

## Peligro y Riesgo Volcánico en México

Este capítulo busca proporcionar al lector información básica referente al riesgo volcánico en México y los posibles mecanismos de reducción del mismo.

### Evaluación del Peligro volcánico en México

El peligro volcánico alrededor de un volcán puede representarse de varias formas. La más utilizada se basa en el principio de que un volcán activo es capaz de repetir o exceder lo que ha hecho en el pasado. Para ello es necesario un estudio geológico de los depósitos de materiales arrojados en erupciones previas (que es un indicador de lo que el volcán en estudio ha sido capaz en el pasado) en el entorno del volcán, que incluya todas las regiones que han sido afectadas por la actividad pasada.

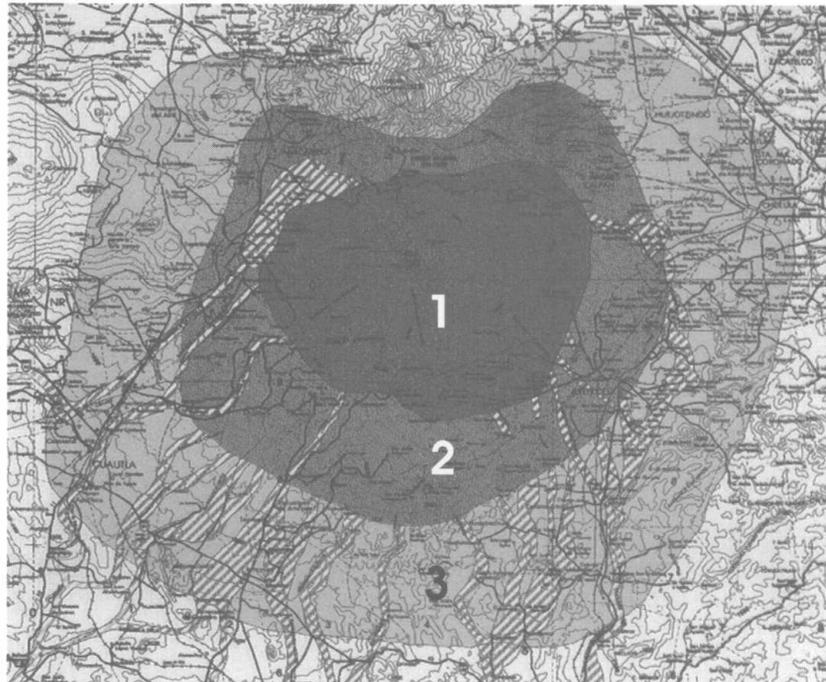
Los resultados de este estudio pueden representarse como un mapa geológico donde se muestran las dimensiones y los alcances más probables de las diferentes manifestaciones volcánicas. También debe construirse una base de datos donde se indique la cronología de las erupciones pasadas. De esta cronología es posible inferir la distribución estadística de las erupciones (es decir las tasas de ocurrencia de los diferentes tipos de erupción) y por tanto sus probabilidades de ocurrencia. Este es un estudio complejo, pues involucra la identificación de las erupciones pasadas utilizando técnicas de

investigación bibliográfica para los eventos históricos, y otras técnicas especiales de laboratorio como por ejemplo los fechamientos radiométricos que permiten determinar cuando ocurrieron erupciones prehistóricas con base al análisis de las relaciones de isótopos con tasas de decaimiento conocidas.

La información anterior, conjuntamente con los datos topográficos y morfológicos que permiten prever las trayectorias y alcances de nuevos productos volcánicos, se integra en un mapa de peligros o amenazas volcánicas, que debe incluir también las bases y criterios para delimitar las zonas de riesgo: las fuentes de datos, las suposiciones e hipótesis hechas durante la elaboración y las condiciones en las que puede aplicarse el mapa y muy especialmente la probabilidad de ocurrencia de cada manifestación volcánica.

Los mapas de peligro o amenaza deben también distinguir entre los riesgos primarios, como los flujos piroclásticos, o las lluvias de fragmentos, describiendo sus velocidades, alcances y efectos sobre el hombre y el medio, y los riesgos secundarios, incluyendo todos aquellos efectos que pueden presentarse después de la erupción, como flujos de lodo y otros impactos sobre el medio ambiente. Normalmente estos mapas se han representado en escalas entre 1:50,000 y 1:250,000. Como ejemplos de mapas de peligros volcánicos, se incluyen aquí versiones reducidas y simplificadas de los mapas de peligro existentes para el volcán Popocatepetl (figura 34), y para el volcán de Colima (figura 35). Ambos mapas han sido publicados por el Instituto de Geofísica de la UNAM, y pueden ser adquiridos a la escala especificada en esa institución.

