

PNUD/UNDRRO

TALLER REGIONAL DE CAPACITACION PARA DESASTRES

MANEJO DE EMERGENCIAS VOLCANICAS

Eduardo Parra P.¹

PRINCIPIOS GENERALES

La evaluación de la amenaza volcánica se basa en el principio de que "Los fenómenos naturales se repiten en los mismo sitios con una periodicidad que es posible conocer", principio que aunque no es absolutamente cierto, si contiene un alto grado de confiabilidad, en especial para el manejo de situaciones de emergencia.

El proceso de evaluación debe ir muy unido al de la elaboración de mapas de amenaza (peligro) volcánicos. Cada volcán tiene características diferentes, puesto que suponiendo que el magma original sea similar, en el trayecto de ascenso a la superficie atraviesa un substrato rocoso que es casi imposible de que sea igual para dos volcanes, la mezcla con las rocas adyacentes y su tiempo de salida a la superficie hablan de por si de la diferencia entre cada uno de ellos.

Debido a que las erupciones volcánicas casi siempre están precedidas de fenómenos precursores, pero no necesariamente estos fenómenos se traducen en una erupción de magnitud; su manejo es mas complicado debido a que a todos los niveles de la población se presenta la dualidad - si ó no - va a ocurrir. El antagonismo entre las dos situaciones da origen a opiniones que en la mayoría de los casos obedecen a intereses económicos, políticos, gremiales o simplemente personales y ellos originan a veces desconocimiento o rechazo de la información científica, con mayor razón si ésta no está preparada para la emergencia y debidamente soportada por instrumentación.

MAPAS DE AMENAZA

Cada erupción de magnitud deja su registro geológico sobre el terreno a manera de una capa de espesor variable que debe ser reconocida e interpretada por el geólogo a qué tipo de fenómeno volcánico pertenece. El trabajo no se restringe solo a la identificación de una sola de éstas capas en particular, sino también a la búsqueda de los sitios donde se han podido conservar mejor y reflejan realmente las características de la erupción. Esta tarea implica el estudio no solo de los alrededores

¹Ministerio de Minas y Energía, Instituto Nacional de Investigaciones Geológicas -- Mineras, Oficina Regional Noroccidente, Medellín, Colombia.

inmediatos del volcán, sino también los sitios lejanos decenas de kilómetros y a veces más de acuerdo a la geografía circundante y las características del volcán. Toda la información colectada debe servir para preparar mapas a escala adecuada para información de los diferentes niveles de acción, las mas recomendables son:

- ▶ 1:50,000 para autoridades que tienen relación con la evaluación del riesgo, a nivel local, regional y nacional.
- ▶ 1:100,000 para autoridades e instituciones indirectamente involucradas, colegios, universidades, etc.
- ▶ 1:200,000 para el público en general.

La diferencia de escala se debe a la mayor cantidad de detalles tanto topográficos, fisiográficos y de asentamientos humanos, que requieren mayor conocimiento para su correcta lectura.

Hay que tener en cuenta que el problema de escala puede llegar a extremos en los cuales la información se hace casi imposible que circule debido a los altos costos de impresión o a las exigencias de las medidas gubernamentales que se estén tomando durante la emergencia, especialmente en el caso de que haya exenciones, bonificaciones, multas y en general todo lo que tenga que ver con factores económicos.

Es importante considerar el costo de edición de las diferentes escalas y su tiempo de impresión para que no se preste a malos entendidos y tratar de persuadir a los interesados particulares en que las diferencias entre uno y otro no son tan grandes cuando se trata de interés general. Se puede recurrir a la prensa escrita regional o nacional, siempre y cuando no hay exclusividades y se someta la publicación a una revisión previa.

Se debe prever también una presentación televisada del respectivo mapa de amenazas, si es posible dividirla de acuerdo a los asentamientos humanos afectables para su grabación y distribución en videocasetes; en cuanto sea posible, la presentación debe ser hecha por alguno de los científicos.

EVALUACION DE LA AMENAZA

Cuando se recoge la información geológica necesaria para elaborar los mapas de amenaza, se encuentra también que hay algunas similitudes entre las diferentes erupciones y por eso se puede hablar de una erupción "tipo", la cual representa varios episodios distintos dentro de la historia reciente del volcán. Estos episodios sirven para establecer no solo varios escenarios de erupción, sino también para orientar a las autoridades en la toma de decisiones mediante el cálculo de probabilidades relativas de ocurrencia de cada erupción tipo, por ejemplo para el volcán Galeras, en mayo de 1989 se encontró la siguiente relación:

MAGNITUD	CARACTERISTICAS	PERIODO DE RECURRENCIA
4 a 5	Flujos piroclásticos grandes	33,000 años
3 a 4	Flujos piroclásticos 15 km	6,000 años
2 a 3	Flujos piroclásticos 10 km	600 años
1 a 2	Flujos piroclásticos 5 km	200 años
0 a 1	Emisión de cenizas	20 años

Es decir, en un período de 33,000 años se podrían presentar 1,876 erupciones cuyas probabilidades relativas de ocurrencia serían:

MAGNITUD	PROBABILIDAD RELATIVA
0 a 1	$1,650/1,876 = 87.9\%$
1 a 2	$165/1,876 = 8.8\%$
2 a 3	$55/1,876 = 2.9\%$
3 a 4	$5.5/1,876 = 0.29\%$
4 a 5	$1/1,876 = 0.05\%$

Los anteriores porcentajes a pesar de ser relativos, permiten a las personas que toman las decisiones, tener un punto de referencia mas objetivo para resolver los problemas que tienen que ver con una evacuación masiva y manejar la emergencia de una manera mas objetiva.

