

ATENCIÓN DE UNA CRISIS VOLCÁNICA

A. García¹; M. Astiz²; R. Ortiz¹

¹Dpto. Volcanología. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. c/ José Gutiérrez Abascal 2. 28006 Madrid.

²Dpto. Matemática Aplicada. E.T.S. Arquitectura. UPM. Avda. de Juan de Herrera, 4. 28040 Madrid.

INTRODUCCIÓN

Una crisis volcánica se diferencia de situaciones análogas en otro tipo de desastre natural en la importancia de sus fases iniciales, que pueden prolongarse durante años, y en la dificultad del pronóstico a medio plazo (figura 1). Es importante destacar que el objetivo de la atención de la crisis es precisamente establecer periódicamente un pronóstico de la evolución de la actividad, de forma que puedan prepararse las actuaciones de contingencia (ver el tema *Vigilancia, seguimiento y pronóstico de erupciones*, en este volumen). Sin embargo, este pronóstico, especialmente en volcanes con carácter explosivo, no es único, sino que existen varias posibilidades de evolución del sistema que deben analizarse separadamente (figura 2). Hoy los volcanólogos ante una crisis se enfrentan a una serie de problemas, como son el pronóstico de la actividad del volcán, la metodología de trabajo a elegir y la comunicación con los agentes sociales (Newhall, 1995).

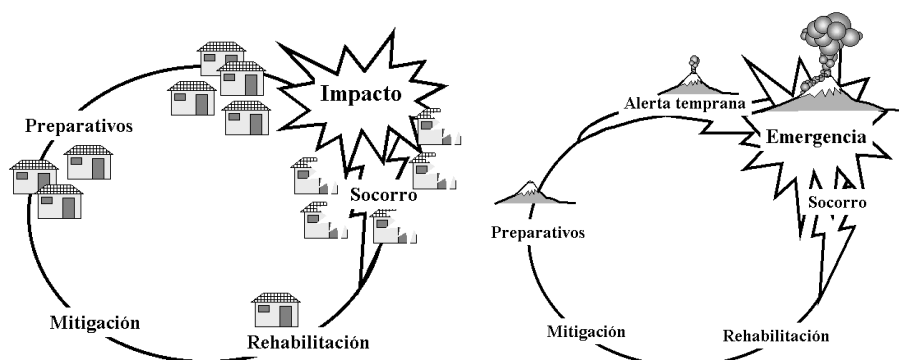


Figura 1. Existe la tendencia a asociar los desastres sísmicos y volcánicos, quizá por tratarse de los eventos naturales más espectaculares. La gestión de ambos es completamente distinta, en el caso de un terremoto destructor el impacto ocurre súbitamente y se prolonga poco tiempo, mientras que una crisis volcánica presenta siempre una fase de alerta temprana y puede prolongarse durante años.

En cualquier caso, la implicación socio-económica del volcanismo impide que la futura investigación volcanológica pueda encerrarse en aspectos puramente académicos, siendo imprescindible en cada país la existencia de una organización científica responsable del asesoramiento y coordinación con las autoridades de Protección Civil, especialmente en caso de crisis. En cuanto a la organización de la investigación, se tiende a potenciar la colaboración internacional en áreas de interés común y los cursos o seminarios de entrenamiento y especialización. Así, las nuevas tendencias metodológicas se dirigen hacia la mayor especialización, pero también a la sencillez en los métodos y a la valoración de las soluciones autóctonas y singulares. Por lo que respecta al tratamiento de datos se tiende,

como en todas las Ciencias, a una mayor cuantificación en la elaboración de modelos (Araña y Ortiz, 1993). En lo referente a la política científica, se pretende compaginar el interés socio-político en un rápido desarrollo tecnológico de los sistemas de vigilancia, con el interés científico por la investigación básica a largo plazo. En esta última se cifran las esperanzas futuras para prevenir con eficacia el riesgo eruptivo, ya que el progreso puramente tecnológico alcanzado en los años ochenta, se ha demostrado ineficaz a la hora de reducir los efectos catastróficos de las erupciones (ver *Erupciones históricas relevantes*, en este volumen) comparables a las ocurridas a principios de siglo. Además, en estos últimos años, hemos podido presenciar el fracaso de las técnicas de predicción de erupciones relevantes, a partir de las experiencias de Hawai, del Mont St. Helens (USA), Campi Flegrei (Italia) con fuerte proceso bradisísmico entre 1983 y 1985, Long Valley (USA) donde se manifiestan todos los precursores y no se produce erupción alguna o Rabaul (Papua Nueva Guinea) con crisis en 1983 mientras que la erupción ocurre en 1994 con sólo pequeños precursores.

