

Evaluación del riesgo relativo de los volcanes en México

Ramón Espinasa-Pereña¹

¹ *Subdirección de Riesgos Volcánicos, Dirección de Investigación, Centro Nacional de Prevención de Desastres – respinasa@cenapred.unam.mx*

Palabras clave: México, volcanes, peligro, vulnerabilidad, riesgo, evaluación.

Introducción: En el marco de la creación de un posible Servicio Volcanológico Nacional, como parte del Sistema Nacional de Alertas, se realizó un diagnóstico de las necesidades de monitoreo volcánico de México, basado en los peligros presentados por 46 volcanes y/o campos volcánicos considerados geológicamente activos en el país y dos volcanes situados fuera del Territorio Nacional (Estados Unidos y Guatemala), pero que por su cercanía se considera que son potencialmente peligrosos para algunas de las ciudades fronterizas en México.

En los volcanes que son adecuadamente monitoreados, se pueden registrar actividad pre-eruptiva. En contraste, en los volcanes no monitoreados, no se pueden registrar señales de que se están reactivando o iniciando una gran erupción. El monitoreo es más efectivo cuando los instrumentos han sido instalados antes del inicio de la reactivación, lo que permite alertar de manera preventiva a las comunidades, dando más tiempo a los esfuerzos de mitigación.

El nivel de conocimientos que se tiene acerca de la historia eruptiva de cada uno de los volcanes varía mucho. Para el análisis se consideraron todos aquellos volcanes y campos volcánicos para los que existen evidencias en la literatura, de haber presentado actividad eruptiva durante los últimos 10,000 años, así como aquellas calderas y campos geotérmicos con actividad en los últimos 100,000 años, considerando el periodo de retorno mucho más grande que presentan este tipo de volcanes. Se tomaron en cuenta las listas de volcanes activos consideradas por el programa de volcanismo global del instituto Smithsonian (<http://www.volcano.si.edu/>), por Capra et al. (2007), De la Cruz-Reyna (2008), Martínez Bringas et al. (2006) y Varley (2012), aunque no todos los volcanes mencionados en dichos catálogos fueron incluidos, ya que en varios no existen evidencias de actividad Holocénica.

Para priorizar los esfuerzos de monitoreo y mitigación por riesgos volcánicos de manera eficiente, el nivel de monitoreo instalado en cada volcán debe estar en función del riesgo relativo que representa cada volcán. Para ello se consideró el tipo de actividad que puede presentar, así como la vulnerabilidad de la población y la infraestructura

afectable. El cálculo del riesgo relativo representado por cada volcán, se hizo mediante una modificación de la metodología propuesta por Ewert et al. (2005) y Ewert (2007). En esta metodología se asignan valores de Peligro Relativo a cada volcán, en función de su estilo eruptivo, alcance de sus productos, frecuencia de sus erupciones y señales de actividad. De igual manera, se hace un análisis de sistemas expuestos para determinar un valor de Vulnerabilidad Relativa. Estos dos valores se multiplican para obtener un valor de Riesgos Relativo en cada volcán.

El análisis de sistemas expuestos se llevó a cabo mediante el uso del Atlas Nacional de Riesgos (ANR), tomando como parámetro el alcance promedio de las amenazas involucradas en radios de 5, 10, 30 y 100 km desde el cráter. Estos radios se definieron en función de los alcances promedio de los distintos peligros volcánicos. Para el caso de los campos volcánicos, este análisis se realizó tomando en cuenta el área en la cual se tiene registro de los productos generados por estos campos, fundamentalmente el alcance de las lavas.

Dentro del radio de 5 km se considera que las amenazas que pueden afectar a los distintos sistemas sociales (o infraestructura?) son derrames de lava, flujos piroclásticos, lahares, balísticos, cenizas, gases y avalanchas de escombros. Para el radio de 10 km se presentan las mismas amenazas a excepción de los balísticos. Las amenazas que pueden afectar a los distintos sistemas sociales dentro de los 30 km de radio son lahares, caídas de cenizas y avalanchas de escombros. La única amenaza que puede afectar a los sistemas sociales en un radio de 100 km son las caídas de ceniza, que estarán en función de la dirección del viento predominante en el momento del evento explosivo.