ORGANIZACION PARA LA ATENCION DE UNA EMERGENCIA

En el cuadro 2 del Manual de Manejo de Emergencias Volcánicas (UNDRO) aparece un diagrama para la planificación de los casos de emergencia, el cual se considera suficiente para el objetivo del presente taller. Sin embargo es necesario advertir, que en la mayoría de los países, no existe alguna entidad directamente responsable ni de la elaboración de mapas de amenaza ni del el monitoreo volcánico, este inconveniente puede llevar a la dilución no sólo de las responsabilidades sino también de la correcta asesoría a las autoridades. Por lo anterior, es casi imprescindible, que esta tarea sea encomendada a una entidad en particular con funciones muy definidas, de tal manera que se puedan reconocer cabezas visibles

Otro inconveniente que puede existir en los países latinoamericanos, es una estructura legal que permita tomar decisiones sin que se requiera una cadena muy extensa de personas que tengan que resolver el momento de poder ordenar una evacuación masiva o así sea parcial.

Una vez realizados los mapas de amenaza, se requiere identificar el número de personas afectables para cada uno de los fenómenos tipo y la totalidad de las acciones que requieren no solo su evacuación sino también su traslado y alojamiento en zonas mas seguras, labor en la cual se ven involucradas la mayoría de las autoridades de cualquier tipo de gobierno. Un último punto necesario a tener en cuenta es el procedimiento que se debe seguir para cada una de las situaciones posibles que se puedan presentar en el equipo científico que tenga a su cargo el monitoreo, es decir, de acuerdo a los signos que se están presentando cuál es el procedimiento, el medio de comunicación y las personas que deben recibir las primeras alertas; debe estar definido especialmente el procedimiento en horas nocturnas o días festivos, ya que éstos cubren aproximadamente el 70% de las horas posibles de una emergencia.

PERCEPCION DEL RIESGO VOLCANICO

La palabra percepción indica en parte el grado de conocimiento y entendimiento de un fenómeno, en este caso se trate de cuánta conciencia tengan las personas del fenómeno natural al cual posiblemente se vean enfrentados, esto incluye no sólo las personas naturales sino los distintos estamentos del gobierno y aún de las actividades privadas, industriales o comerciales. La percepción entonces puede ir desde ignorar del todo el fenómeno para el cual se está tratando de prevenir la población hasta el extremo contrario que sería el terror a que el fenómeno se presente en la mayor de sus magnitudes. En esta gama de valores se puede encontrar la disposición de cualquiera de las personas que en un momento dado toman las decisiones, para lo cual se requiere un cierto grado de conocimiento básico del mismo. En este punto hay que insistir en la capacitación y difusión no sólo de los mapas de amenazas sino también de los distintos fenómenos volcánicos y las alternativas de prevención que puede haber para cada uno de ellos, lo mismo el conocimiento del significado preciso de cada uno de los colores de las alertas (amarillo, naranja y rojo), especialmente dentro del grupo científico y gubernamental.

COMUNICACIONES EN ESTADO DE EMERGENCIA

Comunicación Interna

Aparte de la consideración de que debe haber un sistema de información entre el centro de monitoreo y los organismos de decisión lo suficientemente confiable como para que opere las 24 horas y esté libre hasta el máximo de interferencias y personas ajenas que puedan escucharlo, es preciso tener un medio de información masivo y no exclusivo de algún medio de comunicación (emisora particular), que pueda avisar oportunamente las acciones a tomar al público en general.

Comunicación Externa

Tan importante como lo anterior es el manejo de los medios de comunicación que en últimas son a los que tiene acceso el público, y es en este proceso donde se genera la mayor cantidad de problemas de información o comunicación sobre el estado real y lo que llega a la persona común y corriente. Para nadie es desconocido que los medios de comunicación representan un poder de información lo suficientemente grande como para orientar la opinión del público, y por lo tanto uno de los primeros esfuerzos que se deben llevar a cabo es el de capacitar los periodistas que tengan más inmediato acceso al estado de actividad del volcán, de ellos depende en su mayor parte la buena información que llegue a la comunidad. Todo esfuerzo que se haga en este sentido mejora sustancialmente la comunicación, a la vez que aporta al grupo científico interrogantes que normalmente no están dentro de su quehacer, permitiéndole un manejo de vocabulario más fácil de entender por la población en general.

En lo posible, las relaciones científico-medios de comunicación se deben hacer por medio de ruedas de prensa que no representen exclusividades para alguno de ellos, a no ser que se trate de algún programa que tenga amplia difusión y participación de la población.

La mejor alternativa cuando se trata de situaciones de emergencia consiste en que la comunicación se canalice a través de las personas que toman las decisiones y no de los científicos, pues ellos son los responsables en último término de la seguridad de la población. Una regla de oro es emitir comunicados con la mayor periodicidad posible aún si las condiciones desde el punto de vista de monitoreo permanecen estables.

Dentro del proceso de educación para la prevención, paralelo a la emergencia, es posible editar una serie de manuales o cartillas que pueden ir dirigidos a los distintos usuarios de la comunidad, pero en la práctica parecen ser más efectivos los afiches (poster) públicos, pues a TODOS los niveles, la información casi siempre permanece a nivel particular, aún en los de mayor responsabilidad pública.

Otro factor importante es familiarizar al personal científico en el manejo de los diferentes medios de comunicación (televisión, radio, conferencias).

