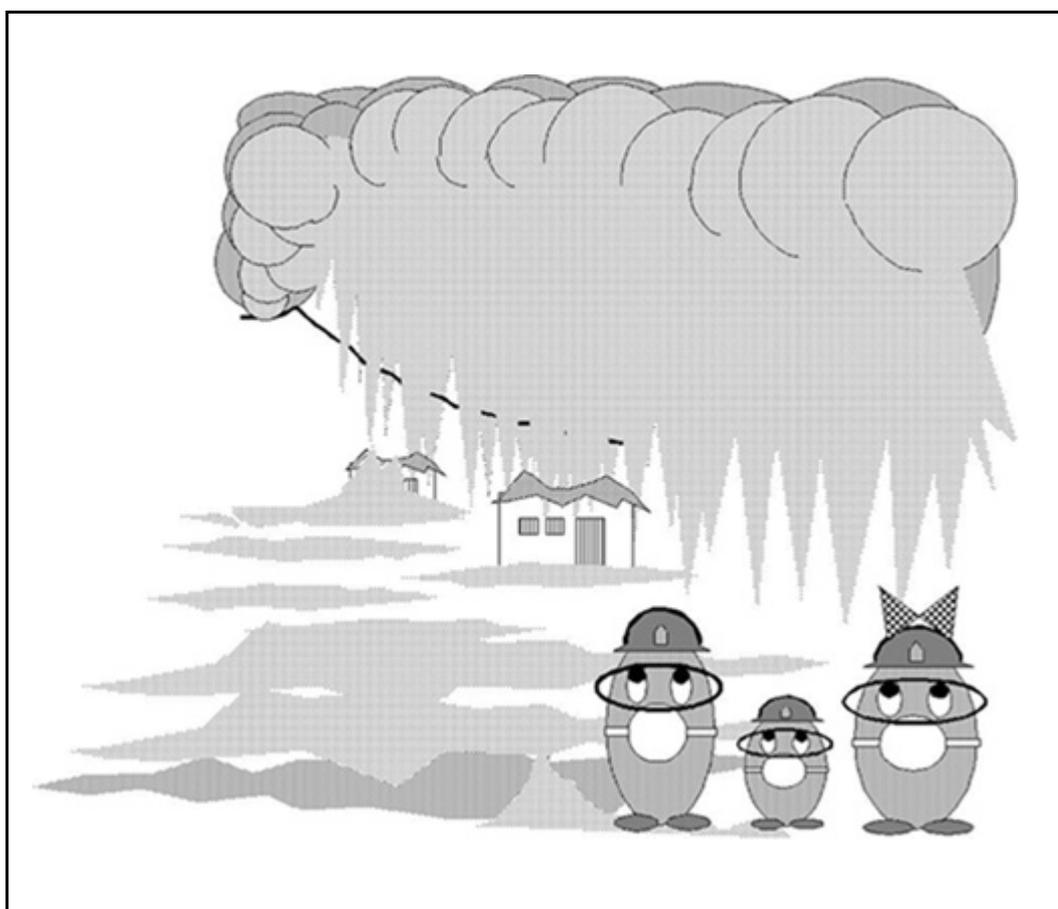


# RIESGO VOLCÁNICO



**Editor científico Ramón Ortiz (C.S.I.C.)**



**SERIE CASA DE LOS VOLCANES**

**Cabildo de Lanzarote**





Serie CASA DE LOS VOLCANES N° 5

# RIESGO VOLCÁNICO

**Editor científico Ramón Ortiz (C.S.I.C.)**



Servicio de Publicaciones  
Excmo. Cabildo de Lanzarote



## NOTA PREVIA

El presente volumen es la versión corregida y aumentada de un texto que se presentó inicialmente dentro de la Serie<sup>(\*)</sup> elaborada para nuestro Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica (CIVGV) como aportación del "Proyecto Teide" al estudio y divulgación de los temas que más interesan y preocupan en la Volcanología actual.

El CIVGV se imparte anualmente en la "Casa de Los Volcanes" del Cabildo Insular de Lanzarote, aunque algunos trabajos de campo se desarrollan en Tenerife, donde también se visitan las instalaciones para vigilancia sísmica y volcánica del Instituto Geográfico Nacional. Desde su primera edición (1986) la temática del Curso se ha centrado en el Riesgo Volcánico con especial atención al desarrollo instrumental, pero sin olvidar los aspectos físicos del fenómeno eruptivo y su modelización, así como la aplicación de las diversas técnicas de vigilancia: geodésicas, sísmicas, electromagnéticas y geoquímica de gases. Para el desarrollo de estos últimos aspectos son básicas las instalaciones de la Estación Geodinámica de Lanzarote con un equipamiento internacional que gestiona el Ito. de Astronomía y Geodesia del CSIC-UCM.

El CIVGV está organizado por el Departamento de Volcanología del Museo Nacional de Ciencias Naturales del CSIC, teniendo la consideración de Curso de Postgrado del CSIC y de varias universidades. Es asimismo un curso patrocinado por UNESCO y la IAVCEI. En su financiación participa especialmente la Dirección General de Investigación Científica y Técnica del Ministerio de Educación y Cultura. La Agencia Española de Cooperación Internacional (ACEI) colabora ofreciendo Becas para alumnos Latinoamericanos. Esta colaboración en forma de ayudas y becas también la han aportado UNESCO, el CSIC, el Gobierno Autónomo y las Instituciones Canarias, en especial el Cabildo Insular de Lanzarote, y varias organizaciones científicas como la European Science Foundation (ESF) y el Centre Européen de Géodynamique et Séismologie (ECGS).

El "Proyecto Teide" fue financiado por la Unión Europea dentro de su III Programa Marco de Investigación y Desarrollo en el área de Medio Ambiente, para Desastres Naturales-Riesgo Volcánico (Contrato EV5V-CT93-0283). Para esta investigación también se ha recibido financiación de la CICYT (Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, MEC). Por otra parte, el Teide es uno de los 6 Volcanes Laboratorio Europeos integrados en el Programa Volcanológico Europeo (EVOP) de la Fundación Europea de las Ciencias. También es uno de los 15 Volcanes de la Década, seleccionados por la Asociación Internacional de Volcanología (IAVCEI) para impulsar los esfuerzos de investigación que todos los países y organizaciones no gubernamentales están

---

(\*) Instrumentación en Volcanología I (1994)  
Instrumentación en Volcanología II. Sísmica (1994)  
Prevención de Erupciones y Protección Civil (1995)  
Sismología Volcánica (1995)

realizando en la "Década para la Mitigación de las Catástrofes Naturales", promovida por las Naciones Unidas para el último decenio de este siglo.

El hecho de que el sistema volcánico del Teide se encuentre activo, implica una peligrosidad latente que afecta de manera directa a gran parte de la isla de Tenerife y también, por sus efectos económicos y sociales, a todo el Archipiélago Canario. De ahí que la prevención de erupciones en Canarias y la mitigación de sus posibles daños, fuese el principal objetivo del "Proyecto Teide" en el que participaron decenas de volcanólogos de los principales Centros europeos de Investigación. Sin embargo, los resultados de esta investigación multidisciplinar del más alto nivel, trascienden el ámbito regional y son aplicables a la mayoría de los grandes volcanes activos. Esta circunstancia es la que justifica el enfoque de aplicación generalizada que tienen los artículos incluidos en este volumen, aunque lógicamente, en varios de ellos se parte de la experiencia, infraestructura y conocimientos específicos que ya tenemos en España sobre el Riesgo Volcánico.