Para este análisis se tomaron en cuenta variables sociales tales como población, vivienda, educación, salud, transporte, equipamiento urbano y superficie.

Evaluación del peligro y la vulnerabilidad: Para priorizar los esfuerzos de monitoreo y mitigación por riesgos volcánicos de manera eficiente, el nivel de monitoreo instalado en cada volcán debe estar en función del riesgo relativo que representa, considerando el tipo de actividad que puede presentar así como la vulnerabilidad de la población y la infraestructura afectable. El cálculo del

riesgo relativo representado por cada volcán se hizo mediante una modificación de la metodología propuesta por Ewert et al. (2005) y Ewert (2007), considerando el tipo de información disponible en la literatura geológica acerca de los volcanes mexicanos, así como la información disponible en el

Atlas Nacional de Riesgos acerca de la población e infraestructura alrededor de los volcanes.

La evaluación del peligro relativo de cada volcán se hizo a partir de la información sobre su historia eruptiva, los tipos de peligros volcánicos característicos, su recurrencia y el estado de actividad que presenta actualmente (Tabla 1, Figura 1).

Tabla 1: Evaluación de los Factores de Peligro Volcánico	
Tipo de volcán:	Cono cinerítico, campo monogenético basáltico o escudo: Valor = 0
	Estratovolcán, complejo de domos, campo monogenético riolítico, <i>maar</i> o caldera: Valor = 1
Máximo Índice de Explosividad Volcánica (VEI):	Si el máximo VEI ≤ 2 : Valor = 0 4: Valor = 1 Si el máximo VEI ≥ 7 : Valor = 3 máximo VEI y el tipo de volcán = 0: Valor = 0 de volcán = 1: Valor = 1 una caldera: Valor = 0 Si el máximo VEI = 3 ó Si el máximo VEI = 5 ó 6: Valor = 2 Si no se conoce el Si no se conoce el máximo VEI y el tipo Si no se conocen erupciones Holocénicas y el volcán no es
Actividad histórica:	Si ha tenido actividad histórica confirmada: valor=1 actividad histórica: valor =0 Si no ha tenido
Erupciones holocénicas:	Si hay erupciones holocénicas confirmadas con fechamientos: valor=1 Si solo se sospecha actividad holocénica con base en parámetros morfológicos valor=0
Actividad Explosiva:	Si se conoce actividad explosiva (VEI ≥ 3) en los últimos 500 años: Valor = 1
Actividad Explosiva Mayor:	Si se conoce actividad explosiva (VEI ≥ 4) en los últimos 5000 años: Valor = 1
Periodo de Recurrencia:	Si el periodo de recurrencia es 1-99 años: Valor = 4 recurrencia es 100-1,000 años: Valor = 3 5,000 años: Valor = 2 Caldera que ha hecho erupción en los últimos 100,000 años: Valor = 1 suficientes erupciones holocénicas: Valor = 0 Si el periodo de recurrencia es 1,000- Si el periodo de recurrencia es 5,000-10,000 años: Valor = 1 Si no se conocen
Tipos de peligros volcánicos:	Flujos piroclásticos: Sí, sumar 1
	Lahares o flujos de escombros: Sí, sumar 1
	Flujos de lava: Sí, sumar 1
	Erupciones freáticas o freatomagmáticas: Sí, sumar 1
Potencial de Colapso:	Si el volcán ha presentado colapso de flanco y se ha reconstruido el edificio, o presenta alto relieve, con flancos escarpados y alteración hidrotermal (demostrada o inferida): Valor = 1
Fuente de lahares primarios:	Si el volcán presenta un cuerpo de agua permanente o un cuerpo glacial: Valor = 1
Intranquilidad sísmica observada:	Presencia de sismos en un radio de 20 km respecto del edificio volcánico: Valor = 1
Deformación observada:	Inflación o cualquier evidencia de inyección de magma: Valor = 1
Actividad fumarólica observada:	Presencia de fumarolas activas y/o manantiales hidrotermales: Valor = 1
ΣFactores de Peligro	

De igual manera, para calificar la vulnerabilidad se asignaron valores dependiendo de la densidad de población y de la infraestructura que estaría expuesta, en caso de una erupción del volcán (Tabla 2, Figura 2).