PNUD/UNDRRO

TALLER REGIONAL DE CAPACITACION PARA DESASTRES

COMO HACER FRENTE A LAS ERUPCIONES VOLCANICAS Y MITIGAR SUS EFECTOS

Minard L. Hall¹

INTRODUCCION

Desde hace mucho tiempo, los volcanes y las erupciones volcánicas forman parte de la historia del hombre en la Tierra. Aunque las erupciones volcánicas y sus efectos devastadores siempre han amenazado a la humanidad, sólo en el último siglo han producido grandes pérdidas de vidas y bienes materiales. Se estima que más de 250.000 personas han muerto desde el año 1700 debido a erupciones volcánicas, la mayoría durante los últimos 110 años. El crecimiento demográfico, el aumento de la densidad demográfica y los asentamientos humanos en laderas volcánicas y lechos de ríos que antes permanecían deshabitados son los principales factores que conducen a tragedias volcánicas.

Según Peterson (1986), alrededor del 10% de la población mundial vive en volcanes que podrian ser peligrosos o cerca de ellos. La mayoría de estos volcanes se encuentran en el cinturón de fuego del Pacífico, es decir, la tierra sísmica y volcánicamente activa que bordea el Océano Pacífico desde Chile y Ecuador en América del Sur, pasando por América Central y, a lo largo del perímetro del Pacífico, por Alaska hasta Japón, las Filipinas, Papua Nueva Guinea e Indonesia. Otras regiones donde la actividad volcánica amenaza a la población son el este y el nordeste de Africa, Camerún, Italia, Grecia, Nueva Zelanda y varias islas volcánicas de los océanos.

Evidentemente, en los países del Tercer Mundo hay un número desproporcionadamente alto de volcanes activos, muchos de los cuales son estratovolcanes con antecedentes de erupciones. En consecuencia, estos países, que tienen una alta densidad de población y sistemas económicos en desarrollo, corren un riesgo creciente de sufrir muchas crisis volcánicas y desastres. Lamentablemente, por lo general carecen de los recursos técnicos o financieros para mitigar los desastres volcánicos. Los países industrializados donde hay volcanes activos, como Japón, Italia y Estados Unidos, son muy conscientes de los peligros y están a la cabeza de los estudios sobre los fenómenos volcánicos y del desarrollo de técnicas para mitigar sus efectos.

¹Director, Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

Los conocimientos de los fenómenos volcánicos y de la manera de mitigar los desastres volcánicos han mejorado considerablemente durante los últimos 20 años. Ello se debe principalmente a una mayor comprensión científica de los procesos eruptivos, la disponibilidad de mejores instrumentos, el enfoque multidisciplinario de los problemas científicos, etc. El factor más importante posiblemente haya sido el número de erupciones importantes que se produjeron durante los últimos diez años, que han despertado el interés tanto del público como de los científicos en comprender la índole de la actividad volcánica. Por ejemplo, se han adquirido grandes conocimientos sobre los procesos que tienen lugar en el magma y en el cono del volcán, que en gran medida determinan las características de la erupción, así como los procesos que influyen en los fenómenos destructivos que a menudo acompañan a las erupciones. Volcanic Hazards (Tilling, 1989A) presenta un análisis completo de este tema.

Entre los acontecimientos volcánicos más importantes que produjeron dislocaciones económicas y pérdidas humanas y materiales durante los últimos años se encuentran los siguientes:

Ríos de lava	- Etna, Italia, década de 1980
	- Kilauea, Hawai, 1984-1990
Aludes y oleadas de material piroclástico	- Chichón, México, 1982
	- Soufrière, Guadalupe, 1976 (no hubo erupción)
Nubes de ceniza descendentes	- Santa Elena, Washington, 1980
	- Galunggung, Indonesia, 1982
Lahares y aludes de detritos	- Nevado del Ruiz, Colombia, 1985
	- Redoubt, Alaska, 1990
Gases volcánicos	- Lago Nyos, Camerún, 1986
	- Lonquimay, Chile, 1988-89
Fallas de la ladera	- Santa Elena, Washington, 1980

Algunas fuentes pertinentes de información sobre erupciones recientes son Simkin et al. (1981) y el Bulletin of the Global Volcanism Network, publicación mensual de la Institución Smithsonian, de Washington, D.C.

De la experiencia adquirida con las crisis y los desastres volcánicos durante el último decenio (CERESIS, 1989; Williams, 1990) se infiere claramente que todo programa de mitigación de los efectos de los desastres volcánicos debería tener los siguientes componentes:

- ▶ evaluación de los peligros que presentan los volcanes de alto riesgo;

- ▶ un sistema apropiado de monitoreo de los volcanes, y
- ▶ transferencia de información científica a las autoridades locales y de la defensa civil a fin de utilizarla en situaciones de emergencia y en la planificación del uso de la tierra.

En Ecuador se está llevando a cabo un programa fructífero de este tipo, basado en una labor caracterizada por la amplia colaboración entre el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y la Oficina Nacional de Defensa Civil (Hall et al., 1989). A continuación se examinan en detalle los tres subprogramas.

EL PAPEL DE LA EVALUACION DE LOS PELIGROS

La primera medida para mitigar eficazmente los efectos de las erupciones volcánicas consiste en determinar cuáles son los volcanes de alto riesgo en un país. Para eso se necesita un vulcanólogo con experiencia y una inspección del volcán. Se considera que un volcán es de alto riesgo si ha hecho erupción durante las últimas decenas de miles de años y si afectaría directa o indirectamente a numerosas personas, obras de ingeniería y regiones que revistan importancia para la agricultura en caso de que hiciese erupción en la misma forma en que lo ha hecho en el pasado. Una vez identificados los volcanes con esas características, se deberían realizar estudios de los peligros que presentan a fin de determinar las zonas con mayores probabilidades de ser afectadas por erupciones futuras, así como la forma en que se verían afectadas (Tilling, 1989B; UNESCO, 1984). Cabe destacar que dichos estudios de los peligros conducen a una mayor comprensión de los efectos previstos de las erupciones, pero no pretenden predecir cuándo se producirán dichas erupciones.