La Serie "Casa de Los Volcanes" acogió ya en su nº 4 otro producto del Proyecto Teide (*A Field Guide to the Central Volcanic Complex of Tenerife*) y esperamos que un próximo número pueda dedicarse a la edición actualizada de "Instrumentación en Volcanología I y II", con las aportaciones que se desarrollen en el "Proyecto TEKVOL", también financiado por la Unión Europea en su IV Programa Marco I+D.

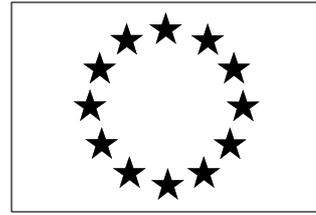
La edición de este volumen ha contado con el apoyo y patrocinio de los Organismos cuyos logotipos figuran en la siguiente página, a los que reiteramos nuestro agradecimiento, así como a Grant Heiken, presidente de la Asociación Internacional de Volcanología y Química del Interior de la Tierra (IAVCEI), por su amable presentación de este volumen.

**Vicente Araña**  
Coordinador del Proyecto Teide  
Jefe del Departamento de Volcanología, MNCN, CSIC

**Ramón Ortiz**  
Responsable del Proyecto TEKVOL-5  
Director del CIVGV



**Ciencias de la Tierra**



**EUROPEAN COMMISSION**  
Directorate Generale XII



**D.H.A.**  
Department of  
Humanitarian Affairs



**DIRECCION GENERAL DE  
PROTECCION CIVIL**



**EUROPEAN  
VOLCANOLOGICAL  
PROGRAM**

**IAVCEI**  
International Association of  
Volcanology  
and Chemistry of the Earth's Interior



**CASA DE LOS  
VOLCANES**  
Cabildo de Lanzarote



**CSIC**  
CONSEJO SUPERIOR DE  
INVESTIGACIONES  
CIENTIFICAS

## **COLABORADORES DE ESTA OBRA**

**Vicente Araña**

**Dep. Volcanología. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC.  
José Gutiérrez Abascal 2. 28006 Madrid**

**M. Mar Astiz**

**Dep. Matemática Aplicada. E.T.S. Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid  
Avda. Juan de Herrera s/n. 28040 Madrid**

**Servando De la Cruz-Reyna**

**Instituto de Geofísica UNAM - CENAPRED  
Ciudad Universitaria. 04510 México DF**

**Alicia Felpeto**

**Dep. Volcanología. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC.  
José Gutiérrez Abascal 2. 28006 Madrid**

**Alicia García**

**Dep. Volcanología. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC.  
José Gutiérrez Abascal 2. 28006 Madrid**

**Francisca Gomez-Fernández**

**GEOSYS SRL. Madrid**

**Claudia Eleonor Natenzon**

**PIRNA-Programa de Recursos Naturales y Ambiente  
Instituto de Geografía, FFyL/UBA;  
FLACSO-Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales  
Buenos Aires**

**Ramón Ortiz**

**Dep. Volcanología. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC.  
José Gutiérrez Abascal 2. 28006 Madrid**

**Juan A. Pérez Torres**

**Escuela de Logística del Ejército de Tierra  
Madrid**

**José Sansón Cerrato**

**Unidad de Protección Civil  
Delegación del Gobierno en Canarias  
Las Palmas de Gran Canaria**

# ÍNDICE

## PRESENTACIÓN

*G. Heiken*

1. INTRODUCCIÓN ..... 1  
*V. Araña y R. Ortiz*
  - 1.1. Planteamientos actuales de la volcanología
    - 1.1.1. Historia eruptiva del area volcánica
    - 1.1.2. Condiciones magmáticas
    - 1.1.3. Mecanismos eruptivos
    - 1.1.4. Ciclos magmáticos / Períodos de retorno. Aspectos probabilísticos
  - 1.2. Metodología del análisis del riesgo volcánico
    - 1.2.1. Definición del riesgo
    - 1.2.2. Impacto espacial de una catástrofe volcánica
    - 1.2.3. Protección y optimización del riesgo
    - 1.2.4. Volcanes de alto riesgo
    - 1.2.5. Seguimiento, pronóstico y predicción de erupciones
  - 1.3. Algunas reflexiones más sobre el riesgo volcánico y su mitigación
    - 1.3.1. Investigación, vigilancia, protección civil
    - 1.3.2. Volcanes y sociedad
    - 1.3.3. Planificación para afrontar una catástrofe volcánica
    - 1.3.4. Iniciativas IAVCEI/IDNDR
  - 1.4. Técnicas para la gestión de la catástrofe volcánica
    - 1.4.1. Bases de Datos
    - 1.4.2. Modelos
    - 1.4.3. Aplicaciones
  
2. DAÑOS QUE PUEDEN PRODUCIR LAS ERUPCIONES ..... 37  
*R. Ortiz y V. Araña*
  - 2.1. Peligrosidad volcánica
    - 2.1.1. Factores de peligro
    - 2.1.2. Magnitud de una erupción
    - 2.1.3. Metodología para la evaluación de la peligrosidad volcánica
  - 2.2. Vulnerabilidad
    - 2.2.1. Coladas lávicas
    - 2.2.2. Coladas y oleadas piroclásticas. Nubes ardientes
    - 2.2.3. Proyección balística
    - 2.2.4. Dispersión y caída de piroclastos
    - 2.2.5. Explosiones dirigidas
    - 2.2.6. Gases volcánicos
    - 2.2.7. Colapso del edificio volcánico
    - 2.2.8. Lahares
    - 2.2.9. Ondas de presión
    - 2.2.10. Tormentas
    - 2.2.11. Deformación del terreno
    - 2.2.12. Terremotos volcánicos
    - 2.2.13. Tsunamis
  - 2.3. Erupciones volcánicas y salud