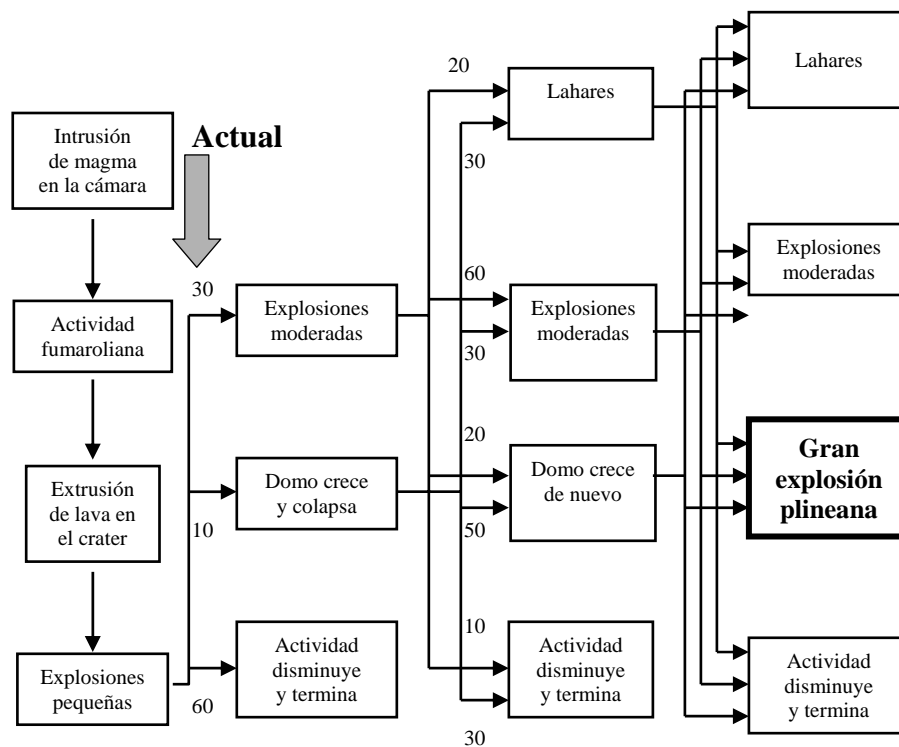


Figura 2. El pronóstico de la evolución de una crisis volcánica se expresa mediante un árbol de probabilidades que recoge todas las posibilidades de evolución. El ejemplo corresponde al volcán Popocatepetl en 1998 (cortesía CENAPRED, México).

Finalmente, la tragedias del Unzen (Japón, 1991) con la muerte del matrimonio Kraft y otras 30 personas por un fallo de previsión y especialmente en el Galeras (Colombia, 1993) donde en un volcán en reposo, sin actividad sísmica ni emisiones anómalas de gases, se produce una explosión con columna de 4 km, matando a seis volcanólogos que estaban mostrando las técnicas de predicción de erupciones, han cuestionado aún más la

infalibilidad de la vigilancia (Araña y Ortiz, 1996). El análisis de las últimas crisis ocurridas han servido de experiencia para el establecimiento de las pautas y estructuras para abordar una reactivación del volcán (Barberi et al., 1984; CENAPRED, 1995; Ortiz, 1996; Cardona, 1997). Estas estructuras deben poder ir variando de acuerdo con la evolución de la crisis.