Utilizando técnicas informáticas modernas, además de los mapas convencionales de peligro volcánico, pueden construirse sistemas de información geográfica (SIGs) que contengan las diferentes bases de datos (topografía, geología, densidades de probabilidad, distribución de población, vulnerabilidad, etc.) que pueden superponerse de forma interactiva para visualizar en forma clara y precisa las componentes del riesgo que se desean analizar.



**Fig. 34.** Mapa de peligros del Volcán Popocatépetl. Fragmento reducido, tomado del mapa publicado por el Instituto de Geofísica de la UNAM en 1995 (Macías et al, 1995). Este mapa fue diseñado para ser usado como un medio de información en la eventualidad de una erupción mayor del Volcán Popocatépetl. Fue elaborado basándose en la información geológica disponible hasta enero de 1995, considerando la extensión máxima de los depósitos originados por erupciones volcánicas pasadas que se clasificaron en tres diferentes magnitudes. Los límites entre las tres áreas indicadas en el mapa fueron trazados con base en el alcance máximo de los productos originados por estas erupciones y en las distancias máximas de los flujos modelados por computadora.

*El mapa de peligros volcánicos del Popocatépetl muestra cuatro diferentes áreas, que definen regiones de acuerdo con su peligrosidad. Cada una de las áreas marcadas del 1 al 3 incluye los distintos tipos de peligro volcánico asociado respectivamente a erupciones volcánicas grandes, medianas y pequeñas.*

*El área 1, que es la más cercana a la cima del volcán, representa un mayor peligro porque es la más frecuentemente afectada por erupciones, independientemente de su magnitud. Esta área encierra peligros tales como flujos piroclásticos de material volcánico a altas temperaturas que descienden del volcán a velocidades extremadamente altas (100-400 km/h) y flujos de lodo y rocas que se mueven siguiendo los cauces existentes a velocidades menores (<100 km/h). En esta área han ocurrido dos eventos o erupciones importantes cada 1,000 años en promedio.*

*El área 2, representa un peligro menor que el área 1 debido a que es afectada por erupciones con menor frecuencia. Sin embargo, las erupciones que han alcanzado a esta área producen un grado de peligro similar al del área 1. La frecuencia con que ocurren eventos volcánicos que afectan a esta área es de 10 veces cada 15,000 años en promedio.*

*El área 3, abarca una zona que ha sido afectada en el pasado por erupciones extraordinariamente grandes. Erupciones de tal magnitud son relativamente raras por lo que el peligro dentro de estas áreas es menor en relación con el de las áreas 1 y 2, más cercanas al volcán. Los tipos de peligro en el área 3 son esencialmente los mismos que los de las otras áreas. En los últimos 40,000 años, han ocurrido 10 erupciones de este tipo.*

*Las regiones marcadas área 4 (en café) están expuestas al peligro por flujos de lodo e inundaciones derivadas de un posible arrastre de depósitos volcánicos por agua proveniente de lluvias torrenciales o de una fusión catastrófica del glaciar y la nieve del Popocatépetl.*

*La totalidad de esta versión reducida del mapa cubre aproximadamente la zona que también podría ser afectada por lluvias de ceniza volcánica y pómez, para erupciones de máxima intensidad. La influencia de los vientos dominantes controlaría la distribución de las cenizas.*