3.	<b>MAPAS DE RIESGO. MODELIZACIÓN .....</b>	<b>67</b>
	<i>A. Felpeto; A. García y R. Ortiz</i>	
	3.1. <u>Mapas de peligros y riesgos volcánicos</u>	
	3.1.1. Zonificación	
	3.1.2. Mapas volcanológico, administrativo y educativo	
	3.1.3. Metodología para construir los mapas de peligros y riesgo volcánicos	
	3.2. <u>Modelización numérica en mapas de peligrosidad volcánica</u>	
	3.2.1. Flujos lávicos	
	3.2.2. Flujos piroclásticos	
	3.2.3. Caída de cenizas	
	3.3. <u>Modelo de desarrollo y mapa de riesgo</u>	
4.	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO. SIMULACIONES .....</b>	<b>99</b>
	<i>M. Astiz; A. García y R. Ortiz</i>	
	4.1. <u>Historia eruptiva</u>	
	4.1.1. Ejemplo de evaluación del riesgo	
	4.1.2. Sistemas complejos	
	4.2. <u>Simulación de una crisis volcánica</u>	
	4.2.1. Simulación de evacuaciones	
	4.2.2. Ejemplos de aplicación	
5.	<b>LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GIS) EN LA EVALUACIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO .....</b>	<b>123</b>
	<i>F. Gómez</i>	
	5.1. <u>Aplicación a la isla de Tenerife</u>	
	5.1.1. Desarrollo metodológico	
	5.1.2. Análisis del área probable de erupción	
	5.1.3. Identificación de mecanismos eruptivos y factores de peligro	
	5.1.4. Generación de escenarios de riesgo	
	a) evaluación del riesgo potencial para flujos lávicos	
	b) evaluación del riesgo potencial para depósitos de caída	
	5.2. <u>Aplicaciones en protección civil</u>	
6.	<b>GESTIÓN DE ALARMAS EN UNA CRISIS VOLCÁNICA .....</b>	<b>155</b>
	<i>R. Ortiz y V. Araña</i>	
	6.1 <u>Sistema de alarma</u>	
	6.1.1. Establecimiento de una alarma	
	6.2 <u>Determinación de los niveles de alarma.</u>	
	<u>Organización científica. Costo y dificultades</u>	
	6.3 <u>Seguridad aérea y comunicación de la actividad volcánica</u>	
7.	<b>UN CÓDIGO DE ALERTA PARA EL MANEJO DE EMERGENCIAS VOLCÁNICAS .....</b>	<b>181</b>
	<i>S. De la Cruz-Reyna</i>	
	7.1 <u>Marco teórico</u>	
	7.2 <u>Mecanismos de defensa activa para la protección civil</u>	
	7.3 <u>Niveles de alerta</u>	
	7.3.1. Criterios para el retorno a un nivel mas bajo	

8.	<b>LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y LA MITIGACIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO .....</b>	<b>189</b>
	<i>V. Araña</i>	
	<b>8.1. <u>Equipo de volcanólogos-investigación volcanológica</u></b>	
	<b>8.1.1. Integración de especialistas</b>	
	<b>8.1.2. Participación internacional en los grupos de trabajo</b>	
	<b>8.2. <u>Cuestiones que deben responder los volcanólogos</u></b>	
9.	<b>LA PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO DE ERUPCIONES VOLCÁNICAS .....</b>	<b>197</b>
	<i>J. Sansón</i>	
	<b>9.1. <u>Protección Civil en España</u></b>	
	<b>9.2. <u>El riesgo volcánico en España</u></b>	
	<b>9.3. <u>Zonificación del riesgo volcánico en las Islas Canarias</u></b>	
	<b>9.4. <u>Planes de emergencia ante el riesgo volcánico</u></b>	
	<b>9.4.1. El plan estatal ante el riesgo volcánico</b>	
	<b>9.4.2. El plan de comunidad autónoma ante el riesgo VOLCÁNICO</b>	
10.	<b>COLABORACIÓN DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPAÑOLAS EN CASO DE DESASTRE NATURAL .....</b>	<b>217</b>
	<i>J. A. Pérez-Torres</i>	
	<b>10.1. <u>Panorama legislativo</u></b>	
	<b>10.2. <u>Condiciones de actuación</u></b>	
	<b>10.3. <u>Actividades a desarrollar</u></b>	
	<b>10.4. <u>Planeamiento logístico</u></b>	
11.	<b>VOLCANISMO Y COMUNICACIÓN SOCIAL .....</b>	<b>223</b>
	<i>C. E. Natenzon</i>	
	<b>11.1. <u>Metodología</u></b>	
	<b>11.2. <u>Resultados</u></b>	
	<b>11.2.1. Importancia de la noticia</b>	
	<b>11.2.2. Temas</b>	
	<b>a) descripción de la erupción y los fenómeno asociados</b>	
	<b>b) medidas frente a la erupción y sus consecuencias</b>	
	<b>c) consecuencias sociales</b>	
	<b>d) incidencia en infraestructura y comunicación</b>	
	<b>e) consecuencias económicas y ecológicas</b>	
	<b>f) relaciones políticas e internacionales</b>	
	<b>11.3. <u>Cifras publicadas</u></b>	
	<b>11.4. <u>Artículos del diario Clarín relacionados con la erupción del volcán Hudson</u></b>	

<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>245</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>259</b>
<b>Preguntas y respuestas</b>	
<b>Instrumentación de una crisis volcánica</b>	
<b>Normas de Seguridad para volcanólogos</b>	
<b>Plan familiar de protección civil</b>	
<b>Ejemplo de documentos y formularios</b>	
<b>Los peligros volcánicos. Guía educativa</b>	
<b>Normativas legales</b>	

## **PRESENTACIÓN**

**Catorce países de habla hispana tienen volcanes y peligros volcánicos. En las últimas décadas han tenido lugar crisis eruptivas y desastres en México, Guatemala, Costa Rica, Colombia, Ecuador y Chile, sacudiendo la atención popular. Algunos de estos desastres, incluyendo la pérdida de 22.000 vidas ocurrida durante la erupción del Nevado del Ruiz, Colombia, podrían haberse evitado de haber existido una adecuada formación y educación de los responsables públicos y una mejor comunicación de estos con la comunidad científica.**

**Una de las recomendaciones propuestas por el comité de la Asociación Internacional de Volcanología y Química del Interior de la Tierra (IAVCEI), creado con motivo de la proclamación por la ONU de la Década Internacional para la Mitigación de los Desastres Naturales (IDNDR), es dedicar un mayor esfuerzo a la divulgación de la naturaleza del peligro y riesgo volcánico entre los técnicos y responsables de la Protección Civil y de la población afectada. La comunidad volcanológica española ha sabido recoger este encargo preparando este volumen de carácter multidisciplinar, para volcanólogos y técnicos de la administración pública.**

**Este libro, moderno y comprensible sobre el Riesgo Volcánico, viene a llenar el hueco existente entre la ciencia y la protección civil. Aquí se recogen los últimos avances en la evaluación del riesgo volcánico integrando los conocimientos geológicos y geofísicos con los sistemas de información geográfica. Se aborda también la elaboración de mapas de riesgo volcánico y modelos eruptivos, con una importante componente gráfica, encaminada a facilitar efectivamente la comunicación entre los volcanólogos y la población. Asimismo se plantea la organización del trabajo en caso de crisis entre volcanólogos, técnicos de protección civil, militares y población, siendo especialmente importante, la conexión entre todos los estamentos implicados para la mitigación efectiva del peligro volcánico.**

**Debemos felicitar a autores y editores de "Riesgo Volcánico" por publicar este excelente y actual texto. La implantación de la experiencia, metodología y aspectos sociales aquí recogidos contribuirán sin duda a salvar muchas vidas.**

**Grant Heiken  
Presidente de la IAVCEI**

# 1 INTRODUCCIÓN

V. Araña y R. Ortiz

## 1.1. PLANTEAMIENTOS ACTUALES DE LA VOLCANOLOGÍA <sup>1</sup>

La volcanología es una ciencia joven que ha experimentado un considerable avance en estos últimos veinte años, existiendo buenas escuelas de volcanólogos y una amplia literatura al respecto (Araña y Ortiz 1984, Cas y Wright 1987, Wohletz y Heiken 1992). Sin embargo, el estudio de la actividad volcánica en una región cambia substancialmente cuando va dirigido a la evaluación de la peligrosidad volcánica (Blong 1984, Tilling 1989). Debe plantearse el estudio del volcán en dos frentes: por una parte hay que conocer cual es el estado del volcán a través de su historia eruptiva, de los magmas que intervienen, de sus ciclos de evolución magmática y de los distintos mecanismos eruptivos. Por otra parte se deben individualizar los peligros volcánicos asociado a cada estado evolutivo, determinando su período de retorno y los parámetros que lo caracterizan.