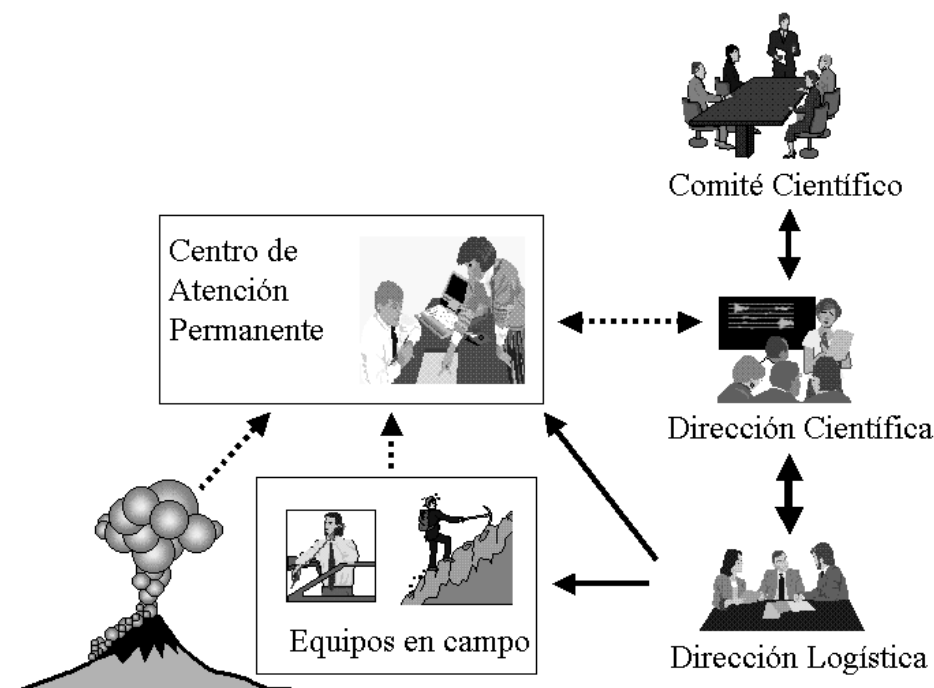


Figura 3. Estructura para la gestión de una crisis volcánica. Existe un Comité Científico Asesor creado para la comunicación con Protección Civil. Una Dirección Científica se encarga de la interpretación de los datos, mientras que una Dirección Logística coordina a los distintos grupos de trabajo. Inmediatamente después de la declaración de la crisis se crea un Centro de Atención Permanente, responsable de la adquisición y análisis de los datos.

ESTRUCTURA PARA LA GESTIÓN DE UNA CRISIS VOLCÁNICA

La gestión de una crisis volcánica involucra a muchos profesionales pertenecientes a distintas instituciones, cada una de ellas con una estructura y operatividad particular, y que deben trabajar conjuntamente (figura 3) (Ortiz, 1996). Para llevar esto a cabo es importante establecer, desde el primer momento, la estructura que optimice los recursos y evite conflictos entre instituciones y personas (UNDRO/UNESCO, 1985; IAVCEI, 1999). La estructura organizativa más simple considera sólo dos instituciones: Protección Civil y estamento científico, creándose un Comité Científico Asesor para la coordinación de ambas (De La Cruz-Reyna, 1996). Es importante definir en periodos de calma del volcán cómo debe estar estructurado este Comité y los mecanismos mediante los cuales se nombran sus

miembros. Hay que tener presente que el estamento científico generalmente está constituido por varias instituciones que pueden no estar sujetas a disciplina gubernamental y no siempre con suficiente capacidad técnica. Además, y por diversos motivos, se puede plantear el problema de que estas estructuras se desdoblén, por ejemplo, un volcán fronterizo entre dos comunidades cada una de ellas con su Protección Civil y su Comité Científico; o la llegada de otros científicos, espontáneamente o reclamados (Araña, 1996). En estos casos debe hacerse un esfuerzo para conseguir integrar los distintos elementos, evitando exclusiones, pues es preferible tener dentro del comité a todos y evitar enfrentamientos públicos a través de los medios de comunicación o en función de intereses políticos. Evidentemente, esto no siempre es posible, ocurriendo generalmente todo lo contrario y planteando tremendas dificultades añadidas a la ya difícil tarea de gestionar la crisis volcánica. En algunos casos, se ha llegado a sugerir la necesidad de contar con un comité internacional de ética para poder poner orden entre el colectivo científico.

La existencia de este Comité Científico Asesor no implica un mando único que dirija todas las operaciones científicas, sino que cada institución conserva la autonomía de gestión y explotación de sus equipos. El Comité Científico permite que cada grupo ponga sobre la mesa sus datos y sus interpretaciones, se discutan y se establezca un consenso sobre la evolución de la crisis y las recomendaciones a Protección Civil. Es conveniente que se invite a las reuniones del Comité Científico a autoridades (o representantes de partidos políticos) para que tomen conciencia de las dificultades que supone el pronóstico de la actividad de la evolución de la crisis. En algunas estructuras de Protección Civil, como la española, en la propia creación del Comité Científico se considera ya la presencia de las autoridades políticas involucradas (Ver *Riesgo Volcánico y Protección Civil*, este volumen).

