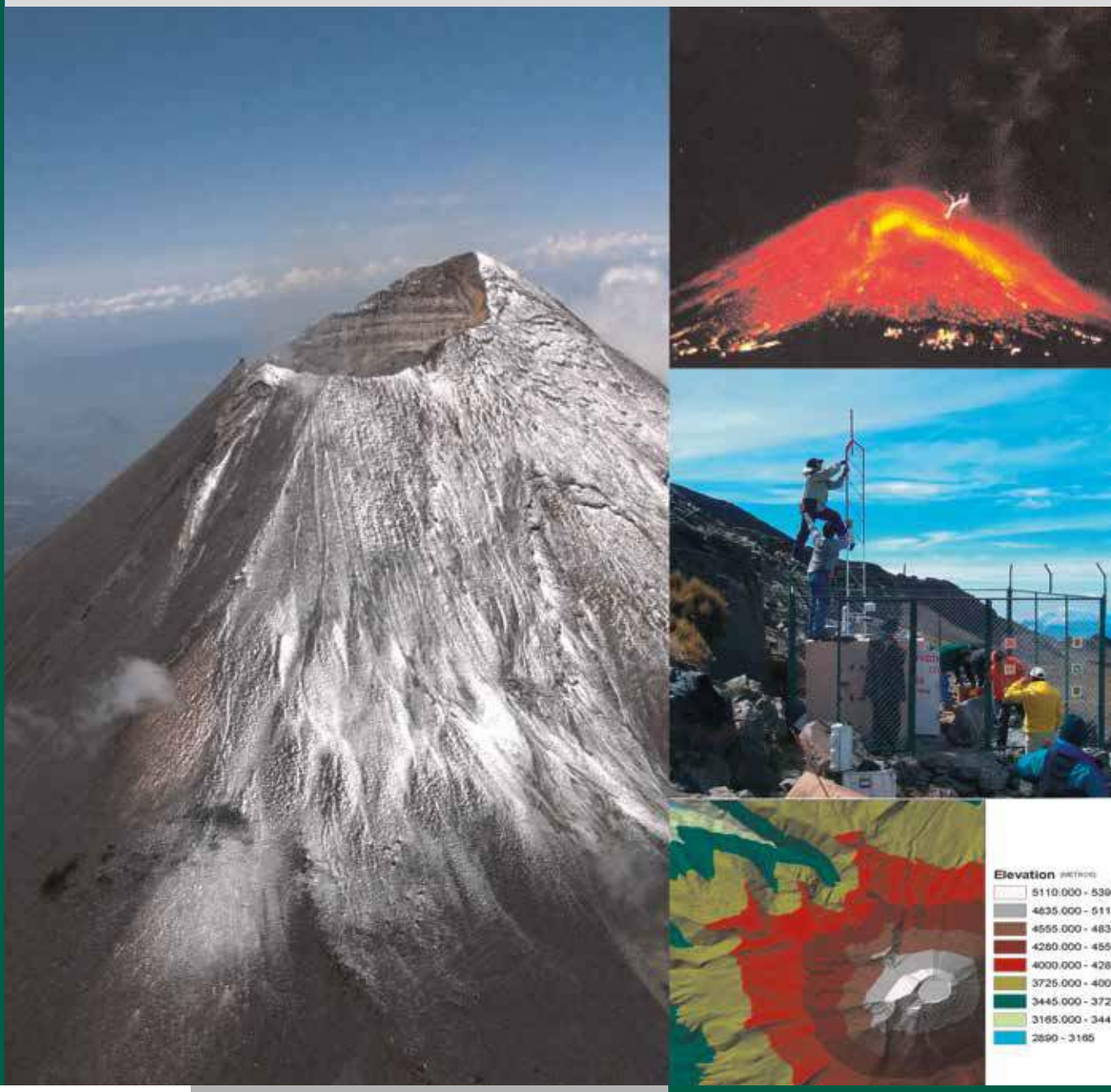
SEGOB
SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Volcanes

Peligro y Riesgo Volcánico en México

Centro Nacional de Prevención de Desastres



GOBIERNO DEL ESTADO DE CHIAPAS

SISTEMA ESTATAL DE PROTECCIÓN CIVIL CHIAPAS

SERIE
Fascículos

Fotografía: Rosalba Villanueva. Dpto. de fotografía, SEGOB

1a. reimpresión de la 1a. edición, diciembre de 2008

© Secretaría de Gobernación
Abraham González No. 48,
Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc,
C. P. 06699, México, D. F.

© Centro Nacional de Prevención de Desastres
Av. Delfín Madrigal No. 665,
Col. Pedregal de Santo Domingo,
Del. Coyoacán, C. P. 04360, México, D. F.
Teléfonos:
(55) 54 24 61 00
(55) 56 06 98 37
Fax: (55) 56 06 16 08
e-mail: editor@cenapred.unam.mx
www.cenapred.unam.mx

© Autor:
Servando de la Cruz Reyna
Instituto de Geofísica UNAM
Asesor de la Dirección General de Protección Civil, SEGOB

Edición:
Violeta Ramos

Diseño Gráfico:
Cynthia Paola Estrada Cabrera

Corrección de estilo:
Iván Gabriel Llano Alcántara

ISBN: 970-628-734-5

Derechos reservados conforme a la ley.
Impreso en México. Printed in Mexico

Distribución Nacional e Internacional:
Centro Nacional de Prevención de Desastres

EL CONTENIDO DE ESTE DOCUMENTO ES
EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL AUTOR

SERIE Fascículos

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Miguel Ángel Osorio Chong
SECRETARIO DE GOBERNACIÓN

Luis Felipe Puente Espinosa
COORDINADOR GENERAL
DE PROTECCIÓN CIVIL

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Ing. Enrique Guevara Ortiz
DIRECTOR GENERAL

M. en C. Carlos A. Gutiérrez Martínez
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN

Ing. Luis Eduardo Pérez Ortiz Cancino
DIRECTOR DE ANÁLISIS Y GESTIÓN
DE RIESGOS

Ing. José Gilberto Castelán Pescina
DIRECTOR DE INSTRUMENTACIÓN
Y CÓMPUTO

Lic. Luz María Eugenia Laffitte Bretón
DIRECTORA DE CAPACITACIÓN

M. en I. Tomás A. Sánchez Pérez
DIRECTOR DE DIFUSIÓN

Profa. Carmen Pimentel Amador
DIRECTORA DE SERVICIOS TÉCNICOS

Volcanes

3 **Introducción: El origen de los volcanes**

6 **Los Peligros Volcánicos**

10 **El Fenómeno Volcánico**

24 **Actividad Volcánica Reciente en México**

32 **Peligro y Riesgo Volcánico en México**
- Evaluación del peligro volcánico en México
- Zonificación del riesgo volcánico
- Manejo y gestión del riesgo volcánico

45 **Glosario**

48 **Bibliografía**

Introducción

El origen de los volcanes

La Tierra, el planeta donde vivimos, es un sistema muy complejo que evoluciona en el tiempo. Esta evolución se inició hace un poco más de 4,500 millones de años, cuando la Tierra se condensó en una esfera, cuya superficie se enfriaba con relativa rapidez. Algunos miles de millones de años después y hasta la actualidad, la superficie ha alcanzado un grado de equilibrio que le permite sustentar la vida.

Sin embargo, en su interior, distintas fuentes de calor tratan aún de buscar un equilibrio por medio de complicados mecanismos de enfriamiento.

La evolución de la Tierra se ha traducido asimismo en la formación de una estructura interna, en la cual se pueden distinguir varias partes. En una forma muy simplificada, pero útil para el propósito de este fascículo, podemos imaginar a la Tierra estructurada en forma similar a un huevo o un durazno, en la que se distinguen tres regiones concéntricas: la ***corteza***, una especie de cáscara relativamente delgada cuando la comparamos con el diámetro del planeta, sobre la cual se encuentra la atmósfera y los océanos. La corteza incluye a los continentes sobre los que vivimos y a los fondos marinos. El ***manto terrestre*** es una gruesa capa de material rocoso, análogo a la clara del huevo o la pulpa del durazno de nuestro ejemplo. El ***núcleo***, situado en el centro, conforma la estructura análoga a la yema del huevo o al hueso o carozo de la fruta. El núcleo terrestre está a su vez conformado por dos capas, una externa y fluida, y otra interna y sólida.

Al manto terrestre lo podemos imaginar como una gran masa de material rocoso, un tanto similar al basalto que abunda en algunas regiones de México. Sólo que a la presión y temperatura que se encuentra en el manto su composición y características son diferentes. Si pudiéramos obtener una muestra de esa roca del manto y estudiarla en un laboratorio especial que mantuviera las condiciones de presión y temperatura de esa profundidad, lo veríamos como una roca sólida, pero con cierta plasticidad, muy densa, muy caliente y que fácilmente se fundiría en el caso de que se disminuyera la presión a la que está sometida, o que se aumentara su temperatura un poco más. El ***magma*** es la roca fundida que resulta cuando ese tipo de materiales cambia sus condiciones. La roca líquida tiene una menor densidad que la sólida y por ello tiende a subir. Este magma se puede acumular en la corteza formando recipientes o "cámaras" magmáticas.

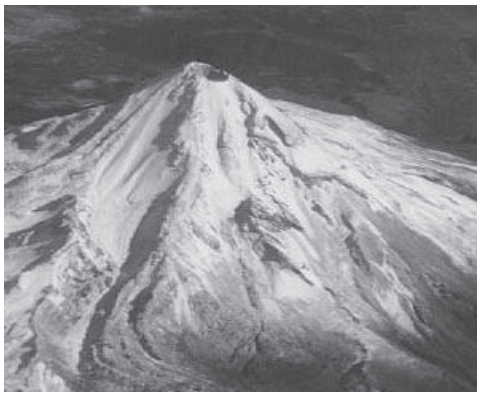


Fig.1. Volcán Popocatépetl, México, ubicado entre los estados de México, Morelos y Puebla

El magma acumulado en la corteza no siempre sale a la superficie. En algunos casos permanece inmóvil por largos tiempos en el subsuelo, hasta que se enfría formando grandes estructuras de roca volcánica solidificada que por lo general sólo aflora a la superficie cuando la porción de corteza que la cubre se erosiona. A este tipo de roca volcánica se le llama ***intrusiva.***

En otros casos el magma sale a la superficie, produciendo una ***erupción volcánica***. Un ***volcán*** se define como aquel sitio donde sale material magmático o sus derivados, formando una acumulación que por lo general toma una forma aproximadamente cónica alrededor del punto de salida. La palabra volcán también se aplica a la estructura en forma de loma o montaña que se construye alrededor de la abertura mencionada por acumulación de los materiales emitidos. Cuando el sitio de salida no es aproximadamente circular, como en el caso de una fisura por ejemplo, el volcán puede tomar una forma diferente a la cónica.

Generalmente los volcanes tienen en su cumbre o en sus costados, grandes cavidades de forma aproximadamente circular (fig. 2) denominadas ***cráteres***, generadas por erupciones anteriores, en cuyas bases puede, en ocasiones, apreciarse la abertura de la ***chimenea volcánica***.

Los volcanes que se forman por la acumulación de materiales emitidos por varias erupciones a lo largo del tiempo geológico se llaman ***poligenéticos***, o ***volcanes centrales*** (fig. 3).

Fig. 2. Foto del cráter circular formado durante las erupciones del volcán El Chichón, en Chiapas durante las erupciones de 1982.

Fig. 3. El Popocatépetl es un ejemplo de volcán poligenético. Foto de S. De la Cruz (2002).

Existe otro tipo de volcanes que nacen, desarrollan una erupción que puede durar algunos años y se extinguen sin volver a tener actividad. En lugar de ocurrir otra erupción en ese volcán, puede nacer otro volcán similar en la misma región. A este tipo de volcán se le denomina ***monogenético*** y es muy abundante en México (fig 4).

Fig. 4. El volcán Paricutín, que nació en 1943, en un sembradío de maíz de Michoacán, rodeado de volcanes similares como el que se ve al fondo, es un ejemplo de volcán monogenético. Foto de S. De la Cruz.

Los volcanes Xitle y Teutli, ubicados en el Distrito Federal y Jorullo y Paricutín, en Michoacán son de este tipo, de formación reciente y se encuentran en regiones donde abundan conos monogenéticos similares. Generalmente, los volcanes de este tipo son mucho más pequeños que los volcanes centrales y en su proceso de nacimiento y formación producen erupciones menos intensas pero que pueden prolongarse por varios años.

Se dice que un volcán es ***activo***, cuando existe magma fundido en su interior, o cuando puede recibir nuevas aportaciones de magma y por tanto mantiene el potencial de producir erupciones. Por ello, aun volcanes que no muestran ninguna manifestación externa pueden ser clasificados como activos. En muchos casos es difícil decir si un volcán es activo o no. Por lo general se dice entonces que un volcán es activo si ha mostrado alguna actividad eruptiva relativamente reciente. Aquí el problema se transforma en definir qué es "reciente". Según se defina este término algunos volcanes podrán ser considerados "activos" o no. Por ejemplo, un intervalo de tiempo comúnmente aceptado es 10,000 años. Esto significa que un volcán que haya tenido algún tipo de actividad los últimos diez mil años puede ser considerado "activo". Sin embargo, este número es convencional, ya que un volcán con, digamos once mil años de inactividad no necesariamente está muerto, ni un volcán que haya tenido su última erupción hace, digamos 8 o 9 mil años necesariamente volverá a hacer erupción.

Fig. 6. Monitoreo visual del volcán Popocatépetl.

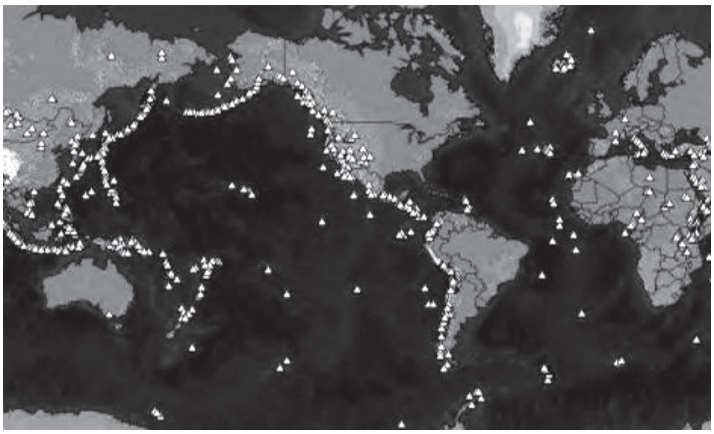


Fig. 5. Distribución geográfica de volcanes en el mundo.

Otra característica muy interesante de los volcanes activos es su distribución geográfica. Los volcanes activos no se encuentran dispersos arbitrariamente sobre la superficie de la Tierra, sino que se distribuyen por diferentes regiones definidas por los procesos tectónicos de escala global, como las interacciones de las placas tectónicas que conforman la corteza y las corrientes convectivas del manto terrestre que las mueven. En particular, México es una de esas regiones tectónicamente activas y los volcanes son parte característica del paisaje de muchas regiones del país, particularmente en una faja central que se extiende desde Nayarit hasta Veracruz.

Los Peligros Volcánicos

La actividad volcánica puede tener efectos destructivos, pero también efectos benéficos. Las tierras de origen volcánico son fértiles, por lo general altas, de buen clima, y ello explica el crecimiento de los centros de población en esos sitios. Los habitantes de esas regiones y los usuarios de los servicios disponibles deben adquirir entonces una percepción clara de los beneficios y de los riesgos que implica vivir allí. Esto es especialmente importante en zonas donde hay volcanes que no han manifestado actividad reciente. Al no existir testigos o documentos de las erupciones, puede desarrollarse entre la población una percepción incorrecta del riesgo volcánico.

En el mundo existen alrededor de 1300 volcanes continentales activos (entendiendo como activos aquellos que han mostrado alguna actividad eruptiva en los últimos 10,000 años). De éstos, 550 han tenido alguna erupción en tiempos históricos (esto es, han sido presenciadas o han afectado a seres humanos). Los volcanes activos mantienen una tasa eruptiva global de 50 a 60 erupciones por año, y en promedio, existen en todo momento unos 20 volcanes en actividad en distintos puntos del globo (Simkin y Siebert, 2002).

A lo largo de la historia, poblaciones asentadas cerca de esos 550 volcanes en distintas partes del mundo han soportado los efectos de la actividad volcánica. Se estima que cerca de 270,000 personas han perecido en distintos lugares del mundo por efecto de desastres volcánicos desde el año 1700 de nuestra era.

La tabla 1 muestra una relación de los desastres volcánicos más importantes de los últimos 290 años y las causas principales de la mortandad. El potencial destructivo de los volcanes representa actualmente una amenaza a la vida y propiedades de millones de personas.

Fig. 7. Erupción del volcán Reventador, Ecuador, 2003.

