.

El mapa permite, mediante esta distinción de áreas de posible alcance, identificar las áreas de afectación según los diferentes escenarios, la cual es útil en la planeación de las acciones a llevar a cabo en caso de contingencia.

Este mapa fue construido con apoyo del Instituto de Geofísica y el acervo videográfico del Centro Nacional de Prevención de Desastres de la Secretaría de Gobernación. En el trabajo de campo participaron Patricia Julio Miranda, Esther Romero Torres, Enrique Alberto González Huasca y Beatriz Oropesa Villalobos del Instituto de Geofísica de la UNAM y Marcos I. Barah de la Universidad Estatal de Nueva York en Buffalo, EUA. Agradecemos el apoyo de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM a través del proyecto IN 102497. Agradecemos al M.I. Roberto Quas Weggen por proporcionarnos la información en video del CENAPRED. El Dr. José Luis México del Instituto de Geofísica y el M.I. Roberto Quas Weggen del CENAPRED revisaron versiones preliminares del mapa.

Reconocimientos
 Este mapa fue construido con apoyo del Instituto de Geofísica y el acervo videográfico del Centro Nacional de Prevención de Desastres de la Secretaría de Gobernación. En el trabajo de campo participaron Patricia Julio Miranda, Esther Romero Torres, Enrique Alberto González Huasca y Beatriz Oropesa Villalobos del Instituto de Geofísica de la UNAM y Marcos I. Barah de la Universidad Estatal de Nueva York en Buffalo, EUA. Agradecemos el apoyo de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM a través del proyecto IN 102497. Agradecemos al M.I. Roberto Quas Weggen por proporcionarnos la información en video del CENAPRED. El Dr. José Luis México del Instituto de Geofísica y el M.I. Roberto Quas Weggen del CENAPRED revisaron versiones preliminares del mapa.

Bibliografía
 Alatorre-Ibagiengoitia, M. A., y Delgado-Granados, H., sometido. *Determination of hazard zones by ballistic-product-fall during volcanic eruptions: case study Volcán Popocatepetl (Mexico)*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 73 pp.

Blong, R.J., 1984. *Volcanic hazards: A Sourcebook on the Effects of Eruptions*. Academic Press, Orlando, Florida, pp. 21-26.

Bower, S.M. y Woods, A.W., 1996. *On the dispersal of clasts from volcanic craters during small explosive eruptions*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 73 pp.19-32.

Fagents, S.A. and Wilson, L., 1993. *Explosive volcanic eruptions-VII. The ranges of pyroclasts ejected in transient volcanic eruptions*. *Geophysics*, J. Int., 113, p. 359-370.

Fudali, R.F. and Melson, W.G., 1972. *Ejecta velocities, Magna Chamber Pressure and Kinetic Energy Associated with the 1968 Eruption of Arenal Volcano*. *Bulletin of Volcanology*, 35, pp. 383-401.

Wait, R.B., Mastin, L.G. & Miler, T.P., 1995. *Bulletin: Showers During Crater Peak Eruptions of Mount Spurr Volcano, Summer 1992*. U.S.G.S. Bulletin, pp. 89-106.

Whoon, L., 1972. *Explosive Volcanic Eruptions II. The Atmospheric Trajectories of Pyroclasts*. *Geophysics Jour. Roy. Astr.*, 30, pp. 381-392.



Mayor información y contact:
 Instituto de Geofísica, UNAM
 Circuito Científico C.U.
 Ciudad de México, C.P. 04510
 México, D.F.
 Teléfono: 5622-4122
 Fax: 5350-2486
www.geofisica.unam.mx