¿Que representa el riesgo volcánico? ¿Cómo puede hacerse frente a la catástrofe volcánica? ¿Cual es la situación social de la volcanología?... Dos circunstancias enmarcan hoy los trabajos sobre volcanismo activo: los grandes programas internacionales de investigación volcanológica que estudian los *volcanes laboratorio* europeos o los *volcanes de la década* (ver Fig. 1.1) y el haberse apagado ya la euforia que la erupción del St. Helens provocó en todo el mundo científico incitando al estudio del riesgo volcánico, sobrevalorando el impacto del volcán en el medio económico y social.

Una reciente revisión de los desastres naturales ha centrado la catástrofe volcánica en su justo término (2% en pérdidas del total de las catástrofes), lo que contribuye a desarrollar una política realista de mitigación del riesgo volcánico a largo plazo y de cobertura mundial. Hoy también se tiende a analizar el impacto del fenómeno volcánico en paralelo con los otros desastres naturales, con la finalidad de desarrollar una política de mitigación homogénea (McCall et al., 1992, Alexander, 1993; Kovach, 1995), A la vez que se desarrollan nuevas herramientas que facilitan la toma de decisiones en situaciones críticas (Funtowicz y Ravetz, 1995).

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 cuales son sus mecanismos eruptivos, de establecerlos correspondientes modelos

---

<sup>1</sup> En trabajos recientes hemos abordado repetidamente el Riesgo Volcánico, especialmente en sus aspectos más científicos. No es de extrañar que en esta introducción repitamos casi literalmente lo que expusimos en La Volcanología Actual (Araña y Ortiz 1993)

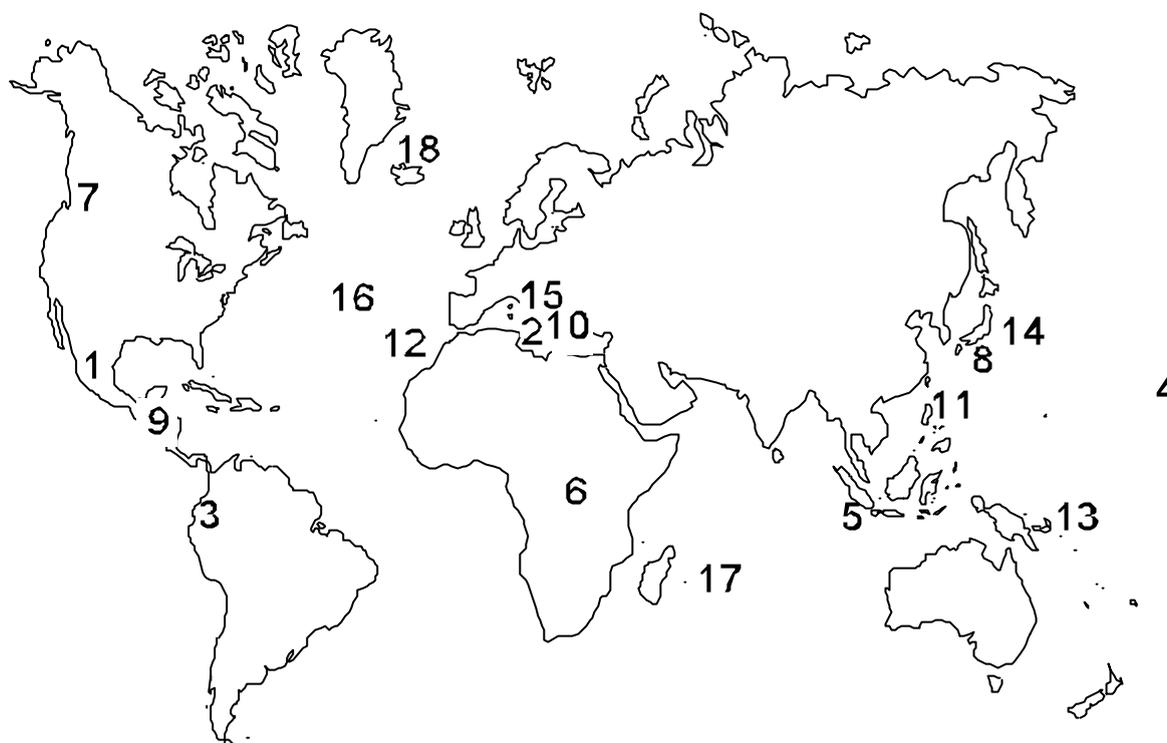
de estos mecanismos y de determinar cual es el estado de reposo en esta área volcánica activa. En la mayoría de los estos casos, bastan unos pocos instrumentos operando en la zona unas pocas semanas cada uno o dos años, aunque debe estar perfectamente establecido como, quien y con qué hay que intervenir en caso de crisis.

Distinto es el caso de aquellos volcanes que ya están en crisis o que presentan una actividad persistente. En estos volcanes, y más para aumentar nuestro conocimiento de como es y como funciona ese volcán, 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, 1990). 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.

Los volcanólogos han tomado conciencia de que no todos los volcanes son iguales y que a efectos de vigilancia y peligro potencial no es lo mismo un volcán con actividad continua que un sistema volcánico en evolución (por ejemplo un domo o una caldera en formación), que una zona donde ocasionalmente se desencadenan erupciones fisurales con magmas que ascienden muy rápidamente y cuyos períodos de retorno pueden ser de muchos años. Cada uno de estos casos debe ser estudiado especialmente y establecer aquellos protocolos de actuación que resulten más adecuados. Tampoco debe confundirse la investigación científica de aspectos particulares de la actividad volcánica con los trabajos rutinarios de vigilancia y evaluación del riesgo.

Revisando los boletines del Global Volcanism Network (antes SEAN, también de la Smitshonian Institution) de los últimos años, puede comprobarse la reiterada referencia a la actividad, más o menos intensa de determinados volcanes. Algunos de estos volcanes son viejos conocidos (Kilauea, Etna, Sakurajima), mientras que otros saltaron bruscamente a la popularidad por sus efectos catastróficos tras despertarse violentamente de un prolongado sueño (St. Helens, Nevado del Ruiz, Pinatubo por ejemplo). Es obvio que ambos grupos de volcanes son ahora permanentemente observados, por lo que a ellos se refiere la gran mayoría de las experiencias instrumentales, máxime si estos volcanes se encuentran en países desarrollados. Otro grupo de volcanes, con igual o mayor actividad que los citados, recibe menos atención, bien porque sus períodos de actividad son más efímeros o bien porque se trata de volcanes localizados en zonas poco accesibles o alejadas, en países con menor nivel tecnológico. Dada la imposibilidad de abordar en un próximo futuro el estudio intensivo de todos los volcanes activos y potencialmente peligrosos, se tiende a concentrar los esfuerzos de la investigación volcanológica en un número reducido de volcanes significativos

o representativos por sus erupciones, estructuras, entorno socio-económico, etc.