Peligros volcánicos

Los peligros volcánicos se pronostican sobre la base de la hipótesis de que las erupciones futuras tendrán las mismas características que las anteriores. Por consiguiente, es imprescindible reconocer los tipos de fenómenos volcánicos que caracterizaron las erupciones del pasado por medio de un análisis de los depósitos que han dejado. Existen numerosos fenómenos vinculados a las erupciones volcánicas, y la mayoría presenta ciertos aspectos peligrosos. A continuación se describen sucintamente los fenómenos más conocidos.

Los ríos de lava son ríos de roca derretida que comúnmente salen de los cráteres situados en la cumbre del volcán o de fisuras en los flancos. Aunque estos ríos queman y destruyen cuanto encuentran a su paso, como descienden lentamente por las laderas por lo general hay tiempo para evacuar en forma ordenada la zona en peligro.

Los aludes y oleadas de material piroclástico son nubes incandescentes densamente cargadas de cenizas, fragmentos de roca y gases que descienden por las laderas a gran velocidad, siguiendo generalmente el curso del drenaje. El peligro radica en su temperatura sumamente elevada, su velocidad y la extensa superficie que pueden cubrir. La mayoría de los seres vivos sucumben

instantáneamente a su paso, quemados, arrollados o sepultados por estos aludes, y los vientos que los acompañan pueden destruir o arrastrar edificios y otras estructuras.

Los aludes de detritos y lodo, generalmente llamados lahares, son mezclas de material volcánico (roca cenizas, piedra pómez, etc.) y agua en proporciones variables que, una vez combinados, descienden rápidamente por las laderas siguiendo el curso de los drenajes. Son especialmente peligrosos debido a su gran velocidad y a las grandes distancias que pueden alcanzar (de 10 a 100 km). Los lahares son aún más peligrosos cuando hay mucha agua en los alrededores, como en el caso de los cráteres ocupados por lagos o de los volcanes que se levantan en medio de glaciares, ya que pueden producirse inundaciones río abajo. Por lo general, los lahares sepultan o arrastran cuanto se interpone en su camino. Los aludes de lodo fueron la causa principal de la tragedia del Nevado del Ruiz, Colombia, en noviembre de 1985.

Las nubes descendentes de cenizas y piedra pómez son precipitaciones de material volcánico expulsado al aire durante la erupción o proyectado a gran altura por la columna eruptiva y dispersado por el viento a gran altura. El peligro de este fenómeno depende del volumen y el grosor de la ceniza expulsada, la intensidad y duración de la erupción, las características de los vientos locales y la distancia respecto del volcán. Además de los problemas de salud que presentan tanto para los seres humanos como para los animales, los mayores daños humanos que han causado en tiempos históricos consisten en la destrucción de cultivos y tierras de gran valor agrícola.

Asimismo, recientemente se produjeron casos de aviones de pasajeros que casi se estrellan al perder impulso después de atravesar una nube de cenizas. Por esa razón, las erupciones volcánicas son motivo de gran preocupación para la Organización de la Aviación Civil Internacional.

Debido a la inestabilidad general de los volcanes de laderas empinadas formadas por materiales sueltos y no consolidados, a veces se desprenden grandes sectores de los conos volcánicos que descienden por las laderas a gran velocidad, produciendo enormes avalanchas. Dichos desprendimientos pueden ser desencadenados por erupciones, intrusión de magma, terremotos o lluvias torrenciales. Debido a su gran masa y velocidad se extienden al pie del volcán, arrastrando o sepultando cuanto encuentran a su paso.

Antes y después de las erupciones volcánicas y durante las mismas puede haber grandes fumarolas o emisiones de gases, que consisten principalmente en vapor de agua, aunque con frecuencia contienen también gases tóxicos. Si estos gases se acumulan en depresiones del terreno o no son disipados por el viento, pueden alcanzar concentraciones letales. La tragedia que se produjo en 1986 en el lago Nyos (Camerún) se debió a la liberación repentina de dióxido de carbono de las aguas del lago, que estaban saturadas del gas. Este fenómeno es raro y al parecer está circunscripto a ciertos lagos situados a poca altitud. La gran concentración de flúor que acompañó a los gases y las cenizas de la erupción del Lonquimay en 1988-1989 tuvo efectos perjudiciales para los seres humanos, los animales y las plantas que se encontraban en la dirección en la cual soplaban el viento en las proximidades del volcán.

Si bien la mayor parte de la fuerza explosiva de las erupciones volcánicas por lo general se proyecta verticalmente encima del volcán, a veces se producen explosiones en los flancos del volcán o en las cúpulas de la cumbre. Estas explosiones se llaman explosiones laterales o dirigidas. Esta clase de actividad volcánica, que se observó en la Montaña Pelada de Martinica en 1902, produjo un alud de material piroclástico que destruyó completamente la ciudad de Saint Pierre y causó la muerte de sus 30.000 habitantes.

El ascenso del magma a la corteza superior y por el cono volcánico generalmente produce miles de terremotos leves, a medida que el magma se va abriendo paso hacia la superficie. La mayoría de estos terremotos se pueden detectar únicamente con sismógrafos muy sensibles, pero ocasionalmente son percibidos por los habitantes de la localidad. Aunque mucha gente teme estos terremotos, rara vez son de tal magnitud que causan muertes o pérdidas materiales. En consecuencia, los científicos normalmente se preocupan menos por la actividad sísmica que por las posibles erupciones.

Por último, los tsunamis o maremotos y los seiches son olas gigantescas producidas en los mares o en los lagos por terremotos de gran magnitud, erupciones volcánicas o avalanchas. El tsunami más devastador de origen volcánico fue el que se produjo a raíz de la erupción del volcán Krakatoa en 1883, en Indonesia, causando la muerte de 36.000 personas.