Es sumamente difícil estimar el valor de los daños materiales ocasionados por las erupciones, pero en algunos casos éstas han involucrado la pérdida de ciudades enteras, la destrucción de bosques y cosechas, y el colapso de las economías de las regiones afectadas por largos períodos, especialmente cuando ocurren en países relativamente pequeños y en los que el valor de los daños puede representar un por ciento importante de su producto interno.

Tabla 1. *Desastres volcánicos a nivel mundial desde el año 1700*

Causa Principal de la Mortalidad						
Volcán	**País**	**Año**	**Flujo Piroclástico**	**Flujo de Lodo**	**Tsunami**	**Hambruna**
Awu	Indonesia	1711		3000		
Oshima	Japón	1741			1481*	
Cotopaxi	Ecuador	1741		1000		
Makian	Indonesia	1760		2000		
Papandayan	Indonesia	1772		2957*		
Gamalama	Indonesia	1775	1300			
Laki	Islandia	1783				9336
Asama	Japón	1783	1151*			
Unzen	Japón	1792			15188*	
Mayón	Filipinas	1814	1200			
Tambora	Indonesia	1815	12000			80000
Galunggung	Indonesia	1822		4000		
Mayón	Filipinas	1825		1500		
Nevado de Ruíz	Colombia	1845		1000		
Awu	Indonesia	1856		3000		
Cotopaxi	Ecuador	1877		1000		
Krakatoa	Indonesia	1883			36417	
Awu	Indonesia	1892		1532		
Soufriere	St. Vicent	1902	1565			
Mt. Pelée	Martinica	1902	29000			
Sta. María	Guatemala	1902	1500			
Taal	Filipinas	1911	1335			
Kelud	Indonesia	1919		5100		
Merapi	Indonesia	1930	1300			
La Mington	Papua (NG)	1951	2942*			
Agung	Indonesia	1963	1900			
El Chichón	México	1982	1700			
Nevado el Ruíz	Colombia	1985		25000		
Lago Nyoos	Camerún	1986	1746 víctimas por emisión de CO_2			
Pinatubo	Filipinas	1991		800		
Totales (según causa)			***56893***	***51889***	***53086***	***89336***
Otras erupciones, más frecuentes pero con menor número de víctimas totalizan cerca de 10,000 muertes más. ****Con gran avalancha de detritos, similar a la del Monte Santa Helena en 1980.***						

La gráfica siguiente, obtenida a partir de datos publicados por UNDRO/UNESCO (1985), nos muestra la distribución del número global de víctimas causadas por efecto de manifestaciones volcánicas directas (flujos de ceniza, de lodo y de lava) en lapsos de 50 años desde 1500. En esa gráfica no se muestran decesos causados por efectos secundarios derivados de las erupciones, como hambrunas o tsunamis para el caso de erupciones en islas volcánicas. La figura indica que el número de víctimas causadas directamente por efecto de erupciones ha mostrado una tendencia a aumentar con el tiempo. Esto indica que, no obstante los avances en materia de ciencia y tecnología en el campo de la vulcanología y ciencias afines, que se han traducido en una crecientemente exitosa capacidad de pronóstico de la actividad eruptiva, los desastres volcánicos continúan ocurriendo en distintos lugares del mundo por efecto del acelerado crecimiento de la población y de asentamientos en sitios susceptibles a ser afectados por erupciones. Es necesario entonces identificar y eliminar o al menos reducir las causas de esos desastres.

Para tratar el problema de los daños provocados por fenómenos naturales y buscar soluciones que permitan reducir su impacto, es necesario proceder metódicamente. En primer lugar es necesario definir y cuantificar los conceptos que relacionan los fenómenos naturales con su impacto sobre la sociedad.

"Riesgo" es un concepto complejo, que involucra varios componentes. En términos generales se define al Riesgo asociado a los fenómenos naturales, y en particular al fenómeno volcánico, como la combinación de dos componentes:

Riesgo = Peligro x Vulnerabilidad

El ***"peligro" o "amenaza"*** se define como la probabilidad de que alguna manifestación volcánica específica, como por ejemplo los flujos piroclásticos o la lluvia de ceniza, descritos en la siguiente sección, pueda presentarse en un área o región particular del entorno del volcán en un intervalo de tiempo dado.

La ***"vulnerabilidad"*** se define como el grado o porcentaje de pérdida o daño que puede sufrir un elemento de la estructura social (población, infraestructura, productividad) por efecto de alguna de las manifestaciones volcánicas.

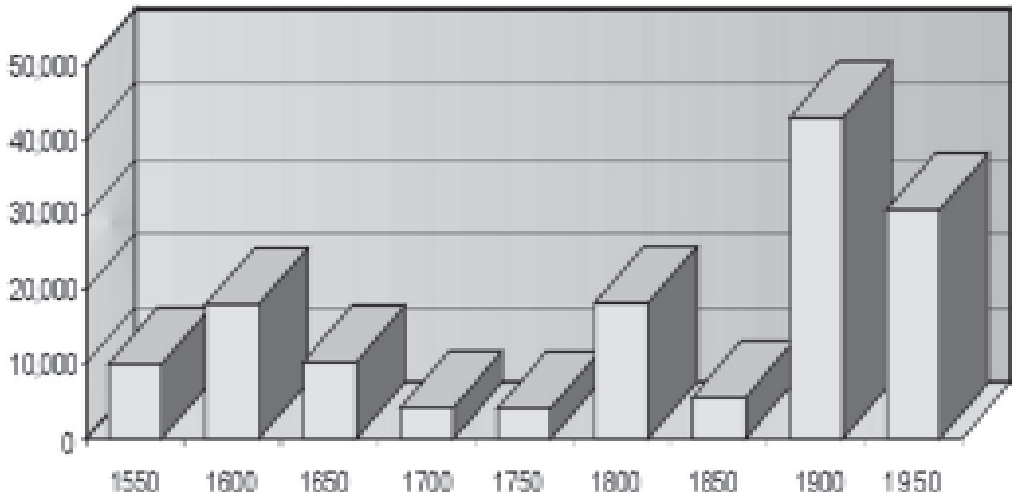


Fig. 8. Distribución temporal de fatalidades causadas en el mundo por efectos primarios de erupciones volcánicas desde el año 1500 (Datos de UNDRO/UNESCO, 1985).

Si el peligro o probabilidad de ocurrencia, y la vulnerabilidad se expresan como fracciones entre 0 y 1, el riesgo se puede cuantificar como una cantidad entre 0 y 1 que representa la proporción o probabilidad de que ocurra una pérdida o daño de vidas, bienes, o productividad en una zona volcánica por efecto de una manifestación eruptiva. Este concepto es compatible con el principio que establece que la probabilidad de que se presenten dos condiciones independientes, se obtiene del producto de las probabilidades de ocurrencia de cada una de ellas.

Considerando al riesgo volcánico como la probabilidad de pérdida ante la posible ocurrencia de una erupción, surge el planteamiento del problema de ***reducción o mitigación del riesgo***. Este planteamiento resulta de la posibilidad de modificar el valor del riesgo. Si bien el peligro es una característica del fenómeno que no puede ser modificada, la vulnerabilidad puede ser reducida en forma considerable a través de la ***"preparación"***. La preparación se deriva de la comprensión de los efectos de las diferentes manifestaciones volcánicas y de la adecuada percepción del riesgo, y consiste en una respuesta organizada de la sociedad encaminada a realizar una serie de medidas coordinadas y precisas que reduzcan la exposición y fragilidad de los bienes amenazados por esas manifestaciones.

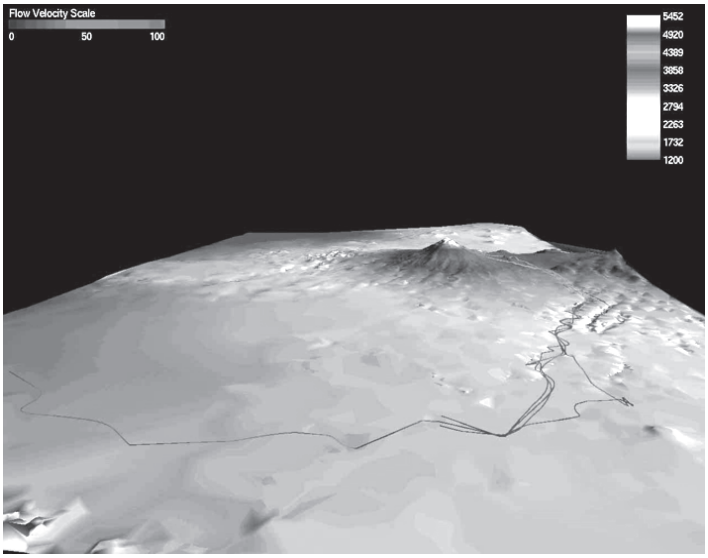


Fig. 9. Modelo tridimensional del volcán Popocatépetl.

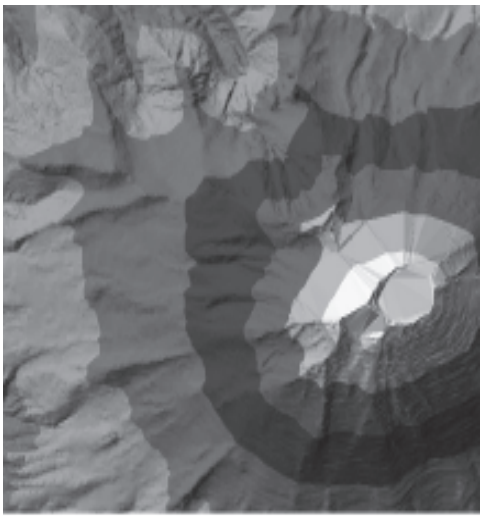


Fig. 10. Modelo digital de elevación del volcán Popocatépetl

El efecto de la preparación en la reducción del riesgo puede visualizarse a través de un nuevo parámetro que defina la capacidad de respuesta de la sociedad para disminuir la vulnerabilidad. Si definimos un número ***Q*** que refleje el grado de preparación, el riesgo reducido puede representarse como:

Riesgo Reducido = Peligro x (Vulnerabilidad)/Q

En la otra sección se analizan algunas medidas de preparación aplicadas en México.

En el análisis del riesgo volcánico es muy importante distinguir claramente la diferencia entre el fenómeno volcánico —esto es las erupciones— y su impacto, es decir el efecto que pueden llegar a tener sobre el entorno del volcán, que, si es grande, puede transformarse en un desastre. Esta distinción nos lleva a comprender que si bien no podemos evitar la ocurrencia de erupciones, si es mucho lo que podemos hacer para evitar que se transformen en desastres. Para ello, el primer paso es entender el fenómeno volcánico y sus diferentes manifestaciones.

El Fenómeno Volcánico

Las erupciones volcánicas resultan del ascenso del magma que se encuentra en la parte interna de un volcán activo. Cuando el magma se acerca o alcanza la superficie, pierde todos o parte de los gases que lleva en solución, formando gran cantidad de burbujas en su interior. Las erupciones son entonces emisiones de mezclas de magma (roca fundida rica en materiales volátiles), gases volcánicos que se separan de este (vapor de agua, bióxido de carbono, bióxido de azufre y otros) y fragmentos de rocas de la corteza arrastrados por los anteriores. Estos materiales pueden ser arrojados con distintos grados de violencia, dependiendo de la presión de los gases provenientes del magma o de agua subterránea sobrecalentada por el mismo.

Fig. 11. Vista del volcán Popocatépetl desde Atlixco, Puebla.

Fig. 12. Erupción explosiva del Volcán Etna, Italia, 2002.

Cuando la presión dentro del magma se libera a una tasa similar a la que se acumula, esto es, cuando el magma puede liberar los gases en solución en forma equilibrada, el magma puede salir a la superficie sin explotar. En este caso se tiene una ***erupción efusiva***. La roca fundida emitida por un volcán en estas condiciones sale a la superficie con un contenido menor de gases y se llama ***lava***. Comúnmente, las lavas recién emitidas se encuentran en el rango de temperaturas entre 700 y 1200 °C, dependiendo de su composición química. Si el magma acumula más presión de la que puede liberar, las burbujas en su interior crecen hasta tocarse y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una ***erupción explosiva.***

Todas las rocas que se han formado a partir del enfriamiento de un magma se llaman ***rocas ígneas.*** Cuando el enfriamiento tuvo lugar en el interior de la tierra, y las rocas fundidas no llegaron a emerger a la superficie, se llaman ***rocas ígneas intrusivas.*** Cuando la roca se ha formado a partir del enfriamiento de lava en la superficie, se denomina ***roca ígnea extrusiva.*** A todas las rocas que han sido producidas por algún tipo de actividad volcánica, sean intrusivas o extrusivas, se les llama rocas volcánicas. Pero no todas las rocas ígneas son volcánicas. Existen grandes masas de rocas ígneas intrusivas, denominadas plutónicas, que se han enfriado a gran profundidad, sin estar asociadas a ningún tipo de actividad volcánica. Algunas de las rocas plutónicas más comunes son, por ejemplo, ciertos tipos de granito.

Una emisión de material rocoso y gases a alta temperatura, esto es, una erupción volcánica, puede desarrollarse de diversas formas. Cuando la erupción resulta de la acción directa del magma o de gases magmáticos, se tiene una ***erupción magmática***. Las erupciones pueden resultar también del calentamiento de cuerpos de agua por la cercanía de magma o por interacción con gases magmáticos. Cuando un cuerpo de agua subterráneo o acuífero es sobrecalentado por efectos magmáticos, la erupción generada por la expansión del vapor de agua se denomina ***erupción freática***. Este tipo de erupciones generalmente produce explosiones de vapor de agua que lanzan fragmentos de la roca sólida «vieja» que encierra el volumen sobrecalentado. En algunos casos, este tipo de erupciones puede emitir también productos magmáticos mezclados con los de la erupción de vapor. Si este es el caso, la erupción se denomina ***freatomagmática***.

Cuando una erupción efusiva se desarrolla lentamente y la lava emitida es muy viscosa, se puede formar una estructura en forma de cúpula a la que se llama ***domo*** (fig. 13), que puede crecer hasta cubrir por completo el cráter. La actividad más reciente de los volcanes Popocatépetl y Colima ha estado caracterizada por la formación y destrucción de domos de lava.

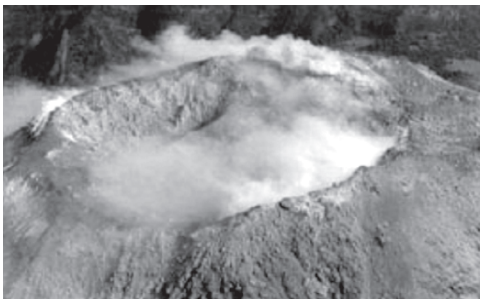


Fig.14 y 15. Domo de lava del volcán Colima, México, 2003.

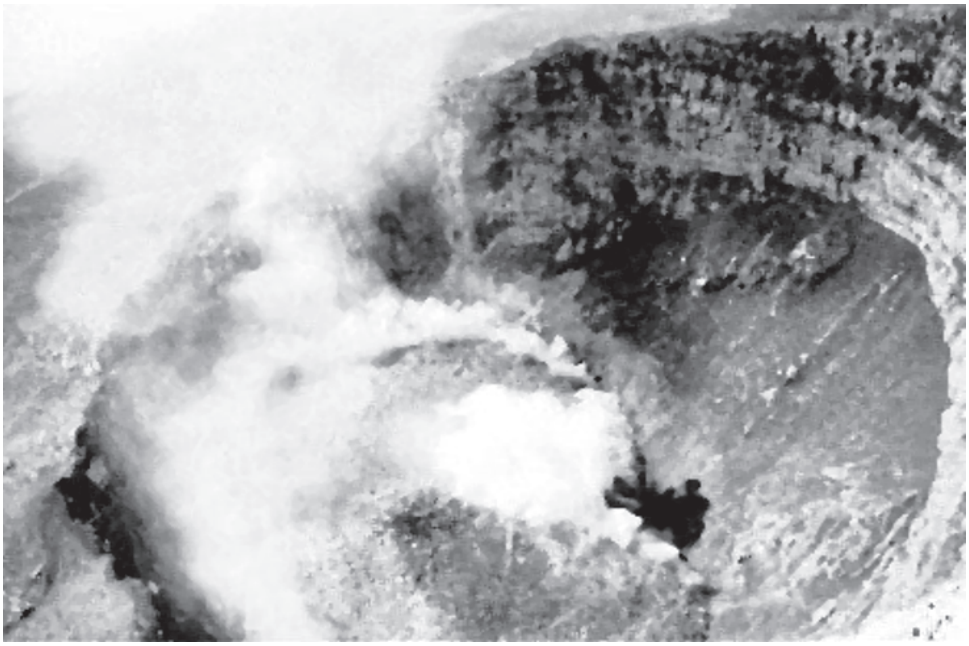


Fig. 13. Domo volcánico en crecimiento en el interior del cráter del Popocatépetl. Foto: José A. Cortés.