**Figura 1-1** Volcanes de la Década y Volcanes Laboratorio Europeos

<b>Volcanes elegidos para ser objeto de estudio especial durante la Década Internacional para la Mitigación de los Desastres Naturales(1990-2000).</b>		
<b>1 Colima, Mexico</b>	<b>6 Niragongo, Zaire</b>	<b>11 Taal, Filipinas</b>
<b>2 Etna, Italia</b>	<b>7 Rainer, USA</b>	<b>12 Teide, España</b>
<b>3 Galeras, Colombia</b>	<b>8 Sakurajima, Japón</b>	<b>13 Ulawun, Papua Nueva Guinea</b>
<b>4 Mauna Loa, USA</b>	<b>9 Santa Maria, Guatemala</b>	<b>14 Unzen, Japón</b>
<b>5 Merapi, Indonesia</b>	<b>10 Santorín, Grecia</b>	<b>15 Vesuvio, Italia</b>

<b>Volcanes Laboratorio Europeos</b>		
<b>2 Etna, Italia</b>	<b>10 Santorín, Grecia</b>	<b>17 Piton de la Fournaise, Francia</b>
<b>12 Teide, España</b>	<b>16 Furnas, Portugal</b>	<b>18 Krafla, Islandia</b>

La declaración por Naciones Unidas de la Década Internacional para la Mitigación de los Desastres Naturales (IDNDR) ha conducido a la Comisión para la Mitigación de Desastres Volcánicos de la Asociación Internacional de Volcanología (IAVCEI) a seleccionar 15 volcanes en todo el mundo, para su estudio y vigilancia por equipos internacionales durante la citada IDNDR, 1990-2000. Los logros obtenidos en estos trabajos de carácter multidisciplinar podrán, en cierta forma, aplicarse a volcanes que por distintas circunstancias no pueden ser objeto de un estudio profundo (Newhall 1994).

En este mismo sentido la Unión Europea ha impulsado un importante programa para mejorar el conocimiento de los volcanes europeos, así como para el desarrollo de nuevas tecnologías aplicables a la investigación volcanológica que conduzcan a mitigar el riesgo volcánico. Para ello se han elegido seis volcanes laboratorio (Krafla, en Islandia, Furnas en Azores, Teide en Canarias, Pitón de la Fournaise en Reunión, Etna en Sicilia y Santorín en las Islas Egeas) que son objeto de un programa integrado de investigación. En este mismo programa se incluye el desarrollo de instrumentación y de metodología para la modelización de los fenómenos volcánicos. Asimismo, se espera que todos los volcanes calificados de alto riesgo, la mayoría en países en vías de desarrollo, cuenten lo antes posible con sistemas de vigilancia eficaces y con planes de emergencia específicos para la protección de la población civil en caso de crisis eruptivas.

De acuerdo con las resoluciones de diferentes congresos y conferencias, y en consonancia con las consideraciones anteriores, pueden aventurarse los derroteros que la Volcanología seguirá en este cambio de siglo, y que no difieren mucho de los que seguirán otras Ciencias de la Tierra con componentes socioeconómicos. 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. En lo referente a la política científica, se pretende compaginar el interés socio-político por 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 erupciones como las de St. Helens (año 1980=60 víctimas), Chichón (1982=2000), Nevado del Ruiz (1985=22.000), Lago Nyos (1986=1.700) comparables a las de erupciones ocurridas a principios de siglo: Soufriere (1902=1.600), Mt. Pele (1902=29.000), Sta. María (1902=6.000), Taal (1911=1300).

Además, en estos últimos años hemos presenciado el fracaso estrepitoso de las técnicas de predicción de erupciones consagradas a partir de las experiencias de Hawaii o del Mont St. Helens: 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 solo pequeños precursores. Finalmente la tragedias del Unzen (Japón 1991) con la muerte del matrimonio Kraft y otras 30 personas por un fallo de previsión y especialmente la del Galeras, en 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 hancuestionado aún más la infalibilidad de la vigilancia.

Hoy los volcanólogos ante una crisis se enfrentan a una serie de dilemas, como son el pronóstico de la actividad del volcán, la metodología de trabajo a elegir y la comunicación con los agentes sociales (Newhall, 1995). En cualquier caso, la implicación socio-económica del volcanismo impide que la futura investigación volcanológica pueda encerrarse en aspectos puramente académicos o elucubrativos, 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 han surgido núcleos de coordinación y grupos de trabajo específicos en el seno de la Asociación Internacional de Volcanología, o de otras Organizaciones como la Fundación Europea de las Ciencias con su Programa Europeo de Volcanología o bien con referencia al marco geográfico como el Grupo de Trabajo *ad hoc* para la mitigación del riesgo volcánico en el área del Océano Pacífico.

### 1.1.1. Historia eruptiva del area volcánica

El estudio de la historia eruptiva de un volcán no tiene otro objeto que modelizar las pasadas erupciones para prevenir el desarrollo de las futuras. Esta modelización requiere en primer lugar el conocimiento de las condiciones físicas del magma antes y durante la erupción. Tales condiciones están asociadas al marco geodinámico del area volcánica (Araña 1988) y se deducen principalmente mediante estudios petrológicos (texturales, mineralógicos, geoquímicos, isotópicos), siendo básico el conocimiento de los siguientes parámetros (Araña y Ortiz 1993):

- a) Profundidad, forma y dimensiones de la cámara magmática, si la hubiere.
- b) Distribución, densidad, forma y anchura de los conductos de emisión a niveles someros.
- c) Profundidad a la que se produce la vesiculación del magma y la posible interacción con acuíferos.
- d) Contenido en H<sub>2</sub>O y temperatura del magma.

Las propias estructuras volcánicas nos proporcionan información sobre alguno de los parámetros que se acaban de mencionar. Así, la formación de calderas, tras la emisión de magmas ácidos, debe tomarse como una evidencia de la presencia de cámaras magmáticas someras. Por otra parte, en cada volcán hay que reconocer todos los mecanismos eruptivos que han actuado a lo largo de su historia, observando especialmente si hay alguna secuencia

o correlación entre ellos, dentro de una misma erupción en crisis sucesivas. De estos mecanismos, los más importantes son los explosivos, por lo que se dedica una mayor atención a los productos piroclásticos:

- a) Dispersión y volumen
- b) Tamaño de grano y porosidad
- c) Proporción y caracterización de lógicos (estratigrafía, hidrotermalismo)

El propio concepto de *historia eruptiva* requiere la participación del factor tiempo en cualquier modelo que se elabore. Interesa conocer cuando y por qué se inicia la actividad volcánica en una zona o en un punto determinado. Es prácticamente imposible disponer de un calendario con todas las erupciones de un volcán, pero debe intentarse al menos la identificación de los períodos de actividad que pueden asociarse con ciclos evolutivos de una cámara magmática. Cuando pueden caracterizarse estos ciclos, y especialmente el último de los acaecidos, se está en las mejores condiciones para elaborar modelos realmente útiles para la prevención del riesgo volcánico.