ESTRUCTURA CIENTÍFICA

En el momento en que se declara una crisis volcánica (que puede o no ser tal) inmediatamente debe iniciarse su seguimiento científico que exige

- Instrumentar el volcán o reforzar la instrumentación existente.
- Operar los equipos y analizar los datos obtenidos.
- Hacer pronósticos sobre la evolución de la crisis y sugerir acciones a tomar.

La organización del equipo que va a encargarse del seguimiento oficial de la crisis debe hacerse de forma que pueda operar de modo eficaz y continuo durante mucho tiempo. Además, trabajar en un volcán en crisis es una actividad altamente peligrosa, debiéndose extremar las medidas de seguridad (Aramaki et al., 1993). Es importante evitar situaciones de agotamiento pero, sin embargo, dar respuesta a todos los problemas que surjan. Es necesario contar con instrumentación complementaria para atender, en cualquier momento y lugar, la reactivación de un volcán. En general, se tratará de aumentar el número de estaciones sísmicas y clinométricas, instalar el sistema de detección de lahares, ampliar la capacidad de los enlaces telemétricos, disminuir el tiempo necesario para analizar los datos, etc. En muchos casos, este es el momento de instalar las cámaras para la vigilancia visual del volcán o utilizar dispositivos específicos, por ejemplo arrays sísmicos que permiten realizar un buen seguimiento de la actividad sísmica del volcán sin necesidad de rodear el edificio con estaciones convencionales con complejas redes telemétricas (Abril e Ibáñez,

este volumen). Pero el aspecto más importante de la atención de una crisis volcánica es el referente al grupo humano encargado de llevarlo a cabo, especialmente cuando la crisis cobra un cierto nivel de importancia, bien por la actividad del volcán o por sus implicaciones políticas y económicas. Es importante establecer claramente quién es quién desde el primer momento y dotar a la estructura de los mecanismos adecuados para su correcta operación bajo cualquier circunstancia (IAVCEI, 1999). Lógicamente, esto exige una planificación que debe hacerse antes del inicio de una crisis, cuando el volcán se encuentra en reposo. Los elementos clave son la constitución del Comité Científico y el equipo técnico encargado del seguimiento. Para ello es importante la existencia, además del Comité Científico, de otros dos centros de mando

- Comité Científico para las relaciones con las autoridades, Protección Civil y los medios de comunicación y la coordinación entre instituciones.
- Dirección Científica que gestiona las actividades de cada colectivo de científicos. En muchos casos hay una dirección científica por cada institución. Muchos de sus miembros están integrados en el Comité Científico.
- Dirección Logística, dirigida por un científico con experiencia en crisis volcánicas, es el centro con mayor complejidad y responsabilidad. Debe ordenar los recursos humanos y materiales, de acuerdo con las directrices tomadas por la propia Dirección Logística.

El personal que debe atender la crisis debe estar en equipos bien diferenciados

- Equipos Técnicos .
- Equipos de Guardias.
- Equipos de Campo

De la Dirección Logística dependen,

- El Centro de Atención Permanente, donde se reciben y procesan los datos que son remitidos a la Dirección Científica. Durante la crisis, este centro opera en régimen de guardias. Cada guardia debe estar constituida al menos por jefe, operador, notario y auxiliar.
- Los Equipos de campo realizan los trabajos directamente sobre el volcán, instalando nuevos equipos, realizando medidas o tomando muestras.
- Los Equipos técnicos encargados del soporte técnico (informático, electrónico, mecánico, etc.)

Los equipos técnicos están encargados de la instalación de instrumentación y de su mantenimiento, incluidos los instrumentos situados en el centro de control. El personal de guardia es el responsable del análisis preliminar de los datos, ya sean obtenidos directamente por telemetría o mediante volcado en un soporte intermedio. Este personal deberá también atender las consultas y visitas. Es posible que en el seguimiento de la crisis participen varias instituciones de carácter científico o técnico. En estos casos, es frecuente que cada institución cree sus propios órganos de gestión y que la única coordinación entre ellos se establezca a través del Comité Científico. Lógicamente, es deseable la mayor

integración posible entre las instituciones y que, por lo menos, las distintas direcciones científicas y logísticas mantengan la más estrecha colaboración.