Los materiales rocosos fragmentados emitidos por una erupción, lanzados en forma sólida o líquida, se denominan ***piroclastos***. Qué tan fina sea la fragmentación de los piroclastos depende de la intensidad de la erupción explosiva. Estos, al depositarse en el suelo, pueden cementarse por varios procesos, tales como solidificación por enfriamiento si venían fundidos, o por efecto del agua, etc. Los piroclastos cementados forman las ***rocas piroclásticas***. Una forma genérica de referirse a los productos piroclásticos, cualesquiera que sea su forma, es ***tefra***. A los fragmentos de tefra con tamaño entre 0.004 mm y 2 mm se les llama ***ceniza volcánica***, a los que tienen entre 2 mm y 64 mm ***lapilli***, y los mayores de 64 mm se les denomina ***bloques o bombas*** dependiendo de su morfología. El magma, antes de emerger en una erupción, se acumula bajo el volcán a profundidades de unos cuantos kilómetros en una ***cámara magmática***.

Fig. 16. Flujo piroclástico en el volcán Colima, México, 2003

Las erupciones explosivas pueden producir densas columnas de tefra que ocasionalmente penetran la estratosfera y alcanzan alturas superiores a los 20 km; estas son las ***columnas eruptivas***.

Fig. 17. Columna eruptiva del volcán Etna, Italia, 2002

Durante una erupción explosiva, el magma, al alcanzar la superficie, produce grandes cantidades del gas que traía en solución, y libera enormes cantidades de energía por diversos procesos. Esta diversidad de mecanismos presentes en la erupción hace difícil medir su tamaño. Así, la medida del tamaño de una erupción es uno de los problemas fundamentales de la vulcanología. Por ejemplo, en el caso de los sismos, existen herramientas precisas para determinar la energía liberada por un temblor en forma de ondas elásticas (la magnitud sísmica, generalmente expresada en términos de escalas como la de Richter, o la de momento sísmico) y la energía que llega a una cierta región (intensidad sísmica, comúnmente expresada en términos de la escala de Mercalli) midiendo la amplitud, frecuencia y duración de las señales registradas por sismógrafos.

Los volcanes pueden liberar energía como calor (por la alta temperatura del magma emitido), como energía cinética (energía de movimiento de los fragmentos lanzados), energía sísmica, etc.

La forma como se reparte esta energía varía en cada erupción, aun tratándose del mismo volcán, lo que hace muy difícil cuantificarla. Walker (1980) sugirió que se necesitan cinco parámetros para caracterizar adecuadamente la naturaleza y tamaño de una erupción explosiva: ***Magnitud de masa*** es la masa total del material emitido; ***Intensidad*** es la razón a la que el magma es expulsado (masa/tiempo); ***Poder dispersivo*** es el área sobre la cual se distribuyen los productos volcánicos y está relacionada con altura de la columna eruptiva; ***Violencia*** es una medida de la energía cinética liberada durante las explosiones, relacionada con el alcance de los fragmentos lanzados; y ***Potencial destructivo*** es una medida de la extensión de la destrucción de edificaciones, tierras cultivables y vegetación, producida por una erupción.

En 1955 Tsuya definió una escala de magnitudes basada en el volumen de los distintos tipos de materiales emitidos. La ***Escala de Tsuya*** se incluye en la tabla 2. En 1957 Yokoyama y en 1963 Hédervari, propusieron extender las escalas de volumen a una ***Escala de magnitud de energía***, basada en la relación de proporcionalidad directa entre la masa del material emitido, su volumen y la energía liberada. Recientemente, De la Cruz-Reyna (1990) definió una escala de magnitudes basada en la relación entre el tamaño de las erupciones y su tiempo medio de recurrencia.

Actualmente, una de las formas más aceptadas de cuantificar las erupciones explosivas (forma que no es válida para las erupciones efusivas) es la escala del índice de explosividad volcánica (VEI, por sus siglas en inglés). Esta escala fue definida por Newhall y Self en 1982, y es una escala compuesta donde se toman en cuenta diversas características de una erupción mencionadas arriba: el volumen de magma emitido, la energía térmica liberada, el alcance de los productos fragmentados, el grado de destrucción causada, la altura de la columna eruptiva, la duración de la erupción, etc. La tabla 2 muestra la escala VEI en términos de algunos de los parámetros eruptivos relevantes.

Tabla 2. Índice de Explosividad Volcánica (VEI, por sus siglas en inglés). Adaptado de Newhall y Self (1982)

CRITERIO VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Descripción	No explosiva	Menor	Moderada	Moderada Grande	Grande	Muy Grande	→		
Volumen emitido (m^3)	$<10^4$	10^4-10^6	10^6-10^7	10^7-10^8	10^8-10^9	10^9-10^{10}	10^{10}-10^{11}	10^{11}-10^{12}	$>10^{12}$
Escala de Tsuya	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	-----
Altura de Columna (km)	<0.1	0.1-1	1-5	3-15	10-25	>25	→		
Cualitativo	suave y efusiva	—	explosiva	—	severa	cataclismo	—	paroxismo	→
Clasificación	—	stromboliana	—	—	pliniana	→			
	—	hawaiana	—	vulcaniana	—	ultrapliniana	→		
Duración de la Fase Explosiva (hrs)	—	<1	—	—	—	>12	—		
	—	—	—	1.6	—	—	—		
				6-12	—				
Inyección Troposférica	mínima	menor	moderada	sustancial	→				
Inyección Estratosférica	nula	nula	nula	posible	definida	—	significativa	→	

Los materiales emitidos durante una erupción de cualquier tipo pueden causar diferentes efectos sobre el entorno, dependiendo de la forma como se manifiestan. Las principales manifestaciones volcánicas son:

Flujos de lava: La roca fundida emitida por una erupción efusiva desde un cráter superior, algún cráter secundario o desde una fisura en el suelo, puede avanzar como lenguas o coladas de lava con velocidades que dependen de la topografía del terreno, y de su composición y temperatura, pero que por lo general son bajas (fig. 18). Esto permite a la gente ponerse a salvo y contar con tiempo suficiente para desalojar sus bienes. Sin embargo, los terrenos y las construcciones invadidas por la lava son destruidos y difícilmente pueden volver a ser utilizados. Esta manifestación se pudo estudiar con mucho detalle durante la erupción del Paricutín (fig. 4). Este volcán nació el 20 de febrero de 1943 en Michoacán. En los primeros días de 1944, un flujo de lava que tardó tres días en desplazarse desde el volcán, alcanzó al pueblo de Paricutín, a una velocidad de unos 30 m/h, cubriéndolo por completo. En mayo de 1944, San Juan Parangaricutiro también fue alcanzado por otro flujo similar, que se desplazaba a 25 m/h, destruyéndolo casi en su totalidad.

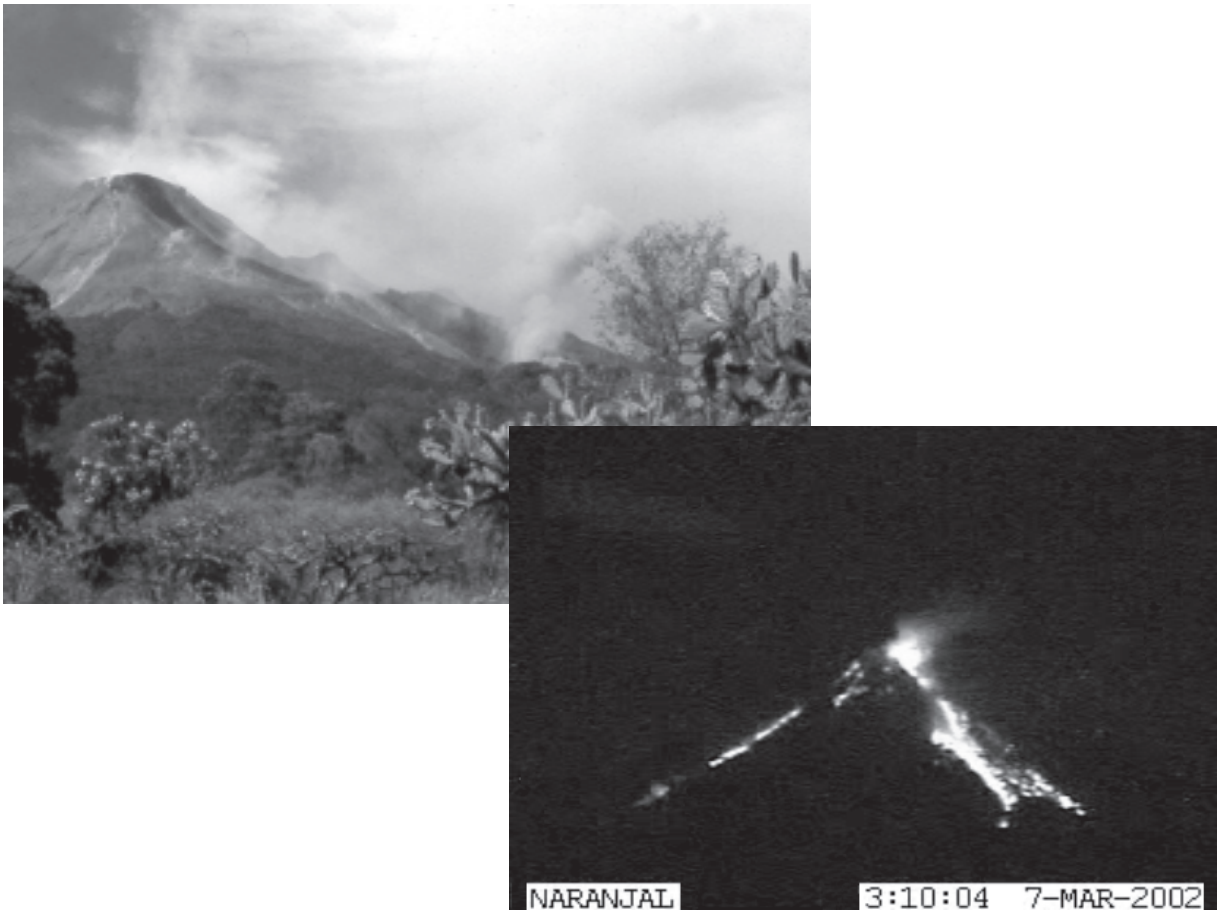


Fig. 18. Flujos de lava en el volcán de Colima. Este tipo de actividad efusiva se inició desde 1960 y continúa en el presente. Los episodios de actividad efusiva se alternan con episodios de erupciones explosivas. La foto de arriba muestra uno de los flujos de lava que se formaron en 1976 (Foto de S. De la Cruz). A la derecha una foto del sistema de monitoreo volcánico de la Universidad de Colima de los flujos de lava del marzo de 2002.

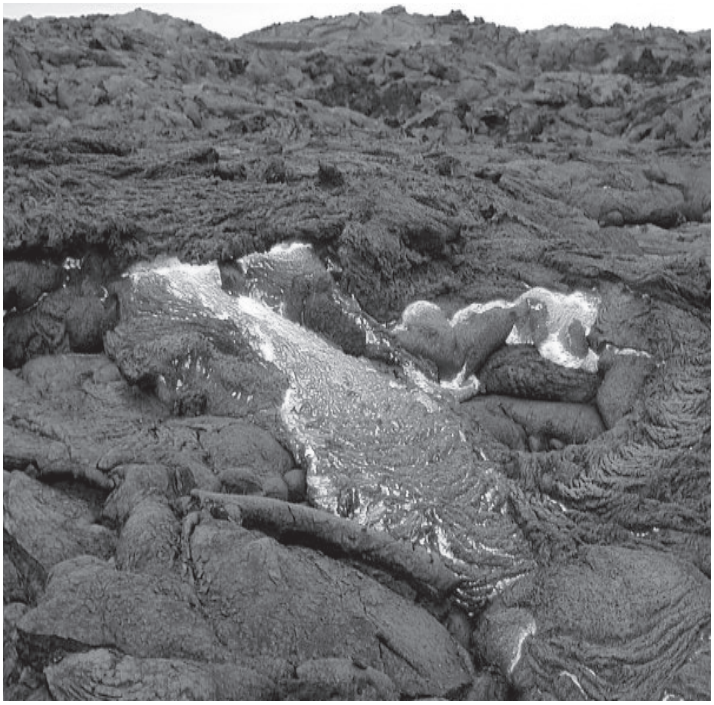


Fig. 19. Lava volcánica del volcán Kilauea, Hawaii, 2002

El efecto destructivo proviene principalmente del peso de la lava que, con una densidad típica en el rango de 2.7 a 2.9 g/cm³, aplasta a las edificaciones de menor altura. Sin embargo, un edificio de altura suficiente que exceda el espesor de flujo de lava, podría en principio resistir el avance de éste. Tal fue el caso de la iglesia de San Juan Parangaricutiro, cuyas partes más altas están relativamente poco dañadas, aunque rodeadas por el flujo de lava.

La razón de esto es que la presión dinámica que puede ejercer lateralmente un flujo de lava sobre un edificio depende linealmente de la densidad de la lava del flujo y del cuadrado de su velocidad. Si bien la densidad de la lava puede ser considerable como se indica arriba, la velocidad de avance es por lo general tan baja, que la presión dinámica ejercida por el flujo de lava sobre las paredes de la iglesia de San Juan Parangaricutiro se estima que fue del orden de tan sólo 0.07 Nw/m², muy pequeña comparada con la presión ejercida por el peso.

Estas consideraciones pueden ser importantes en el diseño y construcción de edificaciones en zonas volcánicas, tales como plantas de producción de energía, (nucleares o de otro tipo), o cualquier otra estructura cuya resistencia sea crítica para la seguridad de la región circundante.

El alcance de los flujos de lava depende críticamente de su viscosidad (es decir su resistencia a deformarse rápidamente). Flujos de lava de baja viscosidad, como los que se forman en los volcanes de Hawai por ejemplo, pueden extenderse por decenas de kilómetros.

Los flujos de lavas más viscosas, sólo pueden avanzar sobre terrenos de pendientes fuertes y, como se observa por ejemplo en el caso del volcán de Fuego de Colima (fig. 18), se detienen cuando la pendiente del terreno es menor que aproximadamente el 15%. Sin embargo, ese tipo de flujos de lava de bloques puede fragmentarse y generar fácilmente derrumbes o avalanchas de rocas incandescentes que al deshacerse pueden liberar flujos piroclásticos, como ha sido el caso de la actividad reciente del volcán de Colima.

Fig. 20. Cono volcánico del volcán Colima, 2003

Flujos piroclásticos: Durante las erupciones explosivas, pueden generarse avalanchas formadas por mezclas de fragmentos de lava, ceniza volcánica (magma finamente fragmentado), y gases muy calientes, que se deslizan cuesta abajo por los flancos del volcán a grandes velocidades y pueden llegar a ser muy destructivas y peligrosas. Estas avalanchas de material magmático, gases calientes y fragmentos de roca reciben varios nombres: flujos piroclásticos, nubes ardientes o flujos de ceniza caliente. Estos flujos representan una de las manifestaciones más impresionantes y destructivas de las erupciones volcánicas y ha sido la causa de numerosos desastres volcánicos en distintas partes del mundo. Entre los más conocidos está la destrucción de Pompeya por la erupción del Vesubio en el año 79 D.C. Otro gran desastres causados por flujos piroclásticos ocurrió durante la erupción del Monte Pelée, en Martinica, isla francesa en el Caribe, el 8 de mayo de 1902, que destruyó la ciudad capital de St. Pierre, causando cerca de 29,000 víctimas.

El poder destructivo de los flujos piroclásticos depende esencialmente de sus volúmenes y de sus alcances. Estos factores están controlados por el tipo de erupción que los produce, por la topografía del terreno (esto es, por las pendientes y barrancas del volcán), por las características de los materiales arrojados durante la erupción (composición y contenido de volátiles), y por la altura a la que se originan.

Existen varios tipos de flujos piroclásticos: Flujos relacionados con derrumbes o colapso de domos, o con el desmoronamiento de los frentes de flujos de lava en pendientes fuertes; flujos producidos directamente en cráteres de cumbre, que pueden ser dirigidos lateralmente por domos; flujos producidos por el colapso de grandes columnas eruptivas, entre otros. Algunos ejemplos se ilustran en la figura 21, donde se muestran flujos piroclásticos producidos por el derrumbe de partes del domo y de las coladas de lava del volcán de Colima, y los grandes flujos piroclásticos generados durante la erupción del volcán El Chichón en 1982 que causaron el peor desastre volcánico de la historia de México.

El único mecanismo de protección ante estos flujos es la evacuación preventiva. Por su velocidad (que puede exceder fácilmente los 100 km/h), hace muy difícil cualquier acción durante su desarrollo, ya que a lo más les toma pocos minutos recorrer las distancias que separan a poblaciones vulnerables de los volcanes activos. Los alcances máximos de los flujos piroclásticos deben estar indicados en los mapas de peligros volcánicos de cada volcán.