### 1.1.2. Condiciones magmáticas

Lo normal es que las condiciones magmáticas bajo un volcán varíen considerablemente a lo largo de su historia eruptiva, como se deduce de la variada composición química y mineralógica de los materiales emitidos. La expresión más significativa de esta variación es la que experimenta su contenido en  $\text{SiO}_2$  y que se asocia normalmente a la evolución del propio magma en un sistema cerrado aunque también puede deberse a procesos de asimilación o mezcla de magmas. Los magmas no sólo evolucionan en las cámaras, sino que en los mismos conductos eruptivos puede desarrollarse una cristalización fraccionada, provocando importantes diferencias en la reología, el quimismo y mineralogía de las lavas emitidas a lo largo de la erupción. Por otra parte, casi siempre, la fase que precede inmediatamente a la erupción se desarrolla en un sistema abierto donde la influencia de agentes externos al magma puede ser importante (Araña y Ortiz, 1993).

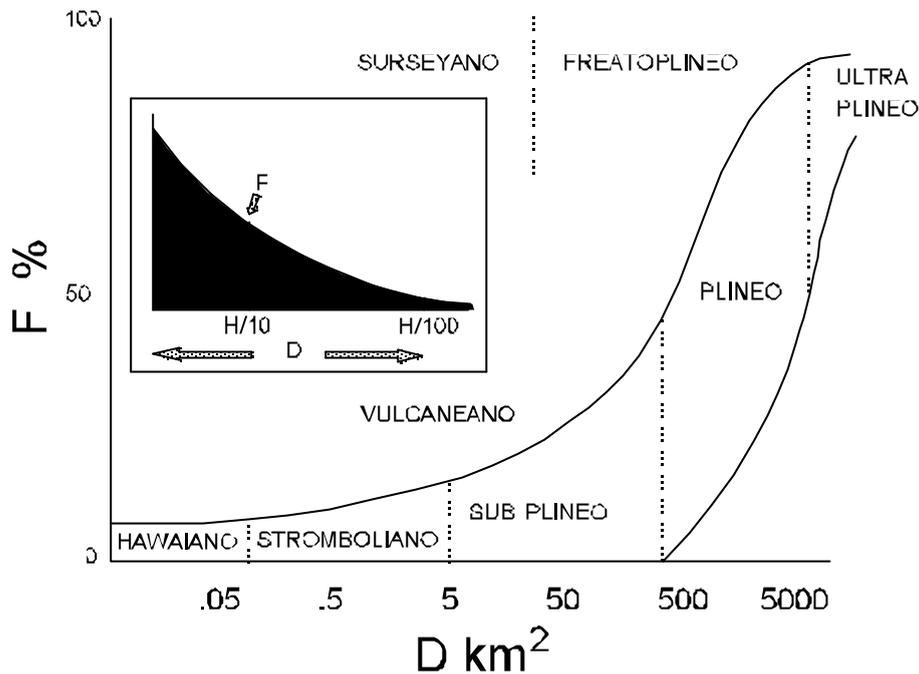
Es evidente que la generación y ascenso de magma bajo una determinada zona, no implica necesariamente su erupción. En este sentido, juega un papel importante la evolución del magma retenido temporal o definitivamente en los conductos o cámaras magmáticas someras. En general, todas las lavas tienen menos de un 60% de fenocristales lo que implica que por encima de esta cristalinidad crítica son demasiado viscosas para alcanzar la superficie y se quedan formando plutones. La profundidad y dimensiones de las cámaras magmáticas someras puede determinarse por métodos geofísicos, pero tales parámetros, en ciclos eruptivos anteriores, deben obtenerse por minuciosos estudios petrológicos, basados generalmente en los desequilibrios radioactivos y en la estabilidad de determinados elementos químicos durante los procesos de cristalización fraccionada que tienen lugar en las cámaras.

Más simple parece el establecimiento de las condiciones del magma cuando éste accede directamente desde sus zonas de generación, sin detenerse en cámaras someras. En este caso, parece que la cristalización del fundido basáltico ocurre en el conducto, por encima del nivel de separación de la fase gaseosa. Esta cristalización está por lo tanto condicionada por la dinámica eruptiva y ha podido establecerse experimentalmente una estrecha correlación entre la textura de las rocas emitidas como lavas o escorias, y las condiciones magmáticas existentes durante la erupción.

Estas sencillas consideraciones petrológicas para deducir las condiciones del magma, son extrapolables a la generalidad de los volcanes basálticos, y proporcionan una buena herramienta para prevenir la evolución de futuras erupciones, comparando la textura de las rocas que se emiten sucesivamente. Sin embargo, también hay que tener en cuenta que, a veces, la separación de la fase gaseosa a mayor profundidad, o la interacción con acuíferos, o la cristalización fraccionada en el conducto, conducen no sólo a variaciones texturales en la roca sino a la aparición de distintas fases minerales con o sin variación en el quimismo total.

### 1.1.3. Mecanismos eruptivos

Cuando la actividad de un área volcánica está caracterizada por la efusión de coladas lávicas, la reconstrucción de su historia eruptiva debe incidir en la posible migración de sus bocas eruptivas y en el volumen de magma arrojado en sucesivas erupciones, que pueden o no referirse a ciclos o pulsos en el ascenso magmático y la actividad tectónica. En estos casos, es importante definir el marco geodinámico que condiciona las directrices volcano-tectónicas, asociadas generalmente a grandes fracturas por las que los magmas basálticos acceden a niveles superficiales. La geomorfología y las técnicas fotogramétricas son de gran utilidad tanto para correlacionar las secuencias eruptivas con la actividad tectónica regional, como para evaluar los volúmenes y dispersión del material lávico arrojado en sucesivos períodos de actividad.



**Figura 1-2** Clasificación de las erupciones explosivas basada en el área cubierta  $D$  (en  $\text{km}^2$ ) encerrada por la isopaca  $1/100$  del espesor máximo y la fragmentación  $F$  definida como % de finos menores a  $1\text{ mm}$  en cruce del eje de dispersión con la isopaca de  $1/10$  del espesor máximo. Adaptado de Walker (1981) en Araña y Ortiz (1984).

Actualmente se pone el mayor énfasis en la reconstrucción de las fases explosivas de la historia eruptiva de un volcán, dada su mayor peligrosidad al desprenderse grandes cantidades de energía en breves lapsos de tiempo. La característica fundamental de estas erupciones explosivas es la fragmentación de los materiales emitidos violentamente (piroclastos), en cuyos depósitos puede reconocerse la magnitud y el origen de las explosiones (Martí y Araña 1993).

El estudio de estos depósitos piroclásticos presenta dos tipos de dificultades. Por una parte la discontinuidad de los depósitos y su fácil deterioro erosivo impiden obtener buenas secuencias estratigráficas. Por otra parte, es muy similar el aspecto de depósitos formados por distintos procesos. Incluso puede ser difícil distinguir entre los depósitos piroclásticos de origen puramente magmático y los de origen hidromagmático. La identificación clara de estos últimos tiene el máximo interés, ya que representan fases de gran peligrosidad que pueden ser objeto de predicción en futuras erupciones que sigan pautas con antecedentes bien estudiados.