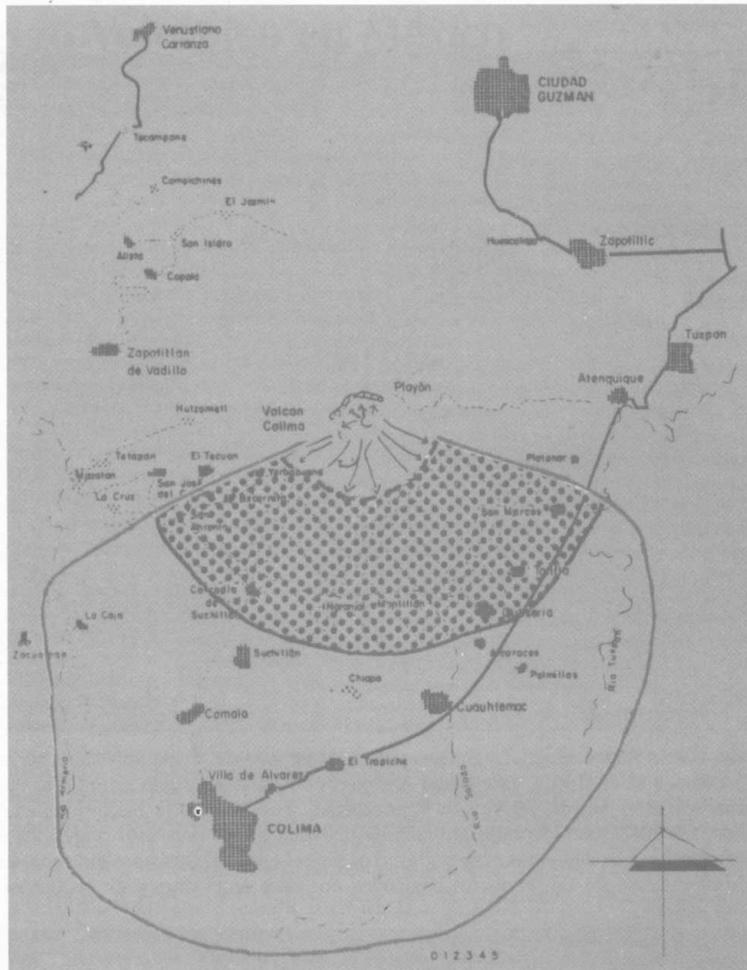


Fig. 35. Mapa de peligros del volcán de Colima.

Mapa de peligros del volcán de Colima, reducido y adaptado del mapa publicado por el Instituto de Geofísica de la UNAM en 1995. En esta versión reducida no se muestran los efectos de caída de ceniza ni algunos otros detalles. Las áreas de peligros señaladas se calcularon con base en estudios geológicos y geomorfológicos así como en registros históricos de observaciones sobre las erupciones anteriores y sus efectos. Un margen de 2 km fue agregado a las áreas amenazadas por flujos piroclásticos con mayor movilidad. Las áreas frecuentemente afectadas por flujos piroclásticos y lahares secundarios están marcadas en rojo. Estos flujos ocurren por lo menos una vez cada 100 años. Los lahares pequeños o ríos de lodo pueden presentarse varias veces en una década mientras que los lahares grandes están asociados a erupciones fuertes que ocurren aproximadamente cada 100 años. La parte superior del cono también está sujeta a explosiones y a la caída de fragmentos balísticos.

En naranja se marcan la áreas que pueden ser alcanzadas por flujos piroclásticos y nubes de ceniza con gran movilidad. Estas nubes pueden sobrepasar cerros como ocurrió en la parte sureste del volcán. Sin embargo, este tipo de flujo es poco frecuente.

En café se marcan las áreas sujetas a inundaciones por acumulación de productos volcánicos que obstruyen el flujo de agua.

Recientemente, la Universidad de Colima, el Gobierno de Colima y Protección Civil de Colima publicaron un Mapa de Peligros del Volcán de Colima actualizado y en una escala diferente (Navarro y Cortés 2003).

## Zonificación del riesgo volcánico

El concepto de riesgo volcánico involucra al peligro volcánico tal como se describe arriba, más la distribución y vulnerabilidad de la población y de la infraestructura de producción, y comunicaciones alrededor del volcán, definida como la susceptibilidad de esos sistemas de ser afectados por el fenómeno natural. Esta información también puede representarse en un mapa convencional, pero considerando el gran número de datos que comprende y su variabilidad en el tiempo, es más conveniente procesarla y representarla por medio de un sistema de información geográfica.

La figura 36 muestra una versión reducida de una primera aproximación a un mapa de riesgos para el volcán Popocatepetl que sirve de base para la planeación de emergencias en la eventualidad de una erupción mayor. Las regiones de peligro definidas en el mapa de la figura 15, han sido divididas en sectores. La lista de poblaciones en los distintos sectores se incluye a la derecha del mapa. Sin embargo, este mapa aun no incluye el análisis de vulnerabilidad.

Con la información de los mapas de peligro volcánico, la base de datos topográficos a una escala adecuada y los datos de la distribución de la población, es posible elaborar una microzonificación del riesgo representada en mapas detallados al nivel de municipios o poblaciones individuales, en los que puedan identificarse los sitios vulnerables a peligros específicos.