Fig. 21. Izquierda: Flujo piroclástico de magnitud moderada producido por el derrumbe de bloques de lava en el volcán de Colima a finales de 1998. Numerosos flujos de este tipo han motivado varias evacuaciones preventivas de poblaciones cercanas a ese volcán. Derecha: Flujo piroclásticos de gran tamaño y poder destructivo, generado durante la erupción del volcán El Chichón, el 3 de abril de 1982. Fotografías de S. De la Cruz.

Flujos de lodo (o lahares): La mezcla de bloques, ceniza y cualquier otro escombro volcánico con agua puede producir unas avenidas muy potentes de lodo y rocas, que tienen un poder destructivo similar o incluso mayor a los flujos piroclásticos, y por lo general mayor alcance, pues pueden recorrer decenas de kilómetros.

El agua que forma la mezcla puede tener varios orígenes, tales como lluvia torrencial sobre depósitos volcánicos, drenaje abrupto de lagunas, o por la entrada de flujos piroclásticos en ríos o en zonas de nieve o glaciares provocando su fusión súbita (figura 22).

Estas avenidas pueden acarrear escombros volcánicos fríos o calientes y se mueven con rapidez, erosionando e incorporando materiales de las pendientes del volcán, siguiendo las barrancas que forman su drenaje natural. Los lahares pueden desarrollarse durante o después de las erupciones, por ejemplo en la estación lluviosa que sigue a una erupción.

Los valles angostos y con cierta pendiente, pueden canalizar los lahares a través de grandes distancias. Sin un lahar llega a un valle amplio y de poca pendiente se dispersará lateralmente formando un abanico, que aunque puede tener menor longitud, abarcará sitios fuera de la desembocadura del valle angosto.

Fig. 22. Generación de flujos de lodo o lahares. En este caso, el agua de la lluvia se mezcló con la ceniza volcánica de la erupción del Chichón de 1982, produciendo grandes cantidades de lodo que fluyeron destructivamente seis semanas después de terminada la erupción, al inicio de la estación de lluvias. Foto de S. De la Cruz.

Las velocidades de estos flujos están determinadas por las pendientes, por la forma de los cauces, por la proporción de sólidos/agua y en cierta forma por su volumen y pueden variar desde pocas decenas a más de 100 kilómetros por hora.

Los lahares pueden destruir o dañar gravemente poblados, tierras dedicadas a la agricultura y todo tipo de infraestructura, sepultando carreteras, destruyendo puentes y presas y bloqueando rutas de evacuación que podrían haber sido consideradas seguras por su relativa lejanía al volcán. También pueden depositarse formando represas y lagos de lodo que al sobrecargarse, se rompen generando un peligro adicional.

Es bien conocido el trágico caso del volcán Nevado El Ruíz, en Colombia, el 13 de noviembre de 1985, cuando una erupción relativamente pequeña originó una de las peores catástrofes volcánicas de la historia. Los flujos piroclásticos erosionaron catastróficamente el glaciar y la nieve de la cumbre del volcán, formando un lahar que, desplazándose a una velocidad media estimada en 12 m/s, arrasó varias poblaciones, incluyendo la ciudad de Armero a 55 km de distancia y causando cerca de 25,000 víctimas.

Una manera de reducir el impacto de los lahares, es por medio de diques y otras estructuras especialmente diseñadas para controlar el curso de sus flujos y reducir su energía de movimiento. En Japón esta tecnología se ha desarrollado en gran medida y se denomina ingeniería "Sabo".

Derrumbes y deslizamientos: Los edificios volcánicos están formados por los depósitos de materiales emitidos en erupciones pasadas, y por lo general no son estructuras muy firmes. Una erupción o un terremoto pueden provocar la fractura y el derrumbamiento del material acumulado en las partes altas del volcán y producir una gran avalancha de escombros. Este tipo de avalancha por lo general llega a ser muy destructiva, dependiendo de la cantidad de material involucrado, de la altura a la que se origina y de la topografía del terreno.

Fig. 23b. Foto del derrumbe del edificio volcánico del Monte Santa Elena en E.U.A., el 19 de mayo de 1982. Foto de Lyn Topinka.

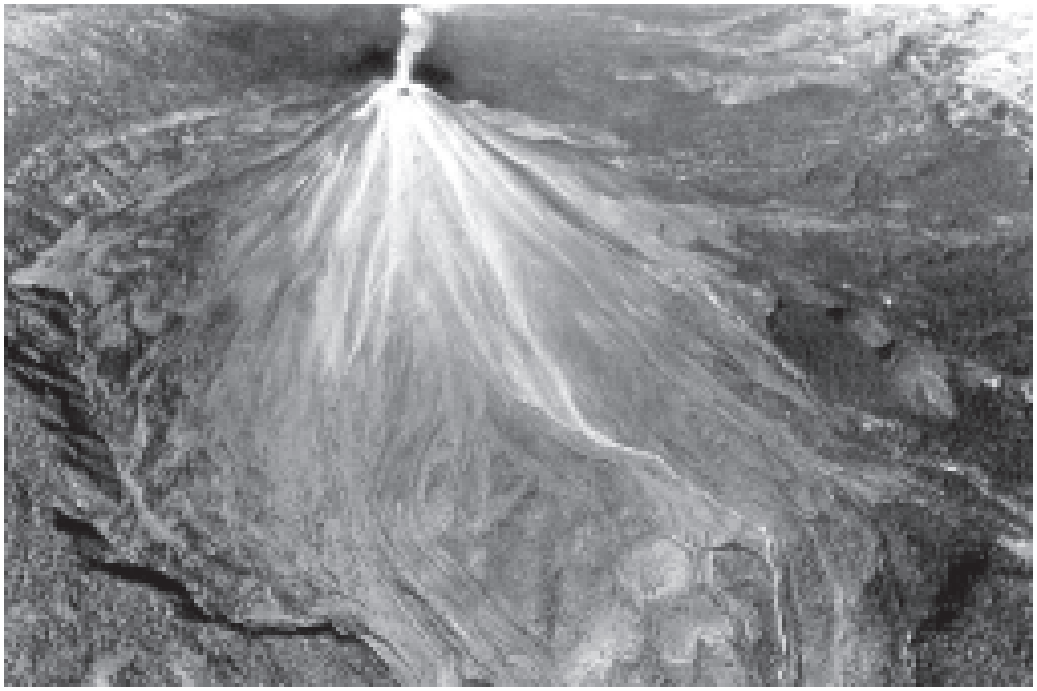


Fig. 23a. Una caldera abierta de unos 5 km de diámetro rodea al actual cono del volcán de Colima. Esa caldera ha resultado de varias erupciones que han causado derrumbes del edificio volcánico. Foto de la SCT.

Por ejemplo, el volcán de Colima tuvo una gran erupción hace 4300 años que produjo el colapso del cono volcánico existente entonces. La fig. 23a muestra el cráter en forma de caldera abierta que han dejado ese tipo de erupciones y que rodea al actual volcán de Colima. Otro ejemplo reciente de este tipo de manifestación se pudo observar en la erupción del volcán Mt. Saint Helens, en el estado de Washington, E.U.A. del 18 de mayo de 1982 (fig 23b).

Columnas eruptivas y lluvias de fragmentos y de ceniza: Las erupciones explosivas lanzan grandes cantidades de gases calientes y fragmentos de magma (mezclas de cristales y fragmentos de vidrio) de todos tamaños al aire. Los gases calientes pueden arrastrar las partículas hasta grandes alturas (en la erupción de El Chichón de 1982, la columna eruptiva alcanzó alturas máximas de 24 km sobre el nivel del mar, y en la erupción del volcán Pinatubo en Filipinas el 15 de junio de 1991, la columna alcanzó cerca de 35 Km de altura). Cuando la columna eruptiva de una erupción penetra en la estratosfera, es decir, alcanza alturas mayores a unos 11 a 13 km, se dice que la erupción es ***Pliniana***.

Durante una erupción, los fragmentos más grandes caen cerca del volcán y los fragmentos más finos pueden ser arrastrados por el viento sobre distancias de cientos y hasta miles de kilómetros, especialmente a elevadas altitudes, produciendo lluvias de ceniza sobre grandes extensiones (fig. 24).

La ceniza más fina puede permanecer en el aire por varios días y hasta por algunas semanas, dependiendo de sus características, de su altitud y de los vientos dominantes. Los aerosoles formados por la condensación de varios de los gases volcánicos y sus interacciones con el agua, sea el vapor que acompaña a la columna eruptiva, o la humedad atmosférica, pueden permanecer suspendidos por tiempos mayores. Por ejemplo aerosoles formados por gotitas de ácido sulfúrico pueden permanecer por semanas, meses y hasta años en las partes altas de la atmósfera.

El daño principal que causa la ceniza en las poblaciones se deriva de su acumulación en los techos, pudiendo provocar su colapso, lo que puede evitarse removiendo la ceniza acumulada, teniendo gran cuidado de no arrojarla al drenaje.

La inhalación o exposición excesiva a la ceniza volcánica también llega a ser dañina, por su carácter erosivo y, en ciertos casos, por los materiales volátiles que se pueden condensar sobre la superficie de las partículas. En algunos casos, por suerte poco frecuentes, la ceniza puede acarrear depósitos de flúor a niveles tóxicos.

Fig. 24. Efectos de la lluvia de ceniza. Los fragmentos finos de las erupciones de 1982, esto es, la ceniza volcánica emitida por las erupciones del Chichón de 1982 fueron transportados por el viento sobre distancias de cientos de kilómetros, precipitándose sobre el campo. Nótese la acumulación de ceniza humedecida sobre las líneas de energía. Foto de S. De la Cruz.

La inhalación excesiva puede reducirse permaneciendo en casas o sitios en los que se evite la entrada del polvo. También debe evitarse que la ceniza caiga en el agua potable, y de ser posible proteger o trasladar animales y ganado doméstico a un lugar seguro. Cuando haya ceniza en el aire, los equipos mecánicos deben protegerse con filtros adecuados.

La ceniza depositada sobre las vías de comunicación puede inhabilitarlas (fig 25).

Fig. 25. La ceniza depositada sobre las carreteras puede inhabilitarlas parcial totalmente. La foto muestra las dificultades de evacuación en una carretera parcialmente cubierta de ceniza durante la erupción del volcán El Chichón, en 1982. Foto de S. De la Cruz.

Fig. 26. El peso de la ceniza puede producir el colapso de instalaciones inadecuadamente diseñadas. La foto muestra el techo caído de la terminal camionera de Pichucalco, a unos 20 km del volcán El Chichón, que cayó por efecto de una acumulación relativamente pequeña de ceniza.

Cuando la ceniza depositada se humedece o se compacta, su peso puede producir hundimientos de los techos y caída de hojas y ramas de plantas y cables de todo tipo. Así mismo, la ceniza húmeda puede conducir la electricidad, produciendo corto-circuitos en líneas de transmisión de energía y en líneas de comunicación. La densidad de la ceniza no compactada es comparable a la del agua o granizo (cerca de 1000 kg/m^3). La ceniza húmeda y compactada puede alcanzar densidades carcanas a 3000 kg/m^3, por lo que su acumulación sobre techos inadecuadamente diseñados puede causar su colapso (fig. 26).

Fig. 27. La foto muestra los drenajes de Pichucalco, Chiapas, completamente bloqueados por la ceniza de la erupción del volcán El Chichón caída sobre la ciudad, a la que se añadía la ceniza removida de los techos. Foto de S. De la Cruz.

La ceniza húmeda puede tener ciertas propiedades de cohesión y cementarse, especialmente cuando ha invadido sistemas de drenaje (fig. 27). La lluvia abundante sobre depósitos de ceniza genera lodo que dificulta el tránsito y puede generar peligrosos flujos de lodo.

Los fragmentos mayores, especialmente aquellos formados por las rocas densas de las estructuras más viejas del volcán, como son los domos que tapan los cráteres, son lanzados por las explosiones como proyectiles balísticos (denominados "líticos") y pueden causar severos daños, incluso en techos más reforzados (fig. 28).

Fig. 28. En regiones más cercanas al centro eruptivo, aparte de la ceniza volcánica, los fragmentos de mayor tamaño pueden producir perforaciones y severos daños a los techos, y a las vías de comunicación. Estas fotos muestran ese tipo de daños producidos por las erupciones del volcán El Chichón en 1982, dentro de un radio de 10 km. Arriba, foto de un techo perforado por líticos. A la derecha un puente semidestruido por impactos de líticos. Fotos de S. De la Cruz.

Algunos de los peligros asociados a los distintos tipos de erupciones volcánicas y a sus diferentes manifestaciones se resumen en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Erupciones efusivas

Manifestación	Peligro asociado	Velocidad	Alcance	Efecto más frecuente
Lava líquida	Flujos de lava	Baja	Corto	Destrucción del terreno
Ceniza	Lluvia de ceniza	Media	Intermedio	Acumulación de ceniza

Tabla 4. Erupciones explosivas

Manifestación	Peligro asociado	Velocidad	Alcance	Efecto más frecuente
Fragmentos de todos tamaños	Flujos piroclásticos	Muy alta	Corto a intermedio	Devastación
Ceniza	Lluvia de ceniza	Media	Largo a muy largo	Acumulación de ceniza, bloqueo de drenajes
Lodo (agua y fragmentos)	Flujo de lodo (lahar)	Media a alta	Intermedio a largo	Devastación
Derrumbe o deslizamiento	Avalancha de escombros	Alta a muy alta	Intermedio a largo	Devastación

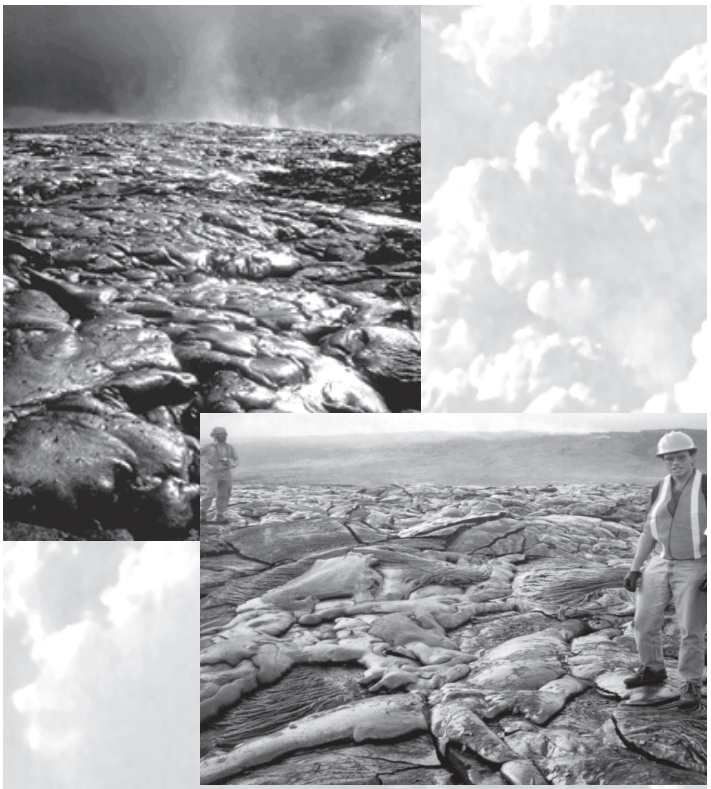


Fig. 29. Lava volcánica del volcán Kilauea, Hawaii, 2002

Fig. 30. Volcán Paricutín, México.

Las velocidades y los alcances están descritos aquí en términos cualitativos, dado que dependen de muy diversos factores, como altura del volcán, intensidad de la erupción, topografía del terreno, vientos dominantes, etc. En términos muy generales, estos rangos pueden acotarse como sigue: Las velocidades denominadas bajas están en el rango de metros por hora; las intermedias, de pocos kilómetros por hora; y las altas, desde varias decenas de kilómetros por hora, hasta cientos de kilómetros por hora. Alcances cortos implican de cientos de metros a pocos kilómetros; intermedios, algunas decenas de kilómetros; y largos hasta cientos de kilómetros.

Los volcanes poligenéticos pueden producir cualquier tipo de erupción con un rango amplio de intensidades. En los volcanes monogenéticos por lo general domina la actividad efusiva, pero ésta puede ir acompañada de fases moderadamente explosivas (denominadas como del tipo ***Stromboliano,*** por su similitud con las erupciones del volcán Stromboli en Italia).