La evaluación de los peligros

Las características de las erupciones previas son los mejores indicios de lo que probablemente ocurra en erupciones futuras. Por consiguiente, para realizar un análisis del peligro que presenta un volcán es imprescindible conocer en detalle su historia y sus antecedentes. Basándose en sus estudios de los volcanes de las montañas Cascades en los Estados Unidos, Crandell y Mullineaux (1975) esbozaron un método para evaluar los peligros volcánicos. Una buena evaluación se ciñe a cuatro parámetros principales:

- ▶ Determinación de la historia del volcán mediante un estudio detallado de las diversas columnas estratigráficas próximas al cono.
- ▶ Interpretación del origen de cada depósito en la estratigrafía volcánica a fin de caracterizar los tipos y las magnitudes de las erupciones anteriores y reconocer los distintos fenómenos destructivos que se hayan producido con frecuencia.
- ▶ Determinación de la fecha de los principales acontecimientos volcánicos por medio de la radiometría o de otras técnicas para determinar la edad de los materiales, a fin de determinar la frecuencia y la tasa de recurrencia de dichos acontecimientos.
- ▶ Trazado de mapas geológicos del volcán y sus alrededores a fin de determinar la extensión de las zonas afectadas por erupciones previas, la cantidad de material expulsado y las rutas que siguen comúnmente los aludes de material que forman los depósitos.

Se ha comprobado que, en general, este método es correcto (Hall et al., 1989). Por consiguiente, se recomienda vivamente que se inicien con prontitud las evaluaciones de los volcanes peligrosos, especialmente en los países en desarrollo, a fin de que los planes de contingencia, así como los planes a largo plazo y el desarrollo de la región, se basen en un conocimiento adecuado de los peligros volcánicos.

El resultado ideal de una evaluación de los peligros volcánicos sería un mapa y un texto que contuvieran una indicación y un análisis claros de las zonas que hayan sido afectadas con frecuencia u ocasionalmente por fenómenos volcánicos (Hall e Hillebrandt, 1988).

Aunque sería sumamente útil estimar la probabilidad de que se repitan ciertos acontecimientos volcánicos o de que dichos acontecimientos afecten a las mismas zonas, los datos disponibles sobre la mayoría de los volcanes son insuficientes desde el punto de vista estadístico como para calcular probabilidades válidas.

EL PAPEL DEL MONITOREO DE LOS VOLCANES

Tan importante como demarcar las zonas peligrosas alrededor de un volcán es la ejecución de un programa permanente de vigilancia de los volcanes, y especialmente de aquellos que amenazan a numerosos pobladores, industrias u obras de ingeniería. El propósito del monitoreo de un volcán es reconocer lo más precozmente posible los primeros signos de reactivación. Si se tiene en cuenta que la mayoría de las erupciones que han pasado a la historia comenzaron dentro de las 24 horas siguientes a los primeros signos visuales de reactivación (Simkin et al., 1981), es obvio que el monitoreo permanente se justifica, ya que puede advertir sobre el peligro algunas semanas e incluso meses antes de la erupción principal. Se sabe por experiencia que este preaviso es necesario para poner en marcha un plan de emergencia, preparar a la población y mitigar el efecto de la erupción.

Los volcanes emiten comúnmente diversas señales precursoras durante el período de reactivación. Durante los últimos 20 años, los vulcanólogos han aprendido a reconocer e interpretar dichas señales, que a menudo proporcionan información que permite estimar el período durante el cual se producirá la erupción, así como su magnitud. Los métodos más eficaces son los geofísicos, geoquímicos y visuales (Tilling, 1989A).

El monitoreo sísmico, que es la técnica más confiable, a menudo detecta señales varios meses antes de la erupción. Un conjunto de cuatro a seis sismógrafos de ganancia elevada instalados alrededor del volcán puede detectar las pequeñas fisuras de las rocas producidas por el ascenso lento y constante de magma desde la corteza superior por el cono del volcán. A veces, las ondas sísmicas de baja frecuencia atribuidas al movimiento del magma constituyen un anuncio de una erupción inminente. En la actualidad, el número de terremotos por hora, la ubicación del hipocentro, los mecanismos focales y la disminución de la profundidad del hipocentro con el transcurso del tiempo ayudan a pronosticar las erupciones. Los datos sísmicos se envían por medio de dispositivos de telemetría hasta una oficina central, donde los vulcanólogos pueden observar los cambios del volcán

en tiempo real, factor crucial para la capacidad de la defensa civil para responder en forma apropiada y oportuna.

Los estudios de la deformación, aunque no son tan sensibles como el monitoreo sísmico, proporcionan información adicional que resulta útil para prever el momento en que el volcán entrará en erupción y estimar la magnitud del fenómeno. Esta técnica se basa en el hecho de que el ascenso del magma hasta la base del cono o por el mismo infla o deforma la estructura volcánica algunos milímetros o centímetros. Estos cambios se pueden detectar fácilmente por medio de estudios de altimetría de alta precisión alrededor del volcán, y las mediciones frecuentes permiten evaluar los cambios que éste experimenta. El propósito de la mayoría de estas técnicas es detectar cambios en la inclinación o el declive de las laderas del cono mediante líneas de base medidas y redes de triangulación. Como estas dos técnicas llevan mucho tiempo, se usan instrumentos electrónicos de telemetría que permiten medir la distancia rápidamente con una exactitud de primer orden y enviar dichos datos a estaciones reflectoras ubicadas a lo largo de las líneas radiales que van desde la parte superior del cono hasta el pie de la montaña. Una variación en dichas distancias indicaría que el cono se ha inflado o dilatado. Los inclinómetros electrónicos, cuyos datos se envían continuamente por medio de dispositivos de telemetría a una oficina central, facilitan la vigilancia en tiempo real de importantes sectores de los flancos del volcán.