## Manejo o gestión del riesgo volcánico

Los aspectos tratados en las secciones previas reflejan una condición estacionaria; esto es, las representaciones descritas del peligro y el riesgo integran toda la información pasada disponible y muestran la distribución espacial del riesgo, independientemente del tiempo en que se les considere. Sin embargo, si surge una condición de amenaza derivada de un incremento en la actividad volcánica, debe contarse con una serie de mecanismos que permitan enfrentar esa condición conforme evoluciona.

Por ello, una vez que se han definido los peligros volcánicos y se ha zonificado el riesgo, es necesario desarrollar un grado de preparación, entendida como una capacidad de respuesta ante la posibilidad de actividad volcánica, o de cualquier otra amenaza. La preparación involucra una clara comprensión, por parte de la población vulnerable y de las autoridades responsables de su protección, del fenómeno natural y de todas sus posibles manifestaciones destructivas, y la elaboración de medidas de reducción de la vulnerabilidad. La preparación considera también el desarrollo de planes operativos de respuesta ante la posibilidad de que esas manifestaciones se presenten.

En términos generales la gestión del riesgo comprende dos fases principales:

- a) La fase pre-crítica o pre-evento de preparación, que incluye:
  - *Evaluación del peligro y del riesgo, reducción de la vulnerabilidad y postulación de escenarios probables.*
  - *Monitoreo volcánico.*
  - *Desarrollo de planes operativos para el caso de emergencia.*
  
- b) La fase crítica y la aplicación de las medidas operativas, que comprende:
  - *Procedimientos de información, comunicación y alerta.*
  - *Respuesta: aplicación de medidas de emergencia.*
  - *Definición del fin de la fase crítica.*