El Comité Científico debe mantener reuniones diarias, siendo imprescindibles

- Una Reunión Plenaria (a última hora de la tarde) para
 - Revisión de los datos
 - Establecimiento de los pronósticos de evolución
 - Emisión del comunicado diario
 - Redacción del acta
- Una Reunión Parcial (a mediodía) para:
 - Evaluación de la situación, basándose en los informes de los jefes de guardias
 - Establecimiento o modificación de los programas de los equipos técnicos o de las rutinas de los equipos de guardia

El Centro de Atención Permanente deberá cumplir las misiones de

- Centro de recepción y análisis de datos
- Centro de atención permanente al público

Las misiones de la Dirección Logística serán

- Soporte logístico
- Coordinación y seguimiento de las guardias
- Coordinación y seguimiento de equipos técnicos y de campo
- Integración de otros profesionales
- Coordinación de voluntarios

Los equipos técnicos y de campo deberán contar necesariamente con un conductor buen conocedor de la zona de trabajo. Otro personal que debe estar encuadrado en estos equipos son electrónicos e informáticos. De otro modo es imposible superar los problemas técnicos que surjan.

El personal de los equipos de guardia debe estar formado por

- Jefe de guardia con capacidad de decisión
- Operador para el análisis de los datos
- Un logístico o conductor para la realización de todas las funciones externas y colaboración en las rutinas internas
- Relator para mantener el diario de todas las incidencias y visitas al centro

Es importante destacar que un equipo de esta índole requiere un mínimo de 24 personas

- Tres equipos para cubrir tres guardias, 12 personas
- Cuatro equipos técnicos, 8 personas (dos equipos para instalación, un equipo electrónico, un equipo informático)
- Dirección científica, 2 personas

- Dirección logística, 2 personas

A este equipo hay que añadir los miembros del Comité Científico que no pueden estar englobados en los turnos de guardias o en los equipos técnicos. Lógicamente, cuando la crisis se estabiliza es posible reducir el número de miembros de los equipos técnicos o si la situación lo permite, eliminar el turno de guardias de 24 horas, sustituyéndolo por una atención en horario laboral y acceso remoto al resumen de la actividad.

Cuadro 1. Apoyo instrumental en función del desarrollo de la crisis volcánica								
Instrumentación	Nivel							
	0	1	2	3	4	5		Fin
Red sísmica permanente	*	*	*	*	*	*	*	*
Estaciones Sísmicas Portátiles (registro in situ)		*	*	*	?	?	?	*
Array sísmico			*	*	*	*	*	*
Red sísmica local (telemetría bajo costo)				*	*	*	+	
Proceso sísmica tiempo real					*	*	*	
Gases (y temperatura)		*	*	*	?	?	?	*
Nivelación			*	*	?	?	?	*
Clinómetros electrónicos			*	*	*	*	+	
Geodesia			*	?	?	?	?	*
Extensómetros			*	*	*	*	+	
Mareógrafo (en algunos casos)	*	*	*	*	*	*	*	
Gravimetría			*	*	?	?	?	*
Gravímetro registrador (diferencial)			*	*	*	*	*	
Volcanomagnetismo			*	*	*	*	*	*
Visión directa (TV barrido lento)				*	*	*	*	
Elementos auxiliares								
Enlaces telemetría radio (alta velocidad)			*	*	*	*	*	*
Enlace satélite (alta velocidad)				*	*	*	*	
Enlace satélite (baja velocidad)			*	*	*	*	*	*
Enlaces alternativos				*	*	*	*	
Generador eléctrico 10KW			*	*	*	*	*	*
Baterías, cables, contenedores.			*	*	*	*	*	*
Logística (transporte, locales, campamentos)			*	*	*	*	*	*
Presupuesto extraordinario			*	*	*	*	*	
? Depende del tipo de erupción esperada. + equipo seguramente destruido. Fin corresponde al periodo posteruptivo Ver <i>Vigilancia, seguimiento y pronóstico de erupciones</i> en este volumen.								

La importancia del número de personas que implica hacer el seguimiento de una crisis volcánica hace necesaria la concienciación de los distintos Organismos con responsabilidades en la gestión del riesgo volcánico. Es necesario integrar desde el primer

momento personal de las Instituciones locales en las labores del Centro de Atención Permanente. Los gastos derivados de la operación de los distintos instrumentos son mínimos frente a los requerimientos en personal y en su movilidad. Es muy importante que todas las relaciones entre el Comité Científico o la Dirección Científica y los equipos técnicos o los turnos de guardia se realicen a través de la Dirección Logística, que controla, en cada momento, las disponibilidades de personal y medios. Todos los equipos deben dar novedades a la Dirección Logística. De esta forma es posible en todo momento saber cuáles son los recursos disponibles y adaptarlos a las necesidades requeridas por la evolución de la crisis. Se necesita un mínimo 48-72 horas para que el dispositivo sea completamente operativo y se involucran 20-30 personas para el montaje y operación de todo el sistema.

CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA VIGILANCIA DE VOLCANES

En estos últimos años se ha producido un cambio substancialmente importante en la vigilancia y prevención de erupciones: ya nadie pretende llenar de aparatos todo volcán que presuntamente ha entrado en erupción en los últimos cien mil años, antes al contrario, se trata de conocer cuáles son sus mecanismos eruptivos, de establecer los correspondientes modelos de estos mecanismos y de determinar cuál es el estado de reposo en ese área volcánica activa. En la mayoría de los casos, bastan unos pocos instrumentos operando en la zona unas pocas semanas cada uno o dos años, aunque debe estar perfectamente establecido cómo, quién y con qué hay que intervenir en caso de crisis (cuadro 1). Distinto es el caso de aquellos volcanes que ya están en crisis o que presentan una actividad persistente. En estos volcanes, para aumentar nuestro conocimiento de cómo es y cómo funciona, sí se instalan nuevos y complejos instrumentos. Igualmente, se está pretendiendo desarrollar nuevas técnicas e instrumentos que permitan medir los parámetros físicos durante el proceso eruptivo, especialmente en las erupciones de mayor violencia. La imposibilidad real de actuar directamente en las crisis más violentas hace que el desarrollo de sensores remotos, ópticos y electromagnéticos, junto con cápsulas del tipo de las empleadas en investigación espacial, tengan un nuevo campo (Rothery, 1992). El desarrollo de nuevas estructuras matemáticas (Turcotte et al., 1990), como los sistemas dinámicos, física del caos (Turcotte, 1989) o fractales (Dubois y Cheminee, 1991) encuentran una aplicación inmediata en el estudio de los procesos volcánicos. Las nuevas herramientas del cálculo electrónico, como es la inteligencia artificial (Costa et al., 1989) facilitan el procesado de los miles de datos recogidos hasta el momento en los distintos volcanes del mundo y que, actualmente, se están intentando estudiar conjuntamente y con la menor manipulación posible.

En ocasiones, la vigilancia de un volcán activo puede sólo depender de una estación sísmica. En este caso, la estación deberá estar situada en una zona que garantice su operación continua, el fácil acceso a los datos y el mantenimiento del sistema. Por ello, es preferible emplazarla en una población y encargarle su operación a algún funcionario (maestro, bombero, policía, etc.). Los datos se pueden enviar periódicamente por cualquier medio disponible. Es preferible tener datos de calidad mediocre con una cierta frecuencia que no tener ninguno durante largos periodos de tiempo. Sin embargo, el equipamiento recomendable sería disponer de un mínimo de cuatro estaciones sísmicas, una de ellas de tres componentes y tres clinómetros. Los clinómetros son elementos muy sensibles a los cambios de temperatura por lo que deben aislarse térmicamente y situarse enterrados. El

cambio del nivel freático induce deformaciones importantes en los niveles superiores del volcán. Es necesario emplazar los clinómetros debajo de estos niveles y, si es posible, en roca. Igualmente, la presencia de hielo en el volcán provoca deformaciones superficiales importantes difíciles de corregir. Si el volcán es suficientemente accesible, es posible disponer de un medidor de CO₂ en algún punto donde exista una emisión significativa del gas. Este sensor puede compartir la transmisión de datos con alguna estación sísmica próxima. La instalación de pequeñas estaciones meteorológicas es importante para la interpretación de muchos registros. Es imprescindible que los datos se analicen periódicamente. No es necesario que en condiciones de reposo del volcán este análisis se realice diariamente, pero no es aceptable que estén durante meses datos sin analizar o que el retraso medio sea superior a una o dos semanas. Deben estar cubiertos los periodos de vacaciones. De nada sirve tener un complejo sistema de vigilancia si después nadie analiza los datos con un retardo prudencial. Muchas de estas operaciones pueden ya automatizarse hasta un cierto grado, reduciendo la atención humana a unos pocos minutos diarios por volcán. Es importante detectar cualquier cambio en las pautas habituales del volcán.

A medida que va aumentando la actividad del volcán se van instalando nuevos instrumentos e implementando técnicas de procesado automático de los datos, de forma que la gestión del primer nivel de alertas pueda automatizarse, descargando al personal de guardia de las labores más rutinarias. Hay que tener presente que la incorporación de más técnicas o instrumentos requiere también el aumento de los recursos humanos (cuadro 2).