Fig. 31. Erupción volcánica

Actividad Volcánica Reciente en México

México, como muchas otras naciones de América Latina, es un país rico en volcanes localizados en la región circumpacífica. La mayor parte del vulcanismo está relacionado con las interacciones entre las placas tectónicas de Rivera y Cocos y la Placa Norteamericana y se manifiesta principalmente en la Faja Volcánica Mexicana (FVM). Esta Faja es una región volcánica elevada, con orientación aproximada Este-Oeste, que se extiende más de 1200 km con un ancho variable entre 20 y 150 km, aproximadamente a lo largo del paralelo 19°. Sin embargo la FVM no es la única región volcánica. Como lo muestra la fig. 33, actividad importante ha ocurrido en el Noroeste (Baja California y Sonora, en las islas del Pacífico (principalmente las Revillagigedo), y en el Sureste (principalmente en Chiapas).

El vulcanismo que se desarrolla a lo largo de la FVM es muy variado, e incluye desde actividad efusiva, cuyos productos más importantes son los derrames de lava, hasta volcanes que han producido erupciones altamente explosivas, con emisión de grandes cantidades de materiales piroclásticos tanto de flujo como de caída. Esto genera una diversidad de volcanes, casi 2000, que incluye grandes estratovolcanes y extensos campos de pequeños conos de ceniza y volcanes escudo.

La tasa de la erupción promedio en México durante los últimos 500 años ha sido de unas 15 erupciones de diversos tamaños por siglo.

Fig. 32. Nevado y volcán de Colima, México

Si bien la mayoría de las erupciones han sido de magnitudes bajas, otras han sido destructivas en grado moderado, como las del Colima de 1576 y 1818, o las del San Martín Tuxtla de 1664 y 1793, o en mayor grado, como recientemente ocurrió en la erupción del volcán El Chichón en 1982, que causó numerosas víctimas, devastó 150 km^2 de áreas boscosas y de cultivo y destruyó varios miles de cabezas de ganado.

Otras erupciones, como el nacimiento del volcán monogenético Parícutin han producido flujos de lava, provocando la destrucción de poblaciones y tierras cultivables, pero sin causar víctimas. Casos análogos de volcanes monogenéticos recientes son el Jorullo, que nació en Michoacán en 1759, y el Xitle, que nació en el valle de México, hace unos 1670 años. Los efectos de los flujos de lava del Xitle pueden apreciarse muy claramente en la zona arqueológica de Cuicuilco en el sur del Distrito Federal.

En el figura 33 se muestran algunos de los principales volcanes mexicanos que han desarrollado algún tipo de actividad eruptiva en tiempos geológicamente recientes. Puede notarse en esa figura que la mayor concentración de volcanes activos se encuentra el la Faja Volcánica Mexicana.

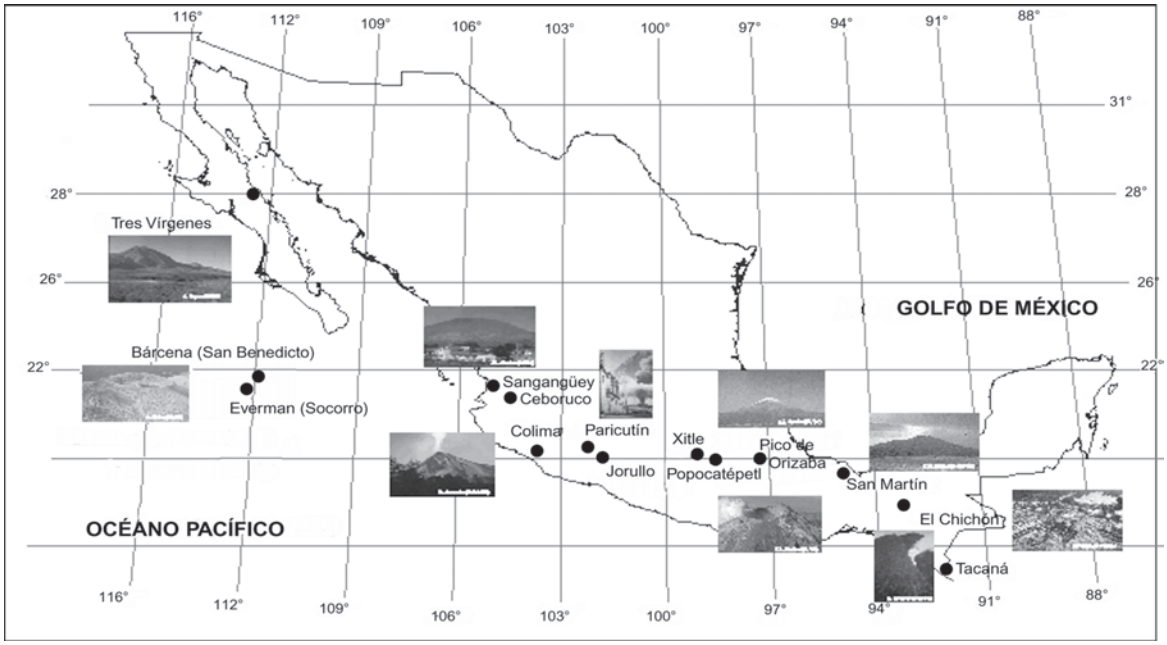


Fig. 33. La figura muestra algunos de los volcanes de México que han tenido erupciones en tiempos geológicos muy recientes o históricos. Nótese que algunos de los volcanes señalados (como el Xitle o el Paricutín) son monogenéticos. Fuente: tepetl.igeofcu.unam.mx/volcanes.

A continuación, en las tablas 5 a 16 se describen de una forma muy condensada y resumida las erupciones más importantes que han ocurrido en México en tiempos históricos, afectando de una manera u otra a la población que ha habitado en sus entornos. Los volcanes se listan desde el Noroeste al Sureste.

Tabla 5. Volcán Tres Vírgenes

Complejo de tres estratovolcanes andesíticos y domos dacíticos **Altura: 1,940 msnm**	**Localización: 27.47° N, 112.59° O (Baja California Sur)**
Fecha (D/M/A)	**Tipo de erupción y efectos**
1746 y 1857	Erupciones dudosas y poco documentadas. No hay reportes de daños.

Tabla 6. Volcán Bárcena

Cono Cinerítico Altura: 381 msnm	**Localización: 19.30° N, 110.82° O (ISLA SAN BENEDICTO, Archipiélago de las Revillagigedo, COLIMA)**
Fecha (D/M/A)	**Tipo de erupción y efectos**
01/08/1952	Nace este volcán en el extremo sur de la isla San Benedicto del archipiélago de las Revillagigedo, deshabitada en esa época. La actividad fue principalmente de tipo stromboliano y se prolongó hasta marzo o abril de 1953.

Tabla 7. Volcán Evermann (o Socorro)

Volcán de Escudo Altura: 1,050 msnm	**Localización: 18.78° N, 110.95° O (ISLA SOCORRO, COLIMA)**
Fecha (D/M/A)	**Tipo de erupción y efectos**
1848, 1896, 1905 y 22/05/1951	Erupciones pequeñas a moderadas.
01/02/1993	Leve actividad eruptiva por una ventila submarina en el flanco oeste del volcán, a 3 km de Punta Tosca y a una profundidad de unos 300 m. Algunos fragmentos de pómez emitidos por esta actividad fueron vistos flotando en la superficie del mar.

Tabla 8. Volcán Sangangüey

Estratovolcán andesítico Altura: 2,340 msnm	**Localización: 21.45° N, 104.73° O (NAYARIT)**
Fecha (D/M/A)	**Tipo de erupción y efectos**
1742 y 1859	Erupciones dudosas y poco documentadas. Es posible que los reportes de la época sean incorrectos o atribuyan al Sangangüey erupciones de otros volcanes cercanos.

Tabla 9. Volcán Fuego de Colima

Estrato volcán andesítico Altura: 3,820 msnm	**Localización 19.51° N, 103.62° O (JAL-COL.)**
Fecha (D/M/A)	**Tipo de erupción y efectos**
1560	Erupción menor poco documentada.
1576	Abundante caída de ceniza, estragos, posibles pérdidas humanas.
10/01/1585	Abundante caída de ceniza a distancias de hasta 100 km. Se reporta gran pérdida de ganado.
14/01/1590	Erupción explosiva con abundante lluvia de ceniza.
25/11/ y 13/121606	Erupciones grandes, con abundante caída de ceniza hasta Michoacán.
15/04/1611	Actividad explosiva con abundante lluvia de ceniza.
08/06/1622	Gran erupción con intensas lluvias de cenizas a distancias de 200 km.
1690 y 1771	Erupciones explosivas con importantes lluvias de ceniza.
1795	Erupción con emisiones de lava.
25/03/1806	Flujos de bloques y ceniza.
15/02/1818	Gran erupción con extensas lluvias de ceniza, que llegan hasta Guadalajara, Zacatecas, Guanajuato, San Luis Potosí y la Ciudad de México.
12/06/1869	Varias erupciones forman un nuevo cono adventicio en el flanco NE del volcán (Volcancito).
26/02/1872	Erupción explosiva del Volcancito, con abundante lluvia de ceniza.
06/01/1886, 26/10/1889	Erupciones explosivas con lluvias de ceniza y flujos de lava.
16/02/1890	Erupción explosiva importante, con lluvia de ceniza sobre distancias mayores de 100 km.
1891-1893	Repetidas erupciones con frecuentes emisiones moderadas de ceniza. Se instala un observatorio vulcanológico.
15/02 al 31/03/1903	Erupción explosiva con lluvias de ceniza al N y NE del volcán y flujos piroclásticos.
18/12/1908, 04/02/1909	Erupciones explosivas, lluvias de ceniza. Fragmentos incandescentes lanzados, causan incendios en las faldas de los volcanes.
20/01/1913	Gran erupción explosiva con abundante lluvia de ceniza y flujos piroclásticos. Algunas víctimas.
1960	Se inicia un nuevo episodio de crecimiento de domo.
14/02/1991	La recientemente instalada Red Sísmica de Colima detecta una considerable actividad sísmica en el volcán de Colima. Se alerta a los sistemas de protección civil de Colima, Jalisco y Nacional.
01/03/ al 17/04/1991	Se inicia la extrusión de un domo de lava, que genera numerosas avalanchas de rocas incandescentes y algunos flujos de bloques y ceniza sobre los flancos Sur y Suroeste del volcán. Se toman medidas preventivas que incluyen simulacros de evacuación.
21/07/1994	La red de monitoreo volcánico RESCO detecta un incremento en la actividad sísmica desde el 15 de julio de 1995, que culmina con una explosión el 21 de julio del mismo año alrededor de la media noche que destruye parte del domo y forma un cráter de 135 m de diámetro.
1998	Desde marzo se detecta actividad sísmica creciente. El 17 de noviembre se evacuan las poblaciones más cercanas al volcán. El 20 de noviembre se observa un nuevo domo de lava creciendo en la cumbre. Posteriormente, ocurren derrames de bloques de lava, flujos piroclásticos menores y explosiones.
1999-	Se registran explosiones aisladas. Una mayor ocurre el 10 de febrero, que lanza fragmentos incandescentes y produce incendios en la vegetación de las faldas del volcán y algunos flujos de bloques y ceniza. Se efectúa una segunda evacuación de las poblaciones más cercanas. Otra explosión similar se registra el 10 de mayo de 1999, motivando una tercera evacuación. La actividad de flujos de lava y derrumbes de fragmentos continúa a lo largo de 2000 y 2001. Posteriormente se reduce y en 2003 continúa en un nivel relativamente bajo, aunque aun se detectan explosiones y flujos piroclásticos esporádicos, como el ocurrido el 17 de julio de 2003.

Tabla 10. Volcán Popocatépetl

Estratovolcán andesítico-dacítico Altura: 5,454 msnm	**Localización: 19.02° N, 98.62° O (MEX-PUE-MOR)**
Fecha (D/M/A)	**Tipo de erupción y efectos**
Entre 3200 y 2800 A.C.	Erupciones plinianas con intensos flujos piroclásticos, algunos derrames de lava y generación de grandes lahares.
Entre 800-200 A.C.	Erupción pliniana similar
Entre 700-1100 D.C.	Erupción pliniana, similar a las anteriores.
1347	Erupción poco documentada
1354 y 1363	Episodios de actividad eruptiva moderada
1509, 1512	Emisión de fumarolas
1518-1528 y 1530	Episodios de actividad eruptiva moderada, con fumarolas, explosiones y esporádicas emisiones de rocas incandescentes
1539-1540	Erupciones moderadas, similares a las anteriores
1548	Erupción moderada, con algunas explosiones y emisión de material incandescente
1571-1592	Actividad persistente. Emisiones de gases y cenizas.
20/10/1697	Explosión moderada
1720	Actividad moderada
19/02/1919-1927	Episodio de actividad eruptiva consistente de la emisión y destrucción de domos de lava en el interior del cráter. A lo largo de varios años se manifestaron explosiones, emisiones de ceniza y materiales incandescentes y fumarolas. Hubo una víctima y dos heridos entre miembros de una expedición al borde del cráter, al ocurrir una explosión el 25/03/1921.
1989	Se instala la primera estación de monitoreo sísmico del volcán
1993-1994	Aumento en la actividad microsísmica y fumarólica. Se extiende el monitoreo.
21/12/1994-	A las 01:31 del 21/12/ 1994, ocurren cuatro explosiones seguidas por una emisión creciente de gases y ceniza. En esa ocasión, se evacuaron unas 20,000 personas en poblaciones del Estado de Puebla al pie del volcán. Las emisiones de ceniza o exhalaciones continuaron en 1995 y 1996. En marzo de 1996, ocurre otro episodio de emisión intensa de gases y cenizas. A finales de marzo, se detecta un domo creciente de lava en el interior del cráter. Las explosiones subsiguientes se hacen más intensas y lanzan fragmentos incandescentes alrededor del cráter. El 30/04/1996, una explosión causa la muerte de 5 alpinistas cerca del labio inferior del cráter y lluvias de ceniza y arenilla en poblaciones cercanas. En 1997, continúa el crecimiento del domo de lava y la actividad de exhalaciones y explosiones. La de mayor intensidad, el 30 de junio de 1997, produce una columna eruptiva de 8 km sobre la cima y una leve lluvia de ceniza en la ciudad de México. Otras explosiones en 1997, 1998 y 1999 lanzaron cantidades importantes de fragmentos incandescentes y causaron incendios en la vegetación de las faldas del volcán, provocando la destrucción parcial de los domos de lava. En diciembre de 2000 se registra la erupción más grande del episodio actual, lo que lleva a realizar evacuaciones preventivas similares a las de 1994. Hasta marzo de 2003 se han formado de 25 domos. Explosiones registradas entre febrero y julio de 2003 destruyen el último de esos domos.

Tabla 11. Volcán Ceboruco

Estratovolcán andesítico **Altura: 2,280 msnm**	**Localización: 21.13° N, 104.51° O (NAYARIT)**
Fecha (D/M/A)	**Tipo de erupción y efectos**
c. 1000 D.C.	Gran erupción pliniana produjo abundante lluvia de ceniza y flujos piroclásticos. Se ignoran daños.
16/02/1870	Erupción con emisión de ceniza y lava.
1870-1875	Erupción efusiva produce grandes flujos de lava que alcanzan un volumen de 1.1 km^3, causando la destrucción de algunas tierras cultivables. Actualmente el Ceboruco se encuentra en reposo, mostrando solamente leves fumarolas en el interior de su cráter.

Tabla 12. Volcán Citlaltépetl o Pico de Orizaba

Estratovolcán andesítico **Altura: 5,675 msnm**	**Localización: 19.03° N, 97.27° O (PUE-VER)**
Fecha	**Tipo de erupción y efectos**
1533-1539	Emisiones de ceniza
1545	Flujos de lava y ceniza
1566	Emisiones de lava
1569-1589-1687-1846	Emisiones de ceniza
1613	Posible emisión de lava
1864-1867	Fumarolas y emisiones de ceniza
2002	Se instalan las primeras estaciones de monitoreo permenente

Tabla 13. Volcán San Martín Tuxtla

Cono basáltico Altura: 1,650 msnm	**Localización: 18.57° N, 95.17° O (VERACRUZ)**
Fecha (D/M/A)	**Tipo de erupción y efectos**
15/01/1664	Erupción explosiva con lluvias de ceniza.
02/03/1793	Erupción explosiva con abundantes lluvia de ceniza. Se mantuvo actividad menor hasta 1805.
1838	Actividad menor.