Para el caso de los campos volcánicos, el cálculo de población alrededor del volcán se realizó mediante la Densidad de Población de todo el Campo.

La multiplicación del Peligro relativo por la Vulnerabilidad relativa nos permite evaluar el Riesgo Relativo que representa cada volcán. Realizando ese cálculo para todos los volcanes posiblemente Holocénicos de México, se obtienen los valores mostrados en la figura 3. La estructura de la gráfica ayuda a categorizar los volcanes en cinco niveles, desde Muy Alto (Nivel 5) hasta Muy Bajo (Nivel 1). Es importante destacar que no se está evaluando la probabilidad de que un volcán haga o no erupción, sino el riesgo que una erupción de ese volcán representa.

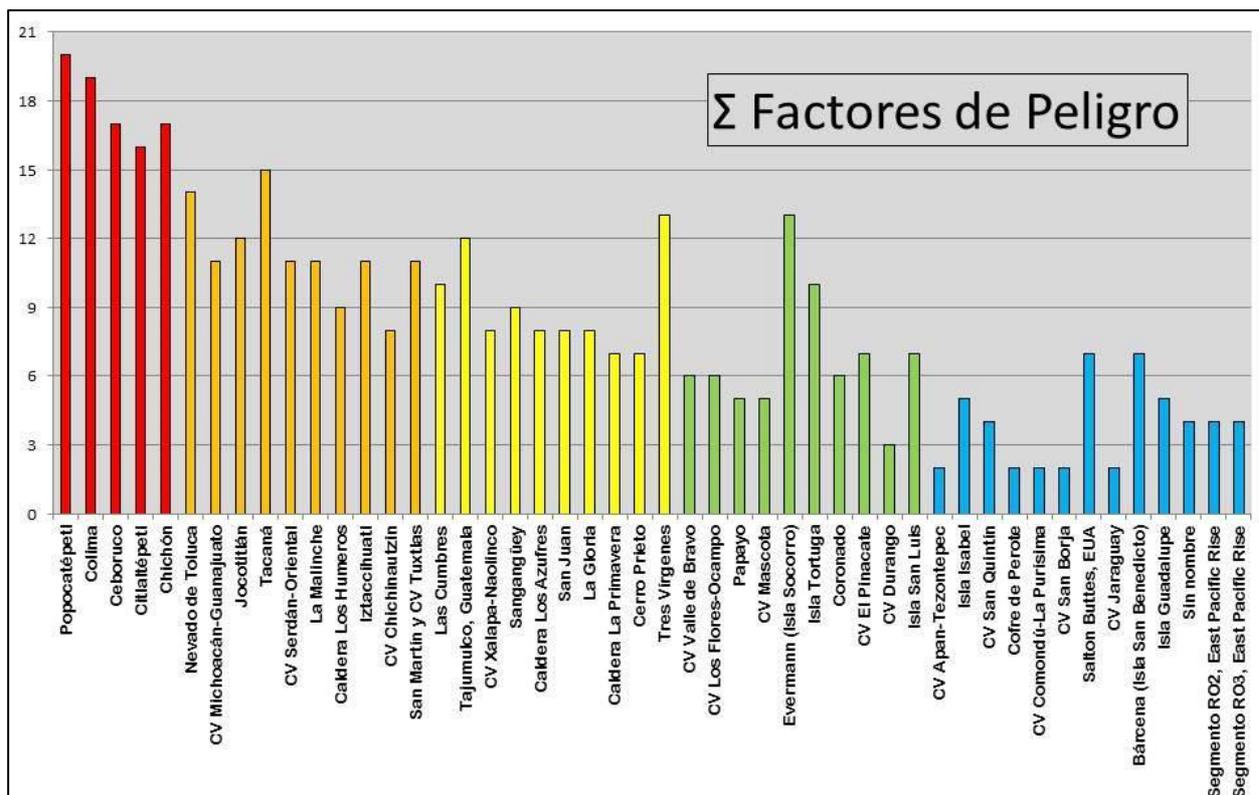


Figura 1 Valores obtenidos en la evaluación del Peligro en cada volcán

Población	Log10 de la población que habita dentro de un radio de 10 km
	Log10 de la población que habita dentro de un radio de 30 km
	Log10 de la población que habita dentro de un radio de 100 km
	¿Fatalidades históricas?: Valor = 1
	¿Evacuaciones históricas?: Valor = 1
Aviación	Si Existen aeródromos dentro de un radio de 10 km = 3; en 30 km =2; en 100 km=1
Infraestructura Energética:	¿Existe infraestructura de generación, transmisión, almacenamiento y/o distribución de electricidad, petróleo y/o gas, dentro de las áreas de peligro por flujos (30km) =2
	¿Existe infraestructura de generación, transmisión, almacenamiento y/o distribución de electricidad, petróleo y/o gas, dentro de las áreas de peligro por caída de cenizas (100km)? Si: Valor =1
Infraestructura de Transporte:	¿Existe infraestructura de transporte como puertos marítimos, puentes, centrales de autobuses, vías férreas dentro de las áreas de peligro por flujos y/o por caída importante de cenizas? Si: Valor =1
Carreteras afectadas	Total de carreteras (Log10 del total de km de carreteras afectadas) en un radio de 30 km
Desarrollos importantes o áreas sensibles:	¿Existen desarrollos importantes o áreas sensibles (fábricas, instalaciones militares, instalaciones gubernamentales, u otras actividades económicas significativas) dentro de las áreas de peligro por flujos y/o por caída importante de cenizas? Si: Valor =1
Salud	Existen centros de salud afectados en un radio de 30 km,? Si, valor =1
Educación	Existen centros educativos afectados en un radio de 30 km,? Si, valor =1
Mapa de peligros:	Si=0 No=1