Cuadro 2. Personal requerido para cubrir el seguimiento de un volcán en nivel 1, 2, 3 modificado de la propuesta del Observatorio Vesuviano para el ejercicio EUROPA96		
TÉCNICA	OPERADORES	Observaciones
Red sísmica	3 (en turnos)	procesado continuo de la señal
Estaciones sísmicas	2	procesado conjunto con la red
Mareógrafos	2	análisis cada 24 horas
Gravimetría	2	sólo puntos fijos
Nivelación	2 equipos de 4	itinerarios cubiertos en pocas horas
Distanciómetros	4	medida en pocas horas (días)
GPS diferencial	4	mínimo 4 receptores
Gases	2	componentes mayores en 24 horas
Electromagnetismo	2	mínimo 2 magnetómetros
Observación directa	3	instalar una cámara TV remota

A la instrumentación propiamente dirigida al seguimiento de la actividad volcánica hay que añadir otra serie de elementos igualmente importantes como es el sistema de cómputo para la interpretación de los datos, una o dos máquinas para la redacción de documentos y un sistema de comunicaciones con un mínimo de tres líneas telefónicas (acceso público, privado y transmisión de datos). La línea de acceso público se satura rápidamente, por lo que debe mantenerse una fuerte disciplina en su gestión. Hoy es posible utilizar un teléfono controlado por un computador. De este modo se tiene control de todo el tráfico de llamadas,

pudiéndose automatizar las agendas telefónicas necesarias para la gestión de la crisis. En crisis de larga duración es conveniente la utilización de un sistema de mensajería electrónica gestionada automáticamente por un computador.

COMUNICADO DE AVISO A LA POBLACIÓN:

XI Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica
EJERCICIO DE VIGILANCIA DE VOLCANES TIMANFAYA'98
En el área de Timanfaya los días 27, 28 y 29 de Octubre de 1998.

Se informa que durante los próximos días 27, 28 y 29 de Octubre de 1998, se desarrollará, en el área de Timanfaya, un ejercicio del **XI Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica**, dirigido a divulgar entre los participantes del curso el sistema de vigilancia de volcanes previsto para atender una crisis volcánica en Canarias y comprobar la operatividad de la primera fase de actuación en cuanto afecta a la comunidad científica y a los organismos locales directamente implicados. Este ejercicio se realiza aprovechando la presencia en la isla de volcanólogos de reconocido prestigio internacional que actuarán como evaluadores del mismo. Durante el desarrollo del ejercicio funcionará un *Centro de Seguimiento Instrumental* instalado en el **Centro Cultural Benito Pérez Armas** de Yaiza, durante las veinticuatro horas en régimen de tres guardias. Durante estos días operarán en la zona diversos vehículos pertenecientes a los distintos organismos que participan en el ejercicio. Se desplegará la instrumentación necesaria para la vigilancia de volcanes y se realizarán una serie de experimentos encaminados a dicho fin. Todo ello supondrá un nivel de actividad técnica inusual en la zona. El día 29 a las 20 horas tendrá lugar en la Salón de Actos del **Centro Cultural Benito Pérez Armas** de Yaiza, una mesa redonda sobre el desarrollo del ejercicio **TIMANFAYA'98**. Por tanto, a fin de evitar alarmismo infundado, el Departamento de Volcanología del CSIC informa también que tal ejercicio no deriva de ninguna situación de actividad anormal del volcán Timanfaya, y que el estado del volcán es del todo normal (Nivel 0 de actividad y semáforo del volcán se mantiene en VERDE).

Figura 4. Antes de realizar un ejercicio o simulacro es necesario advertir a la población. La figura muestra el comunicado que se facilitó al Cabildo, a la Subdelegación del Gobierno y a todos los municipios afectados una semana antes de iniciarse el ejercicio Timanfaya 98 que simulaba la atención a una reactivación del volcán Timanfaya, Lanzarote.

EJERCICIOS Y SIMULACROS

La gestión de una crisis volcánica involucra la participación de muchos profesionales pertenecientes a distintas administraciones, así como la operación de una compleja instrumentación. En muchos casos las crisis se inician bruscamente, debiéndose estar en condiciones de dar respuesta en pocas horas. Es por ello imprescindible que cada institución disponga de una planificación de cómo será su participación y evitar de esta

forma la improvisación. Debe conocerse de que instrumentación se dispone, en que estado se encuentra y cómo se opera, con su correspondiente documentación y elementos auxiliares.