Tabla 14. Volcán El Chichón o Chichonal

Complejo Dómico Andesítico Altura: 1,070 msnm	**Localización: 17.36° N, 93.23° O (CHIAPAS)**
Fecha (D/M/A)	**Tipo de erupción y efectos**
c. 300, 680 y 1300	Erupciones explosivas (plinianas) con abundantes lluvia de ceniza y flujos piroclásticos.
28/03/1982	Gran erupción explosiva (vulcaniana) con una duración de 5 a 6 horas y altura de unos 17 km con abundante lluvia de ceniza. Aproximadamente 20 víctimas causadas por derrumbes de techos, producidos por acumulación de cenizas de caída libre.
03/04/ - 04/04/1982	Dos grandes erupciones explosivas (plinianas) con columnas eruptivas de más de 20 km de altura, abundantes lluvia de ceniza y flujos piroclásticos destructivos. Numerosas víctimas, aproximadamente 150 km^2 de tierras cultivadas devastadas, grandes pérdidas de ganado en un radio de 10 km a la redonda y de cultivos de plátano y cacao en un radio de 50 km. Cerca de 20,000 damnificados. El domo en la cumbre del volcán fue destruido, formándose un cráter de cerca de 1 km de diámetro y casi 200 m de profundidad.
1982-2003	Poco tiempo después de la erupción se forma una laguna en el fondo del cráter formado por las erupciones. Se inicia en noviembre de 1982 el monitoreo químico del agua de esa laguna. En 2003 se instala la primera estación permanente de monitoreo sísmico

Tabla 15. Volcán Tacaná

Estratovolcán andesítico Altura: 4,060 msnm	**Localización: 15.13° N, 92.11° O (CHIAPAS-GUATEMALA)**
Fecha (D/M/A)	**Tipo de erupción y efectos**
1855-1878-1900-1903-1949-1951	Episodios de actividad fumarólica, acompañada en ocasiones de pequeñas explosiones freáticas.
08/05/1986	Después de algunos meses de actividad sísmica precursora, ocurrió una explosión freática mediana, que abrió una fisura alargada de unos 20 m en el flanco NO del volcán a 3,600 msnm. Esto produjo una fumarola de vapor y gases que continúa hasta la fecha.
1986-2003	Desde enero de 1986 se instalan algunas estaciones temporales de monitoreo sísmico y se efectúa un monitoreo químico de manantiales cercanos. Posteriormente se instalan tres estaciones sísmicas permanentes

Tabla 16. Volcanes monogenéticos

Conos cineríticos	
Nombre y Fecha (D/M/A)	**Tipo de erupción y efectos**
PARICUTIN 20/02/1943 **Localización: 19.49 ° N, 102.25 ° O (MICHOACÁN)**	Nace de una fisura abierta en un campo de cultivo; a las 24 horas forma un pequeño cono de 50 m de alto y para febrero 6 alcanza 150 m. A los 12 días llega a más de 400 m y produce grandes cantidades de cenizas y lava. La actividad eruptiva termina en 1952 y emite un total de 1.3 km^3 de ceniza y 0.7 km^3 de lava. Dos poblaciones y cerca de 25 km^2 de tierras cultivables son destruidas por los flujos de lava. No se reportan víctimas.
Jorullo 29/09/1759 **Localización: 18.97 ° N, 101.72 ° O (MICHOACÁN)**	En forma similar al Paricutín, nace de una fisura abierta en terrenos de la hacienda El Jorullo en el Estado de Michoacán. Emite abundantes cantidades de ceniza y lava. En las etapas iniciales posiblemente produjo algunas víctimas entre la población de una hacienda, que se encontraba aislada y muy cerca del lugar de nacimiento del volcán. Las erupciones continuaron hasta 1774. Los flujos de lava destruyeron aldeas y 9 km^2 de tierras cultivables.
Xitle c. 280 D.C. **Localización: 19.25° N, 99.22° O (D.F.)**	En forma análoga al Paricutín y el Jorullo, nace de una fisura en el campo volcánico monogenético de la Sierra de Chichinautzin. Emite abundantes cantidades de ceniza, y de lavas que forman el pedregal de San Ángel, D.F. Causa la destrucción de la ciudad de Cuicuilco. El campo de lava formado por esa erupción cubre un área de 72 km^2.

No se mencionan en esta recopilación otros volcanes que pueden ser considerados activos, pero de los que no existen reportes de erupciones históricas.

No se intenta aquí representar la totalidad del vulcanismo geológicamente activo de México.

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 técnica especiales de laboratorio como por ejemplo los fechamientos radiométicos 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 Popocatépetl (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.

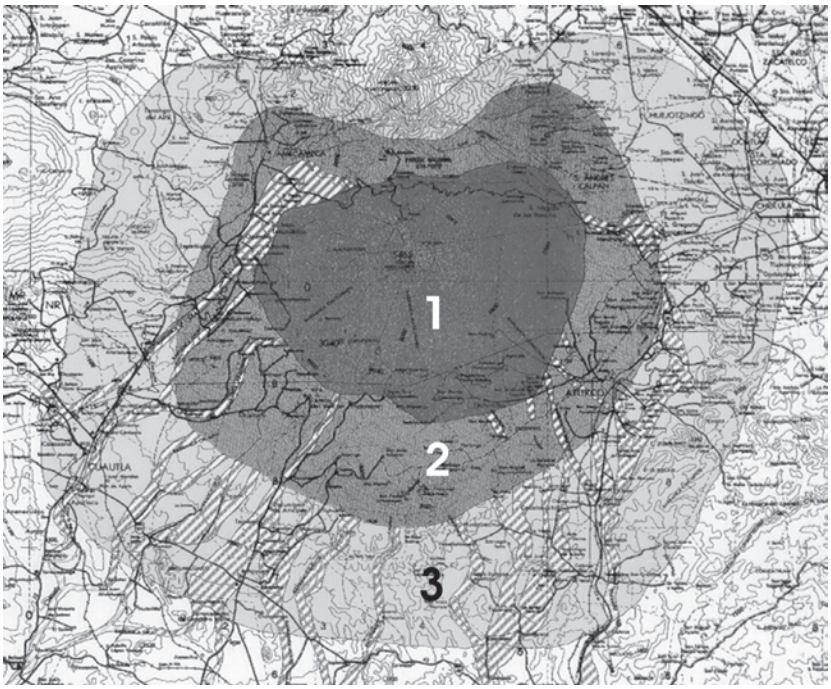


Fig. 34. Mapa de peligros del Volcán Popocatépetl. Fragmento reducido, tomado del mapa publicado por el Instituto de Geofísica de la UNAM en 1995 (Macías *et al,* 1995). Este mapa fue diseñado para ser usado como un medio de información en la eventualidad de una erupción mayor del Volcán Popocatépetl. 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.

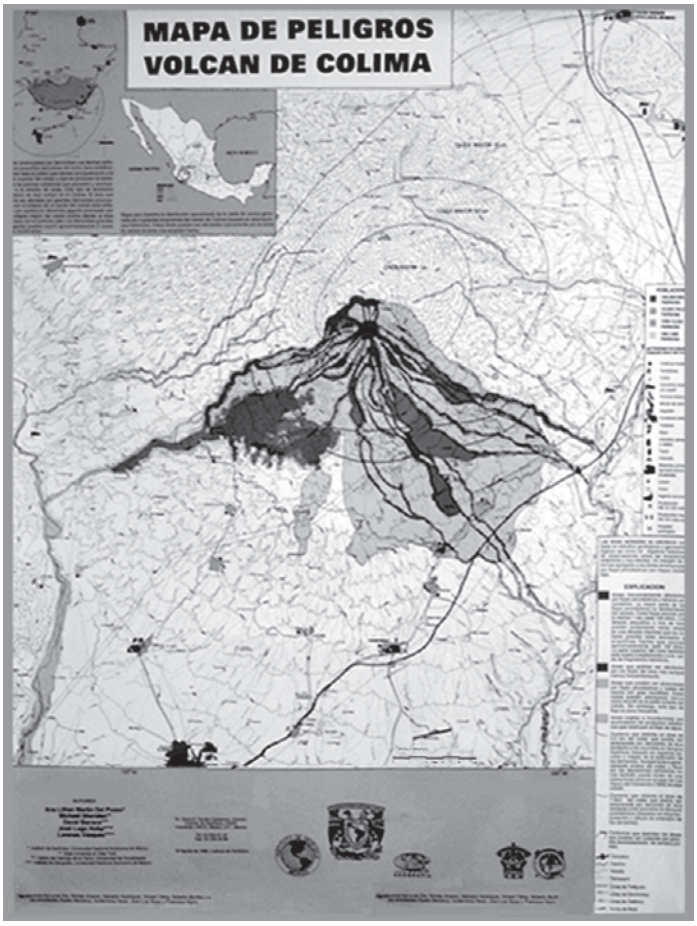


Fig. 35. Mapa de peligros del volcán de Colima.

Mapa de peligros del volcán de Colima, reducido del mapa publicado por el Instituto de Geofísica de la UNAM (Martin del Pozzo et al, 1995). Las áreas de peligros señaladas fueron calculadas por los autores con base en estudios geológicos y geomorfológicos así como en registros históricos de observaciones sobre las erupciones anteriores y sus efectos. Asimismo, agregaron un margen de 2 km a las áreas amenazadas por flujos piroclásticos de mayor movilidad.

Las áreas frecuentemente afectadas por flujos piroclásticos y lahares secundarios están marcadas en gris oscuro. 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 gris claro se marcan las 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 gris tenue también se marcan las áreas sujetas a inundaciones por acumulación de productos volcánicos que obstruyen el flujo de agua a lo largo de barrancas y ríos. En los recuadros superiores se presentan áreas sujetas a derrumbes (izquierdo) y caídas de ceniza, por lo que se sugiere consultar el mapa en su tamaño natural.

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).

Referencias:

MARTIN DEL POZZO, A. L., SHERIDAN, M., BARRERA, D., LUGO-HUBP, J., VÁZQUEZ, L. Mapa de Peligros Volcán de Colima. Instituto de Geofísica UNAM (1995)

NAVARRO, C., CORTÉS, A. Mapa de Peligros del volcán de Fuego de Colima. U. de Colima (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 Popocatépetl 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.*

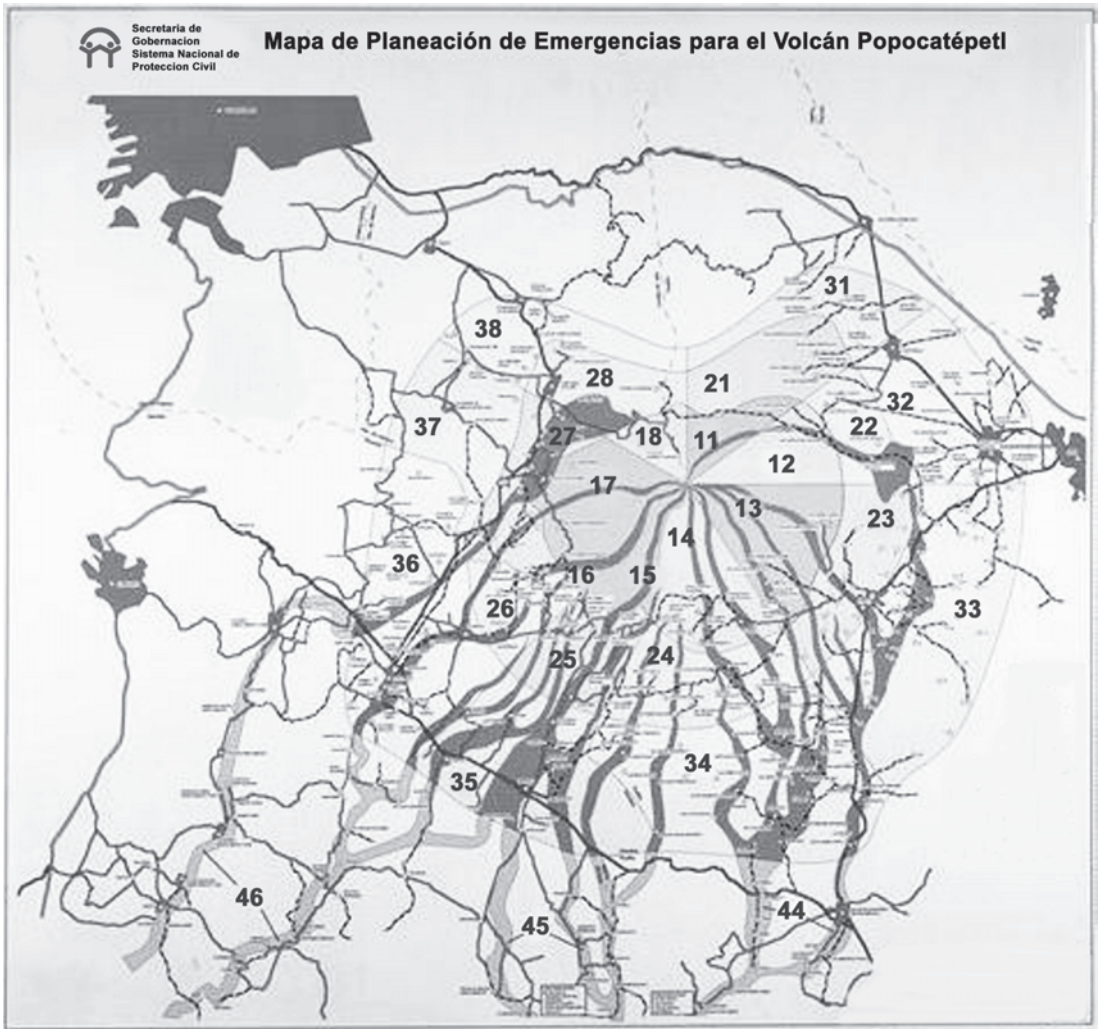


Fig. 36. Mapa de Planeación de Emergencias.

Fig. 36. *Mapa de planeación de emergencias del volcán Popocatépetl, 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.

Parte fundamental de esta fase es la relacionada con los mecanismos de comunicación y alerta. En México se ha desarrollado un instrumento de comunicación y alertamiento genéricamente conocido como el Semáforo de Alerta Volcánica para el Popocatépetl. La tabla 17 muestra los elementos de este instrumento de comunicación, que permite definir el nivel de actividad del volcán, de acuerdo con el consenso de la comunidad científica en seis niveles (primera y segunda columnas de la izquierda), correspondientes a otros tantos grupos de escenarios posibles, comunicarlo a las autoridades de Protección Civil para que éstas realicen acciones recomendadas (tercera columna), y a su vez lo comuniquen a la población para que ésta defina su nivel de alertamiento (columna derecha) en tres niveles, correspondientes a los colores del semáforo.

Si así lo requiriera la condición de riesgo comunicada por medio del Semáforo de Alerta Volcánica, se tomarían las medidas correspondientes en los diferentes planes operativos. Una parte fundamental de los planes operativos son los Manuales de Procedimientos, que son documentos elaborados por los sistemas regionales y locales de protección civil, en los que se describen con detalle las acciones que cada funcionario responsable debe llevar a cabo para cada uno de los niveles de alertamiento definidos por el semáforo de alerta volcánica. Estos documentos garantizan la continuidad de los criterios y mecanismos de respuesta ante el natural cambio de funcionarios a lo largo del tiempo.

Finalmente, cuando declina la actividad volcánica, surge el problema de definir el fin de la emergencia. El problema de retorno a una condición sub-crítica o a la normalidad es complejo y debe también estar contemplado en los planes de gestión del riesgo.

Fig. 38 Volcán Popocatépetl, México.