Con el monitoreo geoquímico se trata de detectar variaciones temporarias de la composición química y la concentración de los componentes de los gases y el agua emitidos por las fumarolas y las aguas termales del volcán y sus alrededores. Se cree que estos cambios reflejan las características del magma ascendente; por lo tanto, teóricamente su monitoreo permanente debería servir para pronosticar una erupción. Lamentablemente, en la práctica esta técnica no ha resultado tan confiable como las otras que se han señalado, principalmente debido a problemas relativos al muestreo de gases de las fumarolas así como a su análisis. Además, los datos geoquímicos son difíciles de interpretar, ya que el sistema de gases y líquidos volcánicos es químicamente complejo y está sujeto a modificaciones externas tanto en las profundidades como cerca de la superficie. Cabe esperar que dentro de poco se normalicen las mejores técnicas y se disponga de instrumentos mejores y más confiables para realizar análisis rápidos in situ.

Entre otras técnicas de vigilancia de los volcanes se encuentran las lecturas periódicas de la temperatura de las aguas termales y de las fumarolas. Existe también gran interés en la vigilancia de los volcanes por medio de estudios gravimétricos, de los cambios en el campo magnético local, de la electrorresistividad, etc., cuyos parámetros se supone que varían a medida que el magma va penetrando en la estructura volcánica. Estos métodos todavía se encuentran en una etapa inicial de desarrollo.

En los volcanes que no están sometidos a una vigilancia sísmica permanente, con frecuencia es por medio de las observaciones visuales diarias de los habitantes locales que se detectan signos de reactivación tales como cambios en las fumarolas o un derretimiento desacostumbrado de la nieve que cubre la cima.

A fin de que el monitoreo de los volcanes sea eficaz, debe consistir en mediciones frecuentes y repetidas de muchos de estos parámetros. Cuanto mayor sea el número de técnicas empleadas, mayor será la confiabilidad de la interpretación resultante. La vigilancia basada en datos de telemetría permite analizar el comportamiento del volcán en tiempo real, a cualquier hora del día o de la noche, independientemente de las condiciones meteorológicas. Cuando una erupción es inminente, la vigilancia en tiempo real de los cambios en el volcán es imprescindible para mantener informadas a las fuerzas de la defensa civil y, si es necesario, evacuar a tiempo a los pobladores de la zona. Dentro de poco veremos detectores inteligentes de avalanchas de lodo instalados en la cima nevada de los volcanes de alto riesgo, como el Cotopaxi, en Ecuador, que detectarán el avance de los lahares y advertirán del peligro inminente por lo menos con 30 minutos de anticipación, tiempo suficiente para evacuar núcleos urbanos que estén debidamente preparados. Por medio de programas de educación pública, comunicaciones por radio rápidas y ágiles, y una red de alarmas de eficacia comprobada en las zonas amenazadas, la defensa civil puede reducir considerablemente las muertes y el impacto socioeconómico de las erupciones.

El costo de la instalación de instrumentos en todos los volcanes está fuera del alcance de la mayoría de los países en desarrollo. En consecuencia, hay que dar prioridad a los volcanes de alto riesgo que amenazan a un gran número de personas. En Ecuador, la instalación de un solo sismógrafo en volcanes que están muy dispersos permite mantener una vigilancia mínima de la actividad volcánica, pero afortunadamente sirve también para monitorear los movimientos tectónicos de la región. Cuando se detecta una actividad anómala en un volcán, se instala un conjunto transportable de cuatro sismógrafos como mínimo alrededor del volcán para analizar su comportamiento. Con un poco de optimismo cabe esperar que, dentro de poco, los países de la región brinden asistencia y cooperación mutuas durante las crisis volcánicas, como lo hacen actualmente Colombia y Ecuador.

LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS DESASTRES VOLCÁNICOS

De nada sirve evaluar los peligros y trazar mapas o monitorear los volcanes de alto riesgo sin un programa simultáneo de la defensa civil para preparar a la población de las zonas amenazadas para hacer frente a una erupción y sus posibles repercusiones socioeconómicas (UNDRO, 1987).

Una vez concluidos la evaluación de los peligros y el trazado de mapas, la defensa civil debe poner en marcha su programa de planificación para situaciones de emergencia, a fin de que esté listo mucho antes que el volcán presente signos de reactivación. Además, en las zonas pobladas o industriales es aconsejable preparar un mapa de los riesgos volcánicos (a una escala de 1:25.000 o mayor) que muestre la infraestructura local (sectores de viviendas, escuelas, mercados, industrias críticas, cables de electricidad, acueductos, etc.) que podría ser afectada por los lahares y otros fenómenos, así como las rutas para la evacuación y las zonas seguras (Mothes, 1988; 1990). Los organismos de planificación deberían considerar la posibilidad de dar otros usos a las zonas de alto riesgo y trasladar prudentemente las grandes obras de ingeniería, como las represas de los ríos donde se producen con frecuencia avalanchas de lodo devastadoras. Los programas de largo plazo para concientizar al público, especialmente los dirigidos a las escuelas, son muy eficaces para preparar a la población para coexistir con los volcanes, al igual que los programas que enseñan a sobrevivir terremotos. En los

casos en que el sector privado intente construir viviendas en zonas de alto riesgo o usar estas zonas para otros fines comerciales callando los peligros que ello entraña, la amplia divulgación de los peligros puede obligar a las empresas constructoras a abandonar su planes, llevando así a la práctica una planificación ad hoc del uso de la tierra en las zonas peligrosas.