Periódicamente, deben realizarse ejercicios donde se compruebe la eficiencia de la planificación y especialmente se pongan de manifiesto los fallos y carencias que ésta presente. Estos ejercicios pueden realizarse conjuntamente entre varias instituciones o por separado, pudiendo abarcar todos los campos de la gestión de la crisis volcánica o sólo aspectos concretos. En general, es conveniente preparar exhaustivamente la respuesta en los niveles más bajos de la crisis (1,2,3), ya que, en general, hay suficiente tiempo para preparar y discutir las actuaciones a niveles más altos (3,4,5), las cuales, muchas veces, dependen de cómo esté evolucionando la actividad. La población que vive cerca del volcán posee un alto grado de concienciación sobre la posible ocurrencia de una reactivación, por lo que es preciso anunciar con suficiente antelación la realización de un ejercicio de este tipo (figura 4).

BIBLIOGRAFÍA

- ARAMAKI, S.; BARBERI, F.; CASADEVALL, T.; MCNUTT, S. (1993). *Report of the IAVCEI sub-committee for reviewing the safety of volcanologists*. WOVO News, **4**: 12-14
- ARAÑA, V.; ORTIZ, R. (1993). *Riesgo Volcánico*. En Nuevas Tendencias en Volcanología. Martí, J. y Araña, V. Editores. CSIC., Madrid: 277-385
- ARAÑA, V.; ORTIZ, R. (1996). *Introducción al Riesgo Volcánico*. En Riesgo Volcánico. Ortiz, R. Editor. Serie Casa de los Volcanes, **nº 5**: 1-36
- ARAÑA, V. (1996). *La investigación Científica y la Mitigación del Riesgo Volcánico*. En Riesgo Volcánico, Ortiz, R. Editor. Serie Casa de los Volcanes, **nº 5**: 189-196
- BARBERI, F.; CORRADO, G.; INNOCENTI, F.; LUONGO, G. (1984). *Phlegrean Fields (1982-1984). Brief chronicle of a volcano emergency in a densely populated area*. Bull. Volcanol., **47**: 175-185
- CARDONA, O. (1997). *Management of the volcanic crises of Galeras volcano: social, economic and institutional aspects*. J. Volcanol. Geotherm. Res., **77**: 313-324
- CENAPRED. (1995). *Volcán Popocatepelt. Estudios realizados durante la crisis 1994-1995*. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México: 340 pp.
- COSTA, P.; LUONGO, G.; PANE, G.; TORO, S. (1989). *VOLCAN: Un sistema experto per la valutazione del rischio vulcanico*. Osservatorio Vesuviano Da l'Italia Processing S.p.A., Napoli: 20 pp
- DE LA CRUZ-REYNA, S. (1996). *Un código de alerta para el manejo de emergencias volcánicas*. En Riesgo Volcánico, Ortiz, R. editor. Serie Casa de los Volcanes, **nº 5**: 181-188
- DUBOIS, J.; CHEMINEE, J.L. (1991). *Fractal analysis of eruptive activity of some basaltic volcanoes*. J. Volcanol. Geotherm. Res., **45**: 197-208
- IAVCEI. SUBCOMMITTEE FOR CRISIS PROTOCOLS. (1999). *Professional conduct of scientist during volcanic crises*. Bull Volcanol., **60**: 323-334
- NEWHALL, C. (1995). *Dilemmas of volcanic crisis in urban areas*. Per. Mineral, **64**:17-19
- ORTIZ, R., (editor) (1996). *Riesgo Volcánico*. Serie Casa de los Volcanes. **nº 5**. Cabildo de Lanzarote. 304 pp.

ROTHERY, D. A. (1992). *Monitoring and warning of volcanic eruptions by remote sensing*. En Geohazards. Natural and man-made. McCall, Laming; Scott, Editores. Chapman & Hall, Londres: 227 pp.

TURCOTTE, D. L. (1989). Fractals in geology and geophysics. *PAGEOPH.*, **131**: 171-196

TURCOTTE, D. L.; OCKENDON, H.; OCKENDON, J. R.; COWLEY, S. J. (1990). *A mathematical model of vulcanian eruptions*. *Geophys. J. Int.*, **103**: 211-217

UNDRO/UNESCO. (1985). *Volcanic emergency management*. UNESCO. New York: 86 pp.