Semáforo de Alerta Volcánica

Tabla. 17. 1. Semáforo de Alerta Volcánica en sus dos fases del color verde

Nivel de Alerta	Escenarios Esperados	Acciones Recomendadas al SINAPROC	Niveles Alerta Para la Población ***Acciones Recomendadas Generales***
Color Verde Fase 1	• El volcán se encuentra en estado de reposo • Señales sísmicas esporádicas	• Desarrollar planes de preparación • Educación a la población • Mantenimiento de dispositivos de monitoreo	***Normalidad*** • Mantenerse informado • Instruirse sobre los fenómenos volcánicos. • Memorizar la señalización de: – *Rutas de evacuación* – *Sitios de reunión* – *Albergues* • Asistir a cursos de capacitación • Participar en ejercicios y simulacros • Promover la reubicación de instalaciones en áreas de alto riesgo
Color Verde Fase 2	• ***Actividad sísmica*** de bajo nivel, registrada únicamente en estaciones próximas • ***Actividad fumarólica*** o cambios menores en la temperatura de fumarolas • ***Manantiales:*** cambios en su composición que podrían afectar levemente la calidad del agua para uso agrícola y potable.	• Aumentar los niveles de monitoreo • Reuniones esporádicas o periódicas del cca • Nivel aumentado de comunicación entre autoridades responsables y cca • Revisión de planes operativos de emergencia • Mayor información a la población para mantener altos niveles de concientización	

Tabla. 17. 2. Semáforo de Alerta Volcánica en sus tres fases del color amarillo

Nivel de Alerta Comunicación	Escenarios Esperados	Acciones Recomendadas al SINAPROC	Niveles Alerta para la Población *Acciones Recomendadas Generales*
Color Amarillo Fase 1	• Sismicidad volcánica local frecuente de bajo nivel • Plumas o fumarolas de gas o vapor, emisiones ligeras de ceniza • Estas manifestaciones pueden provocar acidificación de la lluvia meteorológica y leves lluvias de ceniza volcánica en poblaciones en el entorno del volcán. También pueden representar un riesgo leve para la aviación	• Organizar reuniones más frecuentes del cca. • Consultas más frecuentes entre SINAPROC y CCA • Realizar estudios específicos sobre el volcán. • Verificar la disponibilidad de personal y de equipos de evacuación. • Verificar la disponibilidad de vehículos para evacuación • Limitar el acceso al volcán según criterio del cca • Advertir a los sistemas de navegación aérea	**Alerta** • Mantener alto nivel de atención a la información oficial. • Mantener documentos importantes en carpeta accesible y fácil de transportar • Ensayar desplazamientos a sitios seguros, sitios de reunión y albergues • Obedecer las instrucciones de las autoridades y mantenerse alerta. • Estar preparado para una posible evacuación
Color Amarillo Fase 2	• Actividad eruptiva freática o magmática de explosividad baja a intermedia (vei≤2) • En esta fase pueden esperarse explosiones leves a moderadas que lancen fragmentos en el entorno del cráter • Lluvias leves a moderadas en poblaciones en el entorno y en algunas ciudades más lejanas • Riesgo para la aviación • Posibilidad de flujos piroclásticos y de flujos de lodo que no alcancen poblaciones	• Anunciar el cambio a las autoridades de protección civil en los tres niveles de gobierno, y a los funcionarios responsables • Establecer personal de guardia en niveles preestablecidos de Protección Civil • Limitar el acceso al volcán en un radio mayor, de acuerdo al criterio del cca • Avisar a los sistemas de navegación aérea	
Color Amarillo Fase 3	• Actividad eruptiva freática o magmática de explosividad intermedia a alta (vei 2-3) • Crecimiento importante de domos y posibilidad de expulsión de magma • Explosiones importantes de intensidad creciente que lanzan fragmentos a distancias considerables • Lluvias de cenizas notorias sobre poblaciones y ciudades • Flujos piroclásticos y flujos de lodo de mayor volumen y alcance, pero sin alcanzar a zonas habitadas • Riesgo para la aviación y efectos leves sobre aeropuertos	• Anunciar la situación y las medidas tomadas al público y los medios • Preparar personal, equipos de evacuación y albergues • Implementar medidas específicas en las regiones más vulnerables. • Poner en marcha medidas preventivas contra caída de ceniza y fragmentos y contra lahares en las regiones vulnerables. • Alertar a los sistemas de navegación aérea. • limitar el acceso al volcán sobre una extensión mayor	

Tabla. 17. 3. Semáforo de Alerta Volcánica en su primera fase del color rojo

Nivel de Alerta	Escenarios Esperados	Acciones Recomendadas al SINAPROC	*Niveles Alerta para la Población* *Acciones Recomendadas Generales*
Color Rojo **Fase 1**	• Actividad eruptiva explosiva de escala intermedia a grande (vei 3-4) y producción de columnas eruptivas de alcance estratosférico • Explosiones grandes que pueden lanzar fragmentos hasta las poblaciones más cercanas • Flujos piroclásticos que pueden alcanzar poblaciones cercanas • Flujos de lodo que puedan alcanzar poblaciones cercanas y aún distancias mayores • Lluvias de cenizas importantes sobre poblaciones cercanas y a distancias intermedias, provocando colapsos de techos débiles • Lluvias de ceniza importantes en poblaciones más lejanas y ciudades • Riesgos graves para la aviación sobre grandes distancias, efectos serios sobre aeropuertos	• Evacuación selectiva de poblaciones, según criterios recomendados por el cca de acuerdo al desarrollo e intensidad de la actividad • Informar sobre la autoevacuación • Poner en marcha medidas preventivas contra caída de ceniza y fragmentos en las regiones, y a lo largo de las posibles trayectorias de flujos. • Ejecutar medidas preventivas contra lluvias de ceniza moderadas a intermedias y oscurecimiento en zonas metropolitanas circundantes. • Activar planes preventivos de protección a las comunicaciones y al abasto de agua y energía • Alertar a los sistemas de navegación aérea	**Alarma** • Atender instrucciones de las autoridades • Dirigirse a los sitios de seguridad o a los sitios de reunión para ser trasladados a los albergues o a sitios seguros • La población que pueda evacuar o desplazarse a sitios seguros por sus propios medios debe hacerlo. • Mantenerse continuamente informado sobre la evolución del fenómeno.

Tabla. 17. 4. Semáforo de Alerta Volcánica en su segunda fase de color rojo

Nivel de Alerta	Escenarios Esperados	Acciones Recomendadas al SINAPROC	*Niveles Alerta para la Población* *Acciones Recomendadas Generales*
Color Rojo **Fase 2**	• Actividad eruptiva de escala grande a extrema (vei>4) • Producción de columnas de alcance estratosférico y posibilidad de derrumbes del edificio volcánico • Flujos masivos piroclásticos o de escombros • Grandes lahares de efectos desastrosos hasta distancias mayores a 60 km • Graves daños en el entorno y vulnerabilidad alta de poblaciones en las zonas demarcadas en el mapa de peligros volcánicos • Riesgo muy grave sobre la aviación hasta grandes distancias, efectos serios sobre aeropuertos • Lluvias intensas de ceniza, arena y fragmentos sobre ciudades y poblaciones a distancias mayores	• Evacuación de sectores más amplios según criterios recomendados por el cca de acuerdo al desarrollo e intensidad de la actividad • Ejecución de medidas preventivas contra caídas de ceniza y fragmentos en las regiones vulnerables y contra lahares a lo largo de las posibles trayectorias de flujos hasta las distancias recomendadas por el cca. • Activar medidas preventivas contra oscurecimiento y lluvias de ceniza y gravilla en zonas metropolitanas circundantes • Activación de planes preventivos de protección a las comunicaciones y al abasto de agua y energía • Alerta general a los sistemas de navegación aérea	**Alarma** • Atender instrucciones de las autoridades • Dirigirse a los sitios de seguridad o a los sitios de reunión para ser trasladados a los albergues o a sitios seguros • La población que pueda evacuar o desplazarse a sitios seguros por sus propios medios debe hacerlo • Mantenerse continuamente informado sobre la evolución del fenómeno

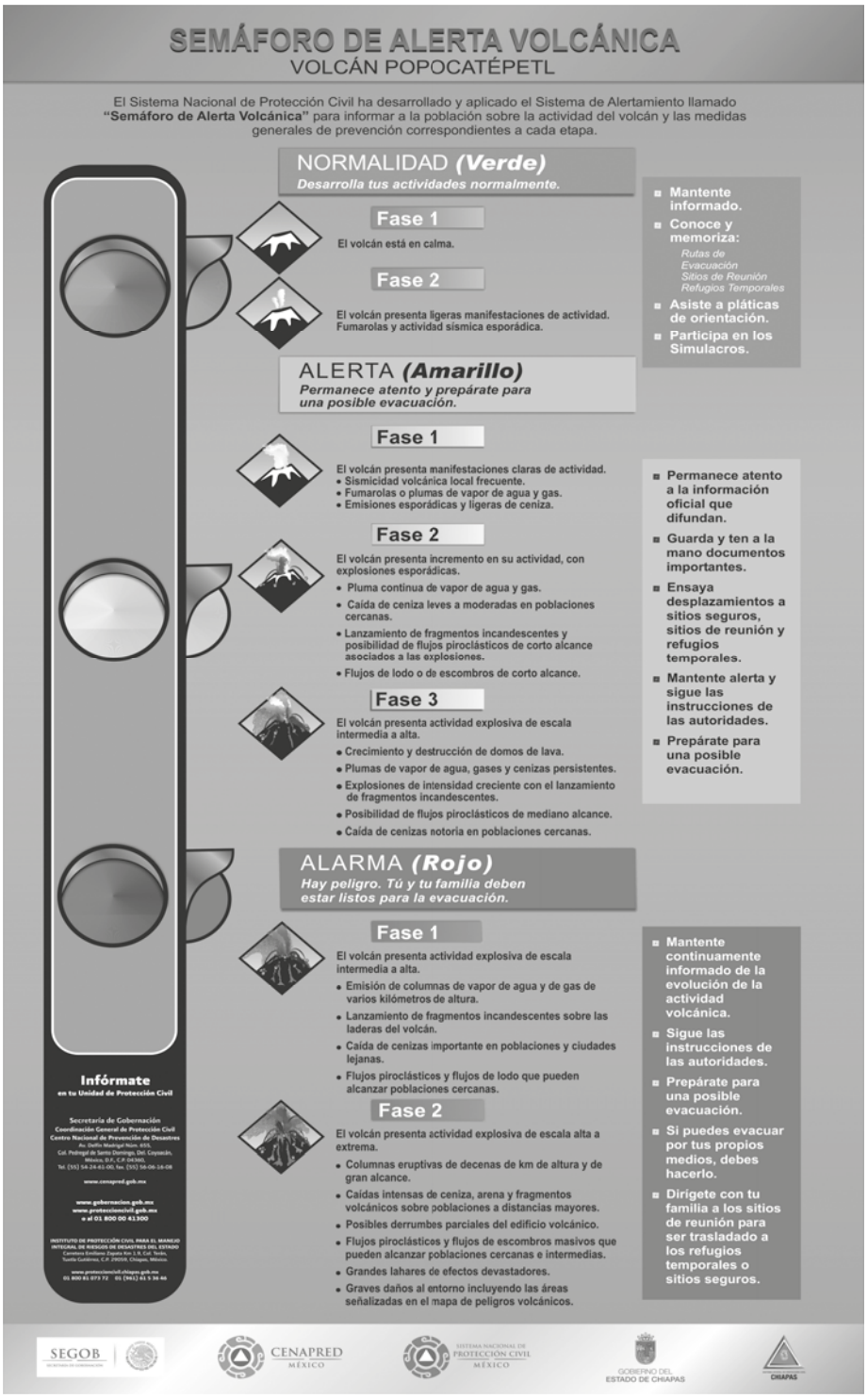


Fig. 39. Cartel de la Campaña de difusión sobre medidas preventivas para el volcán Popocátepetl *(Semáforo de Alerta Volcánica)*

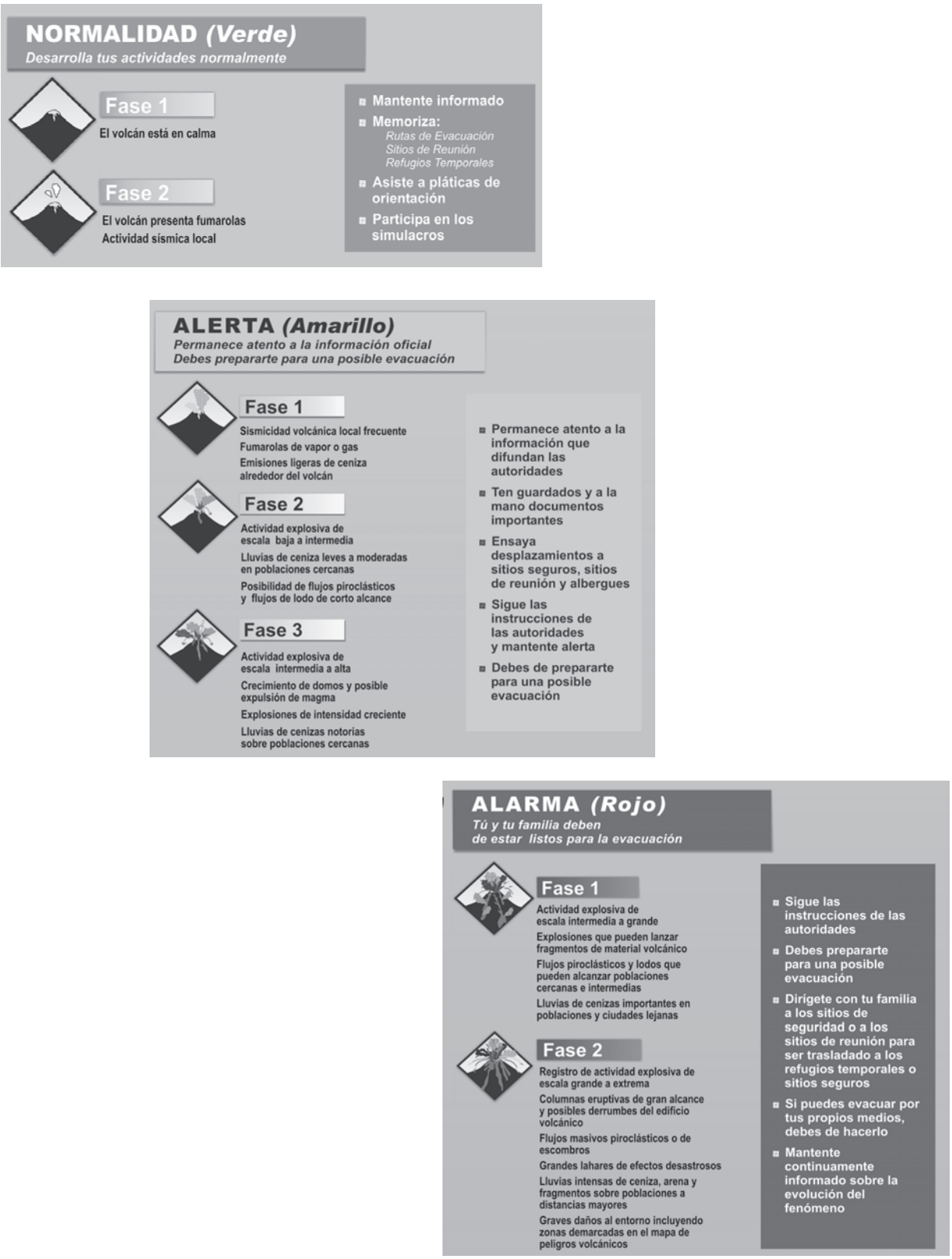


Fig. 40. Fases de los tres diferentes niveles de alertamiento para el volcán Popocátepetl *(Semáforo de Alerta Volcánica)*

Glosario

Bloques o bombas. Fragmentos de tefra que dependiendo de su morfología, tienen un tamaño mayor a los 64 mm.

Cámara magmática. Es donde se acumula el magma, antes de emerger en una erupción.

Ceniza volcánica. Fragmentos de tefra con tamaño entre 0.004 mm y 2 mm.

Columnas eruptivas. Densas columnas producidas por las erupciones explosivas, constituidas por grandes cantidades de gases calientes y fragmentos de magma (mezclas de cristales y fragmentos de vidrio) de todos tamaños que son lanzados por las erupciones explosivas y que ocasionalmente penetran la estratosfera.

Corteza. Capa sólida más externa de la Tierra relativamente delgada comparada con su diámetro, sobre la cual se encuentra la atmósfera y los océanos. La corteza incluye a los continentes sobre los que vivimos y a los fondos marinos.

Cráteres. Grandes cavidades producidas por las erupciones que los volcanes tienen en su cumbre o en sus costados, y que por lo general tienen una forma aproximadamente circular.

Derrumbes y deslizamientos. Fenómenos destructivos provocados por erupciones o terremotos que causan el derrumbamiento del material acumulado en las partes altas del volcán y producen grandes avalanchas de escombros. Este tipo de avalanchas por lo general llegan a ser muy destructivas, dependiendo de la cantidad de material involucrado, de la altura a la que se originan y de la topografía del terreno.

Domo. Estructura de lava en forma de cúpula que se forma cuando una erupción efusiva se desarrolla lentamente en un terreno plano o de poca inclinación y la lava que es emitida es muy viscosa.

Erupción efusiva. Erupción de bajo o nulo nivel explosivo en la que el magma puede liberar los gases en solución en forma equilibrada y puede salir a la superficie en forma fluida y continua sin explotar.

Erupción explosiva. Es el tipo de erupción que se produce cuando el magma que asciende a la superficie acumula más presión de la que puede liberar. Las burbujas en su interior crecen hasta tocarse y el magma explota y se fragmenta violentamente.

Erupción freática. Erupción generada por la expansión del vapor de agua, cuando un cuerpo de agua subterráneo o acuífero, es sobrecalentado por efectos magmáticos.

Erupción freatomagmática. Erupciones producidas por la interacción directa del magma y agua subterránea. Este tipo de erupciones puede emitir productos magmáticos mezclados con grandes cantidades de vapor de agua.

Erupción magmática. Cuando la erupción resulta de la emisión directa del magma y de gases magmáticos.

Erupción volcánica. Emisión suave o violenta de magma hacia la superficie.

Escala de Tsuya. Escala de magnitudes basada en el volumen de los distintos tipos de materiales emitidos. Fue definida por Tsuya en 1955.

Flujos de lava. Flujos de roca fundida emitida por una erupción efusiva desde un cráter superior, algún cráter secundario o desde una fisura en el suelo.

La lava puede avanzar como lenguas o coladas con velocidades que dependen de la topografía del terreno, y de su composición y temperatura, pero que por lo general son bajas.

lenguas o coladas con velocidades que dependen de la topografía del terreno, y de su composición y temperatura, pero que por lo general son bajas.