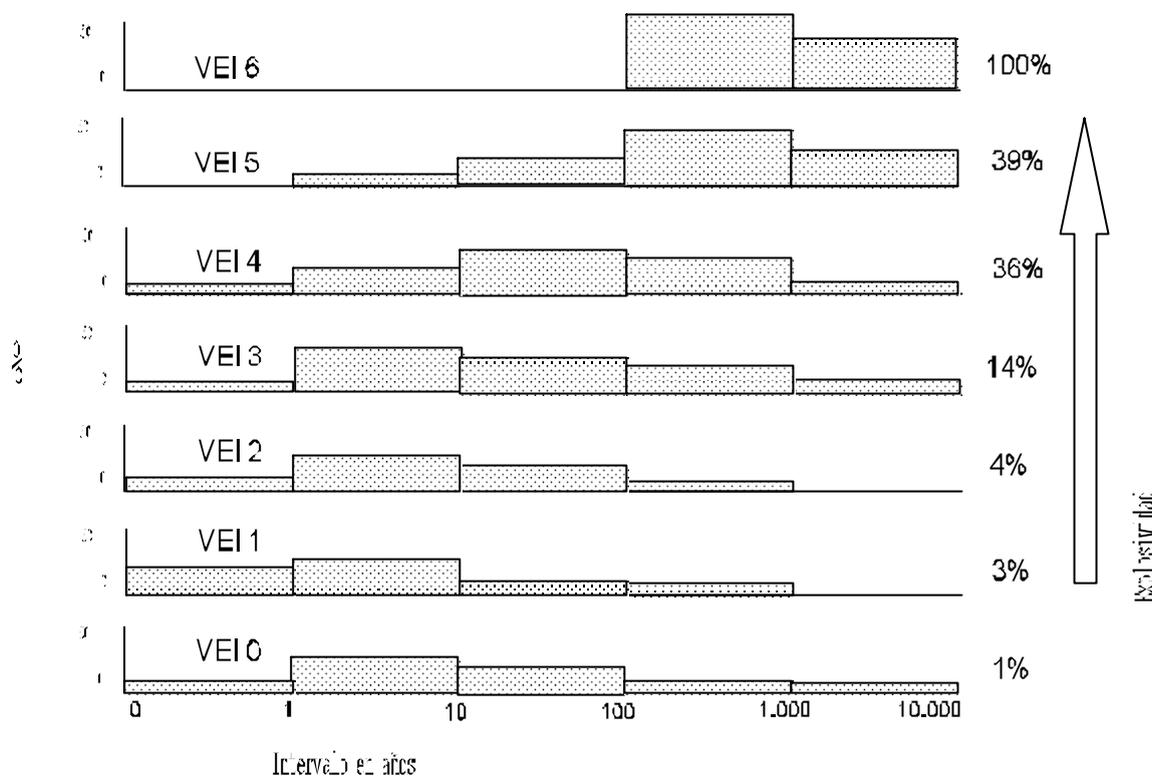
#### 1.1.4. Ciclos magmáticos. Períodos de retorno. Aspectos probabilísticos

Cada tipo de volcán tiene una vida media estimada, pero en este parámetro es determinante

el origen del magmatismo y el marco geodinámico. En cualquier caso hay que distinguir entre los escudos basálticos alimentados casi directamente desde zonas muy profundas, y los estratovolcanes alimentados desde unas cámaras someras, que son periódicamente vaciadas por erupciones y rellenadas desde zonas profundas. Sin embargo, también aquí puede haber una transición ya que no es extraño que los escudos basálticos terminen convirtiéndose en estratovolcanes (Araña y Ortiz, 1993). La identificación de cambios regulares o secuencias en la actividad volcánica no tiene porque referirse exclusivamente a los grandes ciclos magmáticos, ya que hay otras pautas de menor entidad que, correctamente interpretadas, proporcionan importantes elementos de predicción.

La estimación de la probabilidad de que ocurra una erupción en uno cualquiera de los volcanes que existen en la Tierra debe hacerse a partir de los datos del catálogo (Simkim y Siebert 1994), el cual recoge unas 9.000 erupciones en 10.000 años, que es una muestra muy incompleta, mas aún si tenemos presente que la mayor parte de las erupciones catalogadas corresponde a los últimos 250 años. La muestra resulta todavía menos significativa si pretendemos estimar la probabilidad de que ocurra una erupción altamente explosiva en un determinado volcán. Si también consideramos que el sistema volcánico puede presentar largos períodos de reposo o responder a determinadas secuencias, todavía es más acusada la insuficiencia del tamaño de la muestra en relación con los períodos que pretendemos determinar. Todo ello, admitiendo que el volcán "juega a los dados" e ignorando que es un sistema que evoluciona de una determinada forma, con procesos de génesis y aporte de magma, ascenso de éste a través de la corteza, almacenamiento en cámaras, procesos de evolución magmática, interacción con el agua, etc.

A nivel mundial, es posible estudiar la distribución de los períodos de retorno para los distintos tipos de erupciones, basándonos en el catálogo de volcanes activos y ordenándolos según el índice de explosividad VEI (Newhall y Self 1982, vermas adelante 2.2.1, pag 39 de este volumen). El problema es que para las erupciones más catastróficas, las más interesantes a nivel de estudios de riesgo volcánico, la muestra es muy pequeña y por consiguiente su indeterminación es grande. Además, el catálogo es temporalmente incompleto, con muchos datos en los 200 últimos años, que evidentemente es un período de muestreo muy pequeño frente a los períodos de retorno que exhiben la mayor parte de los volcanes, especialmente para sus erupciones más violentas. Así, para erupciones con VEI 8 se obtiene un período de retorno de 100000 años para un intervalo de muestreo de 10000 años, pero si solo consideramos los últimos 300 años obtenemos un período de retorno de solo 4800 años, consecuencia de la ocurrencia de la violenta erupción del Tambora en 1751.



**Figura 1-3** Índice de explosividad e intervalo entre erupciones (Simkin y Siebert 1994).

En general se observa que la pauta para el volcanismo explosivo es el presentar largos períodos de inactividad, siendo tanto mayor la violencia de la erupción cuanto mayor sea el período de reposo precedente. El escaso número de grandes erupciones explosivas bien estudiadas hace aventurada cualquier hipótesis. Siempre deberíamos tener presente que la descripción estadística simplemente suple nuestra falta de conocimiento de la física de los procesos volcánicos. Un sistema volcánico no es un sistema Poisson, ya que, de hecho, se produce en el volcán una serie de procesos encadenados, perfectamente claros: ascenso del magma, almacenamiento y evolución en cámaras magmáticas y erupción. Esto es especialmente importante para las grandes erupciones explosivas, en las que intervienen volúmenes de magma que superan el  $\text{km}^3$ , es por ello que después de una gran erupción, este tipo de volcanes queda en reposo durante varios centenares de años y, en general, la magnitud de la erupción es tanto mayor cuanto más largo ha sido el período de reposo.

Una aproximación estadística que permite representar diversos estados de la actividad del volcán es la Cadena de Markov. Una cadena de Markov es una sucesión de estados en el tiempo (o espacio) cuya probabilidad de transición de un estado  $X_i$  al siguiente estado  $X_j$  depende únicamente del estado  $X_i$ . En una cadena de este tipo las probabilidades de transición entre los distintos estados dependen únicamente del estado precedente y no del

camino seguido para llegar a él. Se admite que el sistema es estacionario, es decir, la probabilidad de transición entre  $t$  y  $t+dt$  depende únicamente de  $dt$ .