En los planes de la defensa civil para situaciones de emergencia relacionadas con un volcán específico se deberían tener en cuenta todas las contingencias posibles a las cuales pudiese dar lugar una erupción volcánica. Por consiguiente, además de las tareas más obvias, como la evacuación de los habitantes de la posible senda de los lahares o de los aludes de material piroclástico, en el plan deberían preverse efectos secundarios más distantes, como la contaminación con cenizas de las fuentes de agua potable que abastecen a las ciudades cercanas, la destrucción de torres y cables de alta tensión por los lahares, lo cual podría paralizar importantes regiones del país, o la devastación generalizada de los cultivos por la precipitación de cenizas o gases volcánicos.

Una vez preparado el plan, la defensa civil puede ensayar su respuesta frente a una erupción inminente en un simulacro de crisis volcánica organizado por vulcanólogos que conozcan el volcán. En los simulacros de este tipo se trata de presentar la secuencia probable de acontecimientos que podrían culminar en una erupción, desde los primeros signos de la reactivación hasta el paroxismo explosivo, así como la devastación resultante (Mothes y Hall, 1988). Por lo tanto, se describe una serie de problemas técnicos, logísticos, sociales y económicos que la defensa civil y las autoridades locales deben enfrentar y resolver sin demora. La defensa civil ecuatoriana organizó evacuaciones en simulacros de este tipo, que se realizan en oficinas. Cada una de las oficinas provinciales de la defensa civil de las seis provincias que podrían ser afectadas por una erupción del Cotopaxi se instaló en un cuarto separado, desde el cual se mantenía en contacto con el exterior sólo por radio y por teléfono, y tenía que responder individualmente a los problemas que surgían en el curso del simulacro y que se transmitían por altoparlantes a todas las "provincias". De esta forma, cada provincia se enteró de la posibilidad de una erupción y tuvo que tomar las medidas necesarias para mitigar los efectos de un posible desastre. En la última parte del simulacro había un gran lahar que avanzaba sin detenerse por los tres sistemas fluviales que abarcan todas las provincias, y cada oficina provincial tenía que responder a la situación de emergencia a su manera con los recursos de que dispusiera en la provincia.

Posteriormente, la defensa civil a cargo de las sendas norte y sur de los lahares del Cotopaxi realizó ejercicios prácticos de evacuación. En ambos casos, unos 5.000 trabajadores, estudiantes y empleados fueron evacuados de la zona en peligro y transportados hasta lugares más elevados. La publicidad que estos ejercicios recibieron en la prensa y la televisión produjo un efecto similar al de un programa intensivo de concientización del público sobre los peligros que puede presentar el volcán Cotopaxi. Además, la defensa civil ha considerado oportuno formar una comisión científica interinstitucional que colabore en el análisis de los datos científicos, resuelva las diferencias en las interpretaciones científicas y mantenga al público y a los medios de comunicación informados en forma concisa y exacta, sin sembrar la alarma.

La erupción del Nevado del Ruiz en 1985 ofrece numerosas enseñanzas sobre la forma en que se pueden producir tragedias accidentalmente, debido a la falta de conocimientos, las intenciones canalizadas incorrectamente, la respuesta lenta del gobierno y la falta de preparación de la defensa civil (CERESIS, 1989; Hall, 1990).

CONCLUSIONES

Aunque lamentablemente continuarán produciéndose desastres volcánicos, la adopción de un programa como el que se esboza en esta monografía es muy útil para preparar a los científicos y a la defensa civil para las crisis volcánicas y mitigar los efectos socioeconómicos de las erupciones de gran magnitud. A fin de llevar a la práctica un programa de ese tipo se necesita la colaboración de varias disciplinas científicas. Se necesitan vulcanólogos, geólogos y meteorólogos para la evaluación de los peligros y el trazado de mapas, así como sismólogos, geofísicos y geoquímicos para vigilar el estado del volcán. Estos grupos deben integrar sus datos y conocimientos con el propósito de evaluar de la mejor manera posible el estado del volcán y su posible comportamiento.

Además, los científicos tienen la responsabilidad de informar y asesorar a la defensa civil, las autoridades locales y los organismos de planificación sobre los peligros volcánicos y las zonas amenazadas. Asimismo, deberían colaborar con la defensa civil organizando simulacros de erupción y participando en los mismos y en los ejercicios de evacuación, a fin de que dichas actividades se acerquen más a la realidad.

Sería muy útil para un programa nacional de reducción de los peligros volcánicos que se estableciera un centro regional de vulcanología integrado por varios países, que pudiese contribuir su pericia a la evaluación de los peligros y a la vigilancia de los volcanes durante los períodos de inactividad volcánica, así como un equipo de expertos y el equipo necesario para el monitoreo durante las crisis. Si se enviara a expertos internacionales bajo los auspicios de la Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre (UNDRO), la Organización Mundial de Observatorios de Volcanes o el programa VDAP de la Oficina de Estudios Geológicos de los Estados Unidos, se podría fortalecer la respuesta local y regional a las crisis por medio de programas de capacitación y asistencia durante los períodos de erupciones. Las organizaciones locales de la defensa civil pueden recibir ayuda de expertos de la UNDRO, de la Oficina de los Estados Unidos de Ayuda Exterior para Casos de Desastre y de las unidades de socorro para casos de desastre de otros países para sus programas de educación pública y mitigación de los efectos de los desastres volcánicos.

El Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales declarado por la Asamblea General de las Naciones Unidas es una época excelente para iniciar programas orientados a la mitigación de los efectos de las erupciones volcánicas y aprovechar los programas de capacitación y asistencia técnica disponibles.