Flujos de lodo (o lahares). La mezcla de bloques, ceniza y cualquier otro escombro volcánico con agua puede producir unas avenidas muy potentes de lodo y rocas, que tienen un poder destructivo similar o incluso mayor a los flujos piroclásticos, y por lo general mayor alcance, pues pueden recorrer decenas de kilómetros.

Flujos piroclásticos. Avalanchas formadas por mezclas de fragmentos de lava, ceniza volcánica (magma finamente fragmentado), y gases muy calientes, que se deslizan cuesta abajo por los flancos del volcán a grandes velocidades y pueden llegar a ser muy destructivas y peligrosas. Estas avalanchas de material magmático, gases calientes y fragmentos de roca reciben varios nombres: flujos piroclásticos, nubes ardientes o flujos de ceniza caliente.

Intensidad. Es la razón a la que el magma es expulsado (masa / tiempo).

Intrusiva. Es el tipo de roca volcánica que, en algunos casos permanece inmóvil por largos tiempos en el subsuelo, hasta que se enfría formando grandes estructuras de roca volcánica solidificada que por lo general sólo aflora a la superficie cuando la porción de corteza que la cubre se erosiona.

Lapilli. Fragmentos de tefra con tamaño entre 2 mm y 64 mm.

Lava. Es la roca fundida emitida por un volcán que sale a la superficie con un contenido menor de gases.

Magma. Es el resultado de la fusión de la roca en o bajo la corteza terrestre.

Manto terrestre. Parte estructural de la Tierra entre la corteza y el núcleo consistente de una gruesa capa de material rocoso con características plásticas.

Manuales de Procedimientos. Son documentos elaborados por los sistemas regionales y locales de protección civil, en los que se describen con detalle las acciones que cada funcionario responsable debe llevar a cabo para cada uno de los niveles de alertamiento definidos por el semáforo de alerta volcánica. Estos documentos garantizan la continuidad de los criterios y mecanismos de respuesta ante el natural cambio de funcionarios a lo largo del tiempo. Los manuales de procedimientos son parte fundamental de los planes operativos.

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.

Núcleo. Situado en la parte central de la Tierra, conforma la estructura más densa del planeta, donde se genera el campo magnético terrestre. El núcleo terrestre está a su vez conformado por dos capas de naturaleza probablemente metálica, una externa y fluida, y otra interna y sólida.

Peligro o Amenaza Volcánica. Se define como la probabilidad de que alguna manifestación volcánica específica pueda presentarse en un área o región particular del entorno del volcán, en un intervalo de tiempo dado.

Piroclastos. Materiales rocosos fragmentados emitidos por una erupción, lanzados en forma sólida o líquida.

Planes operativos. 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. 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.

Pliniana. Se dice que una erupción es ploniana cuando la columna eruptiva penetra en la estratosfera, es decir, alcanza alturas mayores a unos 11 a 13 km. El nombre deriva de Plinio, testigo de la erupción del Vesubio en el año 79 de nuestra era.

Plutónicas. Grandes masas de rocas ígneas intrusivas, que se han enfriado a gran profundidad, sin estar asociadas a ningún tipo de actividad volcánica efusiva.

Poder dispersivo. Es una medida del área sobre la que se distribuyen los productos volcánicos de una erupción y está relacionada con la altura de la columna eruptiva.

Potencial destructivo. Es una medida de la extensión de la destrucción de edificaciones, tierras cultivables y vegetación, producida por una erupción.

Preparación. A través de la preparación se puede reducir la vulnerabilidad de un fenómeno en forma considerable La preparación se deriva de la comprensión de los efectos de las diferentes manifestaciones volcánicas y de la adecuada percepción del riesgo, y consiste en una respuesta organizada de la sociedad encaminada a realizar una serie de medidas coordinadas y precisas que reduzcan la exposición y fragilidad de los bienes amenazados por esas manifestaciones. Se entiende como una capacidad de respuesta ante la posibilidad de actividad volcánica, o de cualquier otra amenaza.

Riesgo. Es un concepto complejo que, en términos generales, es asociado a los fenómenos naturales y en particular al fenómeno volcánico, como la combinación de dos componentes: peligro y vulnerabilidad.

Rocas ígneas. Son las rocas que se han formado a partir del enfriamiento de un magma .

Roca ígnea extrusiva. Así se les denomina a las rocas que se han formado a partir del enfriamiento de lava en la superficie.

Rocas ígneas intrusivas. Así se les llama a las rocas fundidas que no llegan a emerger a la superficie, puesto que el enfriamiento tuvo lugar en el interior de la tierra.

Rocas piroclásticas. Formadas por los piroclastos cementados por varios procesos, tales como solidificación por enfriamiento si venían fundidos, o por efecto del agua, etc.

Roca volcánica. Así se les llama a todas las rocas que han sido producidas por algún tipo de actividad volcánica, sean intrusivas o extrusivas.

Semáforo de Alerta Volcánica. Instrumento de comunicación y alertamiento desarrollado en México para el Popocatépetl.

Stromboliano. Tipo de erupción en la que por lo general domina la actividad efusiva, pero que puede ir acompañada de fases moderadamente explosivas. Se llama así por su similitud con las erupciones del volcán Stromboli en Italia.

Tefra. Forma genérica de referirse a los productos piroclásticos, cualesquiera que sea su forma.

Violencia. Es una medida de la energía cinética liberada durante las explosiones, relacionada con el alcance de los fragmentos lanzados.

Volcán. Se define como aquel sitio donde sale material magmático o sus derivados, formando una acumulación que por lo general toma una forma aproximadamente cónica alrededor del punto de salida. La palabra volcán también se aplica a la estructura en forma de loma o montaña que se construye alrededor de la abertura mencionada por acumulación de los materiales emitidos.

Volcán Activo. Un volcán es activo cuando existe magma fundido en su interior, o cuando puede recibir nuevas aportaciones de magma y por tanto mantiene el potencial de producir erupciones.

Volcanes monogenéticos. Volcanes que nacen, desarrollan una erupción que puede durar algunos años y se extinguen sin volver a tener actividad. En lugar de ocurrir otra erupción en ese volcán, puede nacer otro volcán similar en la misma región.

Volcanes poligenéticos o centrales. Volcanes que se forman por la acumulación de materiales emitidos por varias erupciones a lo largo del tiempo geológico.

Vulnerabilidad. Se define como el grado o porcentaje de pérdida o daño que puede sufrir un elemento de la estructura social (población, infraestructura, productividad) por efecto de alguna de las manifestaciones volcánicas.

Bibliografía

ARREOLA, J.J., Catálogo de la erupciones antiguas del Volcán de Colima. Memorias y Revista de la Sociedad Científica "Antonio Alzate", México, 32 (111-12). pp. 443-481. (1915).

ATL: MURILLO G., Cómo nace y crece un volcán: El Paricutín. Edo. Stylo, México. pp. 280 (1950).

BARBERI, F., BLONG, R., DE LA CRUZ-REYNA, S., may, M., KAMO. K., MONTHES, P., NEWHALL, C., PETERSON, D., PUNONGBAYAN, R., SIGVALDASSON, G., ZANA, D. "Redducing Volcanic Disasters in the 1990s. Bull. Volcanol.". Soc. Japan, ser. 2. 35. pp. 80-95 (1990).

BÁRCENA, M. Informe sobre el estado actual del Volcán de Colima, México. Imp. Sec. De Fomento. México (1887).

DE LA CRUZ-REYNA, S., MENA., SEGOVIA, N., CHALOT, J.F., SEIDEL, J.L., MONNIN, M. "Radon Emanometry in Soil Gases and Activity in Ashes from El Chichón Volcano". PAGEOPH, 123: pp. 407-421. (1985).

DE LA CRUZ-REYNA, S., Long term probabilistic análisis of future explosive erupcions. In R. Scarpa and R. Tiling . Eds: Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. pp. 599-629. (1996).

DE LA CRUZ-REYNA S., MELI R., QUAAS R. "Volcanic Crisis Management". En: ENCYCLOPEDIA OF VOLCANOES. Eds: H. Sigurdsson, B. Houghton, S. McNutt, H. Rymer, J. Stix. Academic Press. pp .1199-1214. (1999).

FLORES, J. Las erupciones del Volcán de Colima. Cuadernos de difusión científica, serie Instituto de Geografía y Estadística de la Universidad de Guadalajara. pp. 1-52 (1987).

FLORES, T. Investigaciones geológicas relativas al volcán Pricutín. En: Inst. de Geologías (ed) El Paricutín, Estado de Michoacán. UNAM México. pp. 3-16.(1944).

FOURNIER D´ ALBE, E. M. Objectives of Volcanic Monitoring and Prediction. Jl. Geol. Soc. Lond. pp. 136; 321-326. (1979).

HASENAKA, T., CARMICHAEL, I.S.E. (1985). The Cinder Cones of Michoacán-Guanajuato, Central México: Their age, volume and distribution, and magma discharge rate. J. Volcanol. Geotherm. Res., 25: pp. 105- 124.

HÉDERVARI, P. On the energy and magnitude of volcanic eruptions. Bull. Volcanol., 25: pp. 373-385. (1963).

KRAUSKOPF, K. B. Lava movement at Pricutín volcano, México. Bull. Geol. Soc. Am., 59: pp. 1267-1284. (1948).

MACDONALD, G.A.Volcanoes. Pretice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. pp. 510 (1972)

MC CLELLAND, L., SIMKIN, T. SUMMERS, M., NIELSEN, E., STEIN, T. Global Volcanism 1975-1985. (SEAN). Pretice Hall-AGU. New Yersey. pp. 655. (1989).

MEDINA, F. Analysis of the eruptive history of the Volcán de Colima, México. (1560-1980)). Geofis. Int., 22: pp .157-178. (1983).

MEDINA, F. On the volcanic activity and large earthquakes in Colima area, México. Geofis. Int., 24: pp 701-708. (1985)..

MOOSER, F. Active volcanoes of Mexico. (in: catalogue of the active volcanoes of the world) IAVCEI. La Haya. pp. 2-36. (1957).

MOOSER, F. Active volcanoes of México. In: Catalog of active volcanoes of the world, IAVCEI, Roma, 6: pp. 2-36. (1958).

MOOSER, F. Los Volcanes de Colima. Boletín del Instituto de Geología, UNAM, México, 61: pp. 49-71. (1961).

MOTA-PADILLA, M. Historia de la Conquista de la provincia de la Nueva Galicia. Guadalajara, México. (1742).

NAVARRO C., CORTÉS A. Mapa de peligros del volcán de Fuego de Colima. U. de Colima. (2003).

NEWHALL, C.G., SELF, S. The volcanic explosive magnitude for historial volcanism. J. Geophys. Res., 87C2: pp 1231-1238 (1982).

ORDÓÑEZ, E. M. Les Volcans Colima et Ceboruco. Memorias de la Sociedd Científica "Antonio Alzate". México, 11: pp. 325-333 (1869).

OROZCO, M. N. Observaciones hechas en el mes de agosto de 1869 de Colima. Imprenta del Gobierno del Estado de Colima. L. Orozco Editor. (1869).

OROZCO Y BERRA, J. Seismología. Efemérides Sísmicas Mexicanas. Memorias de la sociedad científica "Antonio Alzate", México,1: pp. 305-541.

OROZCO Y BERRA J. Adiciones y rectificaciones a las efemérides sísmicas mexicanas. Memorias de la sociedad científica "Antonio Alzate", México, 2: pp. 261-288. (1888-1889).

ORTIZ-SANTOS, G. La zona volcánica "Colima" del estado de Jalisco. Monografía del Instituto de Geografía de la Universidad de Guadalajara, pp. 1-44. (1944).

PIZA, J. Origen del nombre de los volcanes de Colima. Universidad de Colima., Colima, México. (1988).

PUGA, G: B: La última erupción del volcán de Colima. Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate, México, 3: pp. 97-102. (1865)

SARTORIUS, C. Eruption of the volcano of Colima in june 1869. Smithsonian Report:243. (1869).

SIEBE, C., ABRAMS, M., MACÍAS, J.L. AND OBENHOLZNER, J. La destrucción de Cacaxtla y Cholula: Un seceso en la historia eruptiva del Popocatépetl. Ciencias. Núm. 41; enero-marzo de 1996. México, pp 36-45. (1996).

SIEBE, C., ABRAMS, M., MACÍAS, J.L. AND OBENHOLZNER, J., 1996. Repeated volcanic disasters in prehispanic time a al Popocatepetl Central Mexico: Past key to the future. Geology. May, 1996; Vol. 24, Num. 5, pp. 399-402. (1996).

SIMKIN, T., SIEBET, L., MC CLELLAND, L., BRIGBE, D., NEWHALL, C., LATTER, J.H. Volcanoes of the World, Supplement. Smithsonian Institution Washington. pp. 1-233. (1981).

SIMKIN, T., SIEBERT, L., MC CLELLAND, L. Volcanoes of the World, 1984 Supplement. Smithsonin Institution Washington. pp. 1-32. (1984).

SIMKIN T., SIEBERT L. Earth's Volcanoes and Eruptions: An Overview. En: ENCYCLOPEDIA OF VOLCANOES. Eds: H. Sigurdsson, B. Houghton, S. McNutt, H. Rymer, J. Stix. Academic Press. pp. 249-261. (1999).

SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL (SINAPROC). "Atlas Nacional de Riesgos."pp. 165 (1987).

TELLO, A. (FRAY). Crónica miscelánea y conquista espiritual y temporal de la santa providencia de Xalisco en el Nuevo Reino de la Galicia y Nueva Vizcaína y Descubrimiento del Nuevo México. Ed. J. López Portillo y Rojas, Guadalajara, Jal., México. (1650).

TRASK, P. D.El Volcán mexicano Paricutín. En: Inst. de Geología (ed) El Paricutín, estado de Michoacán. UNAM, México. pp. 103-109. (1944).

UNESCO, Report of consultive meeting of experts on the statistical study of natural hazards and their consequences. Document SC/WS/500. pp. 11. (1972).

VERHOOGEN, J. Mechanics of ash formation. American Journal of Science, Vol. 249. pp. 729-739. (1951).

VILLAFANA, A. El volcán Jorullo. Perergones del Instituto Geológico de México, 2(4-6): pp. 72-129. (1907).

VOGEL, A. Informe al Observatorio Magnético Central de México de las erupciones del volcán de Colima de 1903. Colima, México. (1903).

WAITZ, P. Datos históricos y bibliográficos acerca del volcán de Colima. Memorias y revistas de la Sociedad Científica Antonio Alzate, México, 53 (9-19): pp. 349-384. (1935).

WILCOX, R. E. Petrology of Paricutín Volcano, México. Geol. Survey Bull., 965-C: pp. 281-349. (1954).

WILLIAMS, H., MC BIRNEY, A. R. Volcanology. Freeman, Cooper & Co., San Francisco. pp. 397.

YARZA, E., (1971). Volcanes de México. Aguilar, México D.F. pp. 237. (1971).

YOKOYAMA, I. Energetics in active volcanoes. 2nd paper. Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo Univ., 36: pp. 75-97. (1957).

YOKOYAMA, I., DE LA CRUZ-REYNA, S. Precursory earthquakes of the 1943 eruption of Paricutin volcano, Michoacan, Mexico. J. Volcanol. Geotherm. Res. 44: pp: 265-281 (1990).

ZAVALA, D. Agonía y éxtasis de un pueblo (ed. Del autor) Michoacán, méxico. pp. 148. (1982).

SERIE Fascículos

No.	Título
1	La Prevención de Desastres y la Protección Civil en México
2	Sismos
3	Inundaciones
4	Volcanes
5	Huracanes
6	Riesgos Químicos
7	Incendios
8	Erosión
9	Residuos Peligrosos
10	Incendios Forestales
11	Inestabilidad de Laderas
12	Tsunamis
13	Heladas
14	Sequías
15	Tormentas Severas

Material impreso dentro del proyecto
"Conocer para Prevenir"

GOBIERNO DEL
ESTADO DE CHIAPAS

SISTEMA ESTATAL DE PROTECCIÓN CIVIL
CHIAPAS
SISTEMA ESTATAL DE PROTECCIÓN CIVIL

Volcanes. Peligro y Riesgo Volcánico en México

Se terminó de imprimir en junio de 2014, en los Talleres de Grupo Estratega Publicidad.
La edición en papel couché brillante de 135 grs. en interiores y portada en 200 grs.
Consta de 4,000 ejemplares más sobrantes para reposición.

SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL MÉXICO

CENAPRED MÉXICO

Secretaría de Gobernación
Coordinación General de Protección Civil
Centro Nacional de Prevención de Desastres
Dirección General de Protección Civil
Dirección General del Fondo de Desastres Naturales
www.gobiernofederal.gob.mx
www.gobernacion.gob.mx
www.cenapred.unam.mx