ΣFactores de Vulnerabilidad

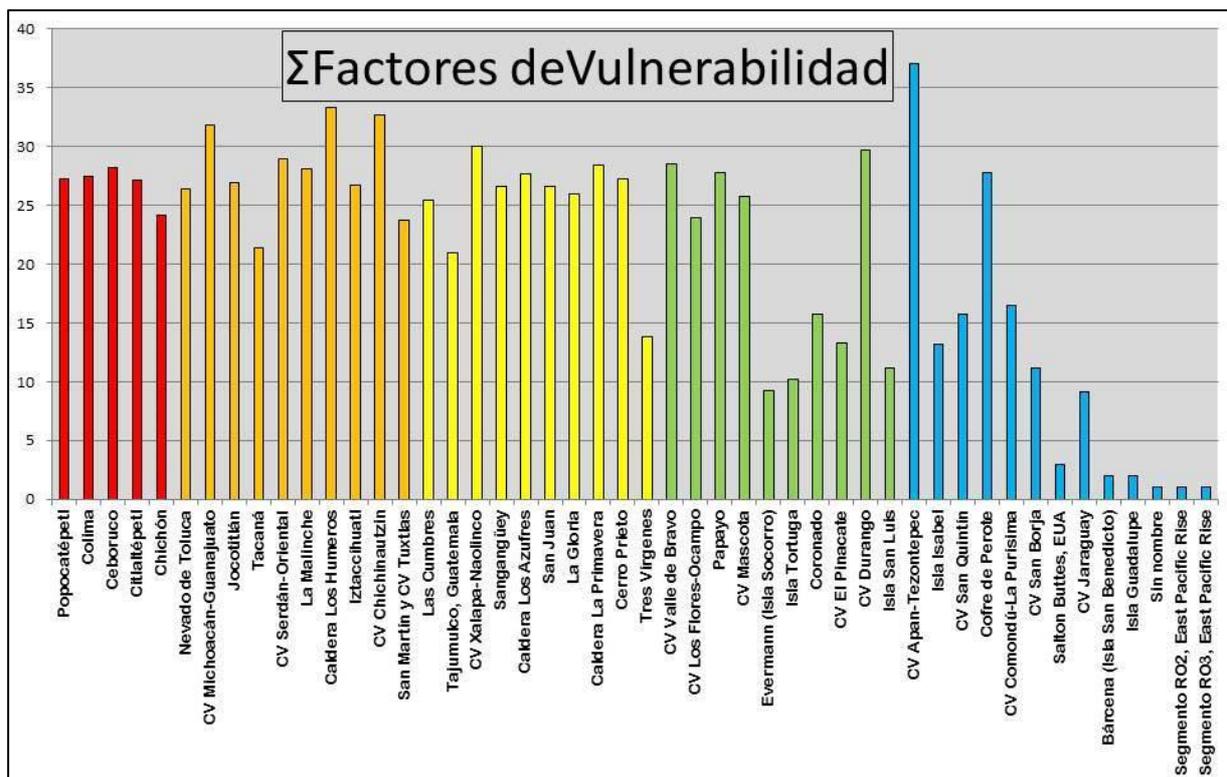


Figura 2 Valores obtenidos en la evaluación de la vulnerabilidad en cada volcán

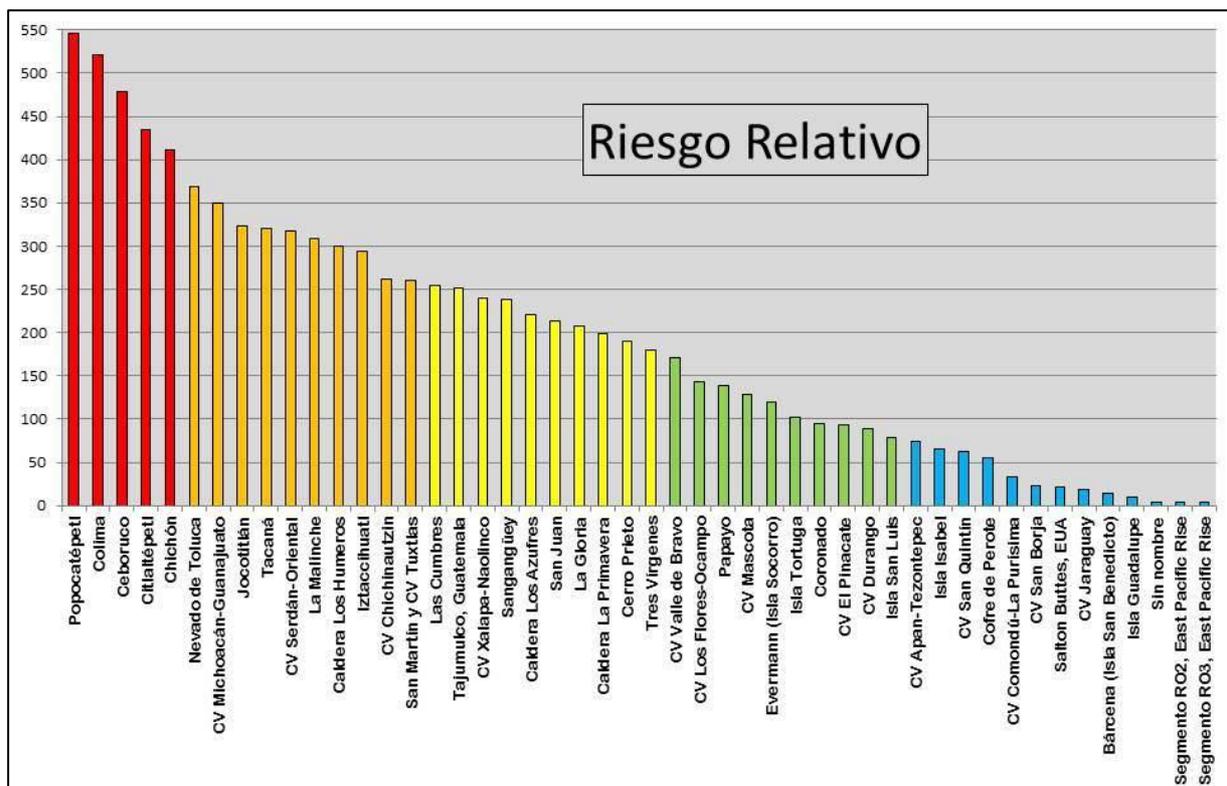


Figura 3 Riesgo Relativo para cada uno de los 48 volcanes y/o campos volcánicos evaluados

En las figuras 1, 2 y 3 se ordenaron los volcanes de acuerdo al valor de Riesgo Relativo obtenido. En la figura 4 puede verse la ubicación de cada uno de

los volcanes considerados, así como su tipo y nivel de riesgo relativo.