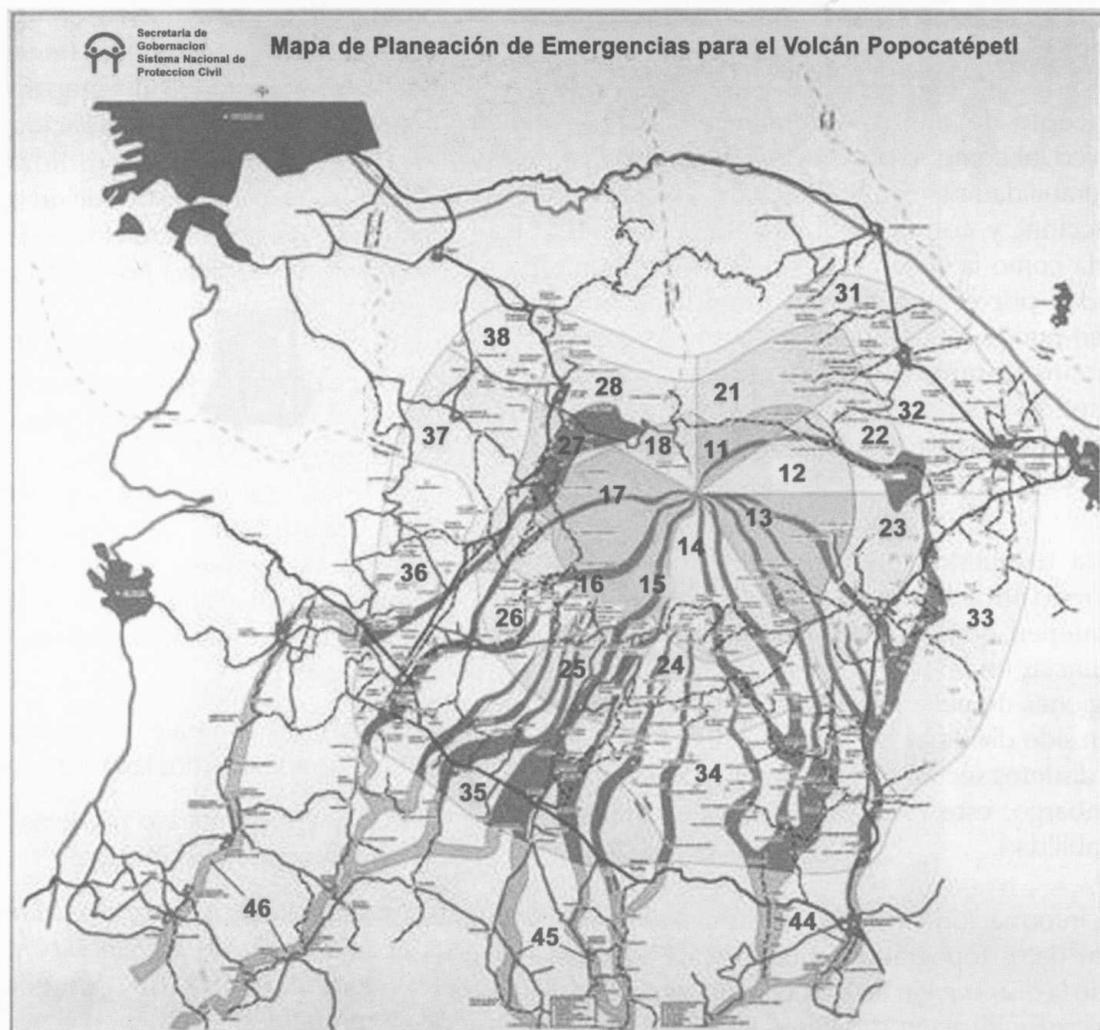


Fig. 36. Mapa de Planeación de Emergencias.

*Fig. 36. Mapa de planeación de emergencias del volcán Popocatepetl, reducido y adaptado del mapa producido por el Sistema Nacional de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación en 1995. Las zonas sombreadas muestran regiones alrededor del volcán que pudieran ser afectadas por diferentes tipos de erupciones de acuerdo con el mapa de peligros.*

*Estas regiones han sido divididas en sectores numerados. El primer dígito indica el nivel de peligro de los sectores de acuerdo con las áreas definidas en el mapa de la figura 15. El segundo dígito señala la posición azimutal del sector. Las regiones marcadas con un primer dígito 4 muestran áreas amenazadas por flujos de lodo en el evento de una erupción extrema. Las poblaciones en cada sector se listan a la derecha del mapa. También se muestra la red de vías de comunicación.*

De las componentes de la fase pre-crítica, los aspectos de evaluación del peligro y del riesgo se han discutido en secciones previas. En lo que respecta a las medidas preventivas de reducción de la vulnerabilidad, éstas generalmente se derivan de la zonificación y microzonificación del riesgo y de los escenarios de riesgo. Así, por ejemplo, en una población por la que pasa un río, con ese tipo de información es posible reconocer aquellas construcciones que son más vulnerables y planificar medidas de protección a sus pobladores ante distintos escenarios, como lahares o desbordamientos.

Ciertas medidas pueden implementarse directamente sobre la población vulnerable, a través de programas de difusión de la información sobre el riesgo y el desarrollo de estrategias de reducción a la exposición del mismo, como diseño de procedimientos de alertamiento, evacuación y reubicación. Otras, son las llamadas medidas estructurales de reducción de la vulnerabilidad, relacionadas con la construcción de obras de ingeniería diseñadas para proteger a la población y sus bienes, como por ejemplo, obras de contención, o de desviación del curso, en el caso del río.



**Fig. 37.** Laboratorio de Instrumentación y monitoreo volcánico del Centro Nacional de Prevención de Desastres, México

El **monitoreo** consiste de un dispositivo de vigilancia del volcán constituido por equipos de alta tecnología, tales como redes de instrumentos desplegados sobre el volcán para detectar su actividad sísmica, las deformaciones que experimenta, los cambios en la composición de fumarolas, manantiales, y otras manifestaciones y para observarlo en forma directa por medio de equipos de video (figura 37). Estos instrumentos transmiten sus datos a un centro de recepción y análisis, donde los científicos responsables de vigilar el volcán elaboran diagnósticos del estado del volcán y pronostican su actividad en el corto plazo. Estos pronósticos permiten el alertamiento temprano y la puesta en marcha de los planes operativos de respuesta aun antes del inicio de la actividad eruptiva.

Los **planes operativos** de respuesta representan una parte crucial en la gestión de una emergencia y deben elaborarse considerando todos los posibles escenarios de actividad que pueda desarrollar el volcán, la distribución de la vulnerabilidad de las poblaciones de acuerdo con esos escenarios, y la capacidad de poner en marcha los mecanismos de protección y movilización de la población, y de seguridad de sus bienes.

Los planes operativos deben definir las responsabilidades de cada autoridad involucrada y de la población misma, establecer los mecanismos de comunicación y alertamiento, y describir las acciones de respuesta. En el caso de iniciarse una actividad eruptiva, entra una fase crítica de la gestión del riesgo, que involucra la aplicación de los planes operativos.