RESUMEN

Se considera que miles de volcanes del mundo se encuentran en un estado latente y podrían entrar en erupción en un futuro próximo, posiblemente causando una gran pérdida de vidas humanas y bienes, especialmente en el tercer mundo. Se puede reducir considerablemente el impacto socio-económico ocasionado por erupciones volcánicas poniendo en práctica un programa que incluye: 1) una evaluación de los peligros volcánicos, 2) una permanente vigilancia instrumental y 3) un plan de prevención y preparación por parte de la Defensa Civil (DC).

Primeramente, es imprescindible preparar un inventario preliminar de todos los volcanes existentes en el país, el posible riesgo que presenta cada uno a las poblaciones e infraestructura y, la edad de su actividad más reciente. Una vez que se asigna prioridad al estudio de los volcanes cuyas erupciones claramente amenazan a la población, bienes, proyectos (ingenieriles o producción agrícola, se debe iniciar de inmediato una evaluación y mapeo de los peligros volcánicos. Al estudiar la estratigrafía del volcán, determinar las edades de las erupciones principales y mapear la distribución de los depósitos dejados por las erupciones pasadas, se puede obtener un buen conocimiento tanto de la historia del volcán como de la naturaleza e intensidad de sus erupciones. Si esta información está bien presentada, permitirá que la Defensa Civil pueda formular planes de emergencia y que las instituciones estatales de planificación puedan establecer una zonificación de los sectores de alto riesgo.

La vigilancia permanente de los volcanes mediante métodos probados de monitoreo puede reconocer las primeras señales de reactivación, semanas o meses antes de la iniciación de las erupciones principales. El monitoreo sísmico puede detectar y trazar espacialmente el ascenso del magma y otros fluidos hacia la superficie. Estudios de deformación, mediante técnicas comunes de nivelación y topografía, vigilan el hinchamiento de los flancos del volcán, generado por una intrusión del magma. Estudios geoquímicos buscan hallar variaciones en las especies químicas y en su concentración emitidas en gases fumarólicos y aguas termales. Las observaciones visuales y la documentación sirven como métodos fundamentales en la vigilancia. Un factor crítico para fortalecer los planes de preparación y evacuación de la DC, es la transmisión permanente de los datos instrumentales por telemetría al observatorio, que garantiza una vigilancia del volcán las 24 horas del día y en condiciones atmosféricas desfavorables.

Un programa simultáneo de la DC debe preparar a la población del área amenazada para la erupción y sus posibles consecuencias. Se debe elaborar un mapa de riesgo volcánico, basado en el mapa de peligros, que mostraría en detalle cómo los eventos eruptivos podrían afectar a las áreas de infraestructura. Mediante una publicidad bien dirigida, la DC puede disuadir a la población sobre el uso y el desarrollo de las áreas de alto riesgo. Además, la preparación de escenarios de erupciones hipotéticas permite que la DC ponga en práctica sus planes de emergencia y los ejercicios de evacuación. Más importante, es el establecimiento a largo plazo de un amplio programa de educación pública sobre como convivir con los volcanes, utilizando los medios de difusión pública (prensa, radio, televisión), con la ayuda de líderes eclesiásticos, dirigentes y educadores.

REFERENCIAS

- CERESIS, 1989. Riesgo Volcánico, Evaluación y Mitigación en América Latina. Lima, Perú. 298 pp.
- Crandell, D. R. & D. R. Mullineaux. 1975. Technique and rationale of volcanic hazards appraisals in the Cascade Range, Northwestern United States. Environ. Geol. Vol. 1, p. 23-32.
- Hall, M. L., 1990. The 1985 Nevado del Ruiz Eruption. Scientific, Social, and Governmental Response and Interaction prior to Eruption. AGID Publication, London (in press).
- Hall, M. L., C. von Hillebrandt & B. Beate. 1989. Advances in volcano hazard evaluation in Ecuador (Abs.) in Continental Magmatism. Bulletin 131. New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Socorro.
- Hall, M. L. & C. von Hillebrandt. 1988. Los Peligros Volcanicos del Volcán Cotopaxi, Zona Norte & Zona Sur (2 maps). Instituto Geofísico, Esc. Pol. Nac., Quito, Ecuador.
- Mothes, P. A. 1990. Lahars of Cotopaxi Volcano, Ecuador. Hazard and Risk Evaluation. AGID Publication, London (in press).
- Mothes, P. A., 1988. Riesgos Laharicos del Volcan Cotopaxi, Ecuador. Report and 10 maps, Scale 1:25,000. Instituto Geofísico, Esc. Pol. Nac., Quito, Ecuador.
- Mothes, P. A. & M. L. Hall, 1988. Escenario de una Posible Erupción del Volcán Cotopaxi, Ecuador. Instituto Geofísico, Esc. Pol. Nac., Quito, 13 pp.
- Peterson, D. W., 1986. Volcanic hazards and public response. J. Geophys. Res., Vol. 93, p. 4161-4170.
- Simkin, T., L. Siebert, L. McClelland, D. Bridge, C. Newhall & J. Latter, 1981. Volcanoes of the World: A Regional Directory, Gazetteer, and Chronology of Volcanism During the Last 10,000 Years. Hutchison Ross, Stroudsburg, PA, 232 pp.
- Tilling, R., 1989B. Volcanic hazards and their mitigation progress and problems. Rev. Geophys., Vol. 27, p. 237-269.
- Tilling, R., ed., 1989A. Volcanic Hazards. Short Course Series, Vol. 1, American Geophysical Union, Washington, D.C., 123 pp.
- UNDRO, 1987. Manejo de Emergencias Volcánicas. New York, 83 pp.
- UNESCO, 1984. Source-Book for Volcanic Hazards Zonation. UNESCO Natural Hazards 4. Paris, 97 pp.
- Williams, S. ed., 1990. Nevado del Ruiz Volcano, Colombia, I & II. J. Volcanology and Geothermal Research Vol. 41 and 42.