Figura 4 Distribución de los 48 volcanes, campos volcánicos y calderas potencialmente activos de México, clasificados de acuerdo a su nivel de riesgo relativo.

Al analizar las figuras 1 y 2 se puede ver que la vulnerabilidad se mantiene relativamente constante, con valores entre 20 y 35, para todos los volcanes continentales, y es mucho menor para los volcanes situados en la península de Baja California o en las islas tanto del Océano Pacífico como del Mar de Cortés. Esto es fácilmente explicable por la baja densidad de población y la consecuente falta de infraestructura en esas regiones. Como consecuencia, los factores de peligro tienen una mayor influencia en la forma final de la gráfica de Riesgo Relativo.

Sin embargo, también podría argumentarse que el bajo peligro relativo que obtienen los volcanes de Baja California y las islas tiene que ver con que se trata primordialmente de un vulcanismo asociado a procesos de expansión cortical (rift), que producen magmas esencialmente basálticos poco explosivos, mientras que los volcanes continentales, asociados a la subducción, se generan a partir de magmas andesíticos, mucho más explosivos.

Conclusiones: Destaca el déficit en el monitoreo del volcán Ceboruco, incluido entre los volcanes de muy alto riesgo y que ni siquiera tiene un monitoreo básico.

Entre los volcanes de Alto Riesgo, es importante elevar el nivel de monitoreo de los volcanes Chichón y Citlaltépetl.

Deben instrumentarse adecuadamente los campos monogenéticos de Michoacán-Guanajuato, Serdán-Oriental, Xalapa-Naolinco y Chichinautzin, así como los volcanes Malinche e Iztaccíhuatl.

Es importante considerar el establecimiento de un acuerdo con el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh), de Guatemala, para el monitoreo conjunto del volcán Tacaná y el Tajumulco, y considerar además el peligro asociado a la caída de cenizas producidas por otros volcanes en Guatemala que pueden llegar a afectar las zonas fronterizas de México con ese país.

El reforzamiento del monitoreo de los volcanes actualmente en actividad, Popocatepetl y Fuego de Colima, así como el de cualquier otro que llegara a reactivarse, también es prioritario, independientemente del nivel de monitoreo que le corresponda según su nivel de riesgo relativo, considerando que un volcán en erupción debe tener un nivel de monitoreo correspondiente a 5.

Sería recomendable que el SVN contara con el equipo suficiente, en reserva, para instalar rápidamente una red de monitoreo de nivel 4 ó 5, en caso de que algún volcán menos monitoreado muestre evidencias de incremento importante de actividad o entre en erupción.

Todas las calderas y campos geotérmicos potencialmente activos tienen instalaciones de la Comisión Federal de Electricidad, por lo que pudieran ser instrumentados por dicha institución.

Referencias

- Capra, L., Zamorano, J.J., Arce, J.L. y Macías, J.L., 2007, "Volcanes activos en México", Mapa NA XIV 1, in Coll-Hurtado, A., Coord., "Nuevo Atlas Nacional de México", Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- De la Cruz-Reyna, S., 2008, Volcanes, Peligro y riesgo volcánico en México, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Serie Fascículos, México, 51 p.
- Ewert, J.W., Guffanti, M. and Murray, T.L., 2005, An Assessment of Volcanic Threat and Monitoring Capabilities in the United States: Framework for a National Volcano Early Warning System, Unites States Geological Survey Open-file Report 2005-1164, 62 p.
- Ewert, J.W., 2007, System for ranking relative threats of U.S. volcanoes, Natural Hazards Review, Vol. 8, pags.112-124.
- Martínez Bringas, A., Gómez Vázquez, A. y De la Cruz-Reyna, S., 2006, Elaboración de mapas de peligros volcánicos. in: Ramos Radilla (editor), Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Centro Nacional de Prevención de Desastres, pp. 123-163.
- Varley, N.R., 2012. The Volcanoes of Mexico. In: R.A. Meyers (Editor), Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. Springer, 12,586 p.