Un caso particular de cadenas de Markov, de gran interés práctico para la modelización de la actividad volcánica, es el que corresponde a un sistema de  $n$  estados discretos  $X_i$  conectados mediante transiciones cuya probabilidad de transición del estado  $X_i$  al  $X_j$  viene dada por  $\lambda_{ij}$ . El sistema se representa mediante una matriz de  $n \times n$  elementos  $\lambda_{ij}$ . La condición de normalización exige:

$$\lambda_{ii} = 1 - (\lambda_{i1} + \lambda_{i2} + \lambda_{i3} + \dots)$$

La aplicación de las matrices de Markov al estudio de la actividad volcánica (Wickman, 1976) permite construir modelos complejos en los que se simulan los procesos de génesis y transporte de magma, la interacción con acuíferos, la alternancia de erupciones más o menos violentas, etc.

La aplicación práctica de estos modelos exige disponer de una excelente cronología de todos los eventos ocurridos en el volcán para poder calcular los distintos coeficientes de la matriz de Markov. Seguidamente, mediante un método de Montecarlo, se pueden generar distintas secuencias que después son comparadas con las obtenidas por el estudio en campo del volcán. Este proceso permite ir mejorando el ajuste de los distintos coeficientes que constituyen la matriz, así como poner de manifiesto la existencia de determinadas pautas en el comportamiento eruptivo del volcán. El modelo más elemental corresponde a un volcán en el que sólo se presentan dos estados:  $R$ , reposo y  $E$ , erupción. En este caso la matriz de Markov correspondiente sería:

$$\begin{pmatrix} 1 - \lambda_{RE} & \lambda_{RE} \\ \lambda_{ER} & 1 - \lambda_{ER} \end{pmatrix}$$

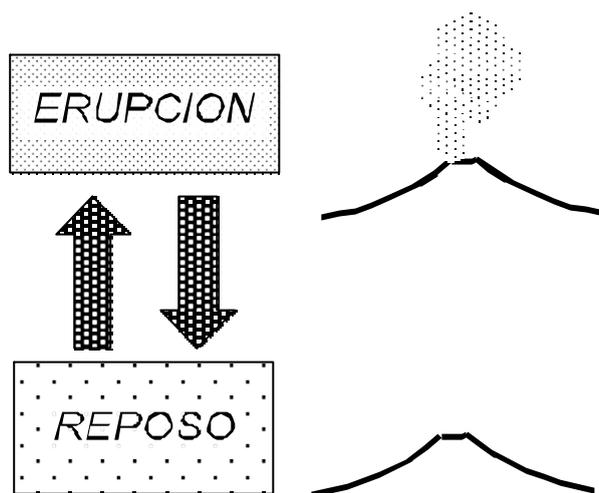
Un aparato volcánico que respondiera a este modelo presentaría una gran similitud en los intervalos entre erupciones, así como en la duración de las mismas.

El siguiente modelo corresponde a un sistema de tres estados:  $R$  reposo,  $E$  erupción y  $P$  actividad persistente. En este caso es preciso determinar 3x3 coeficientes, que se reducen a 6 al imponerla condición de normalización. Sin embargo, en muchos casos es posible definir transiciones prohibidas (que corresponden a un coeficiente nulo).

Para un volcán complejo, como puede ser el Vesuvio, el modelo se complica considerablemente: actividad persistente, erupciones efusivas, erupciones plineanas, largos

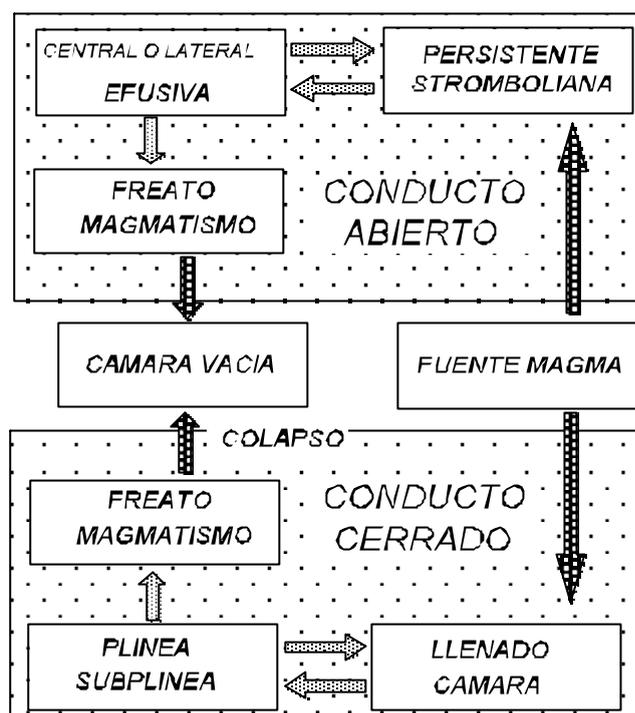
períodos de reposo, formación de calderas, etc, son algunos de los estados a representar.

La figura 1-4 muestra el modelo elemental, mientras que la figura 1-5 corresponde al modelo propuesto recientemente para el Vesuvio, donde, para facilitar su realización, se consideran dos grandes estados correspondientes a conducto abierto y conducto cerrado y en cada uno de ellos otros tres estados.



**Figura 1-4** Modelo Markov de un volcán elemental (dos estados)

La determinación de los distintos parámetros que intervienen en un modelo de este tipo requiere disponer de una larga historia del volcán, con todos sus ciclos bien definidos, por ello estos modelos difícilmente pueden pasar de ser un ejercicio académico con escasa aplicación práctica. Pensemos que estamos tratando de conocer las constantes que rigen el comportamiento de las grandes erupciones plineanas, separadas por miles de años y con multitud de otras erupciones de menor entidad intercaladas entre ellas y de muy difícil identificación.



**Figura 1-5** Modelo de cadena de Markov para la actividad del Vesuvio (Santacroce, 1995).

## 1.2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO

La existencia y dimensión del riesgo volcánico es un concepto que gradualmente se está imponiendo en todo el mundo, a consecuencia de las últimas erupciones catastróficas y de su impacto, magnificado por medios de comunicación de masas y especialmente por la labor de concienciación y divulgación que se realiza con motivo de la Década para la Mitigación de los Desastres Naturales. Podemos decir que en estos últimos años se está impulsando una cultura para la mitigación de los desastres naturales, desarrollándose metodologías para la estimación objetiva del riesgo, teniendo presente que su análisis riguroso afecta a todos los estamentos de la estructura social y para varias categorías de elementos expuestos a riesgo.

Son numerosas las publicaciones recientes dedicadas al tratamiento unificado de los efectos negativos de los desastres naturales (Araña, 1995a). En todas ellas evidentemente presentan un peso importante los temas dedicados al riesgo sísmico, dado su gran impacto económico y el amplio desarrollo alcanzado por la ingeniería sísmica (Tiedemann, 1992).

Un error frecuente es asociar el riesgo volcánico y el riesgo sísmico. Ambos sólo tienen en común el ser los desastres naturales popularmente más espectaculares, quizá porque sólo muy de tarde en tarde producen un impacto lo suficientemente grande para saltar a la primera página de los medios de comunicación y por ser un reflejo de la actividad interna del planeta. Una diferencia esencial entre el tratamiento del riesgo sísmico y el volcánico radica que el peligro sísmico es único (el terremoto) y casi instantáneo, mientras que la erupción volcánica puede prolongarse durante meses y los factores de peligro son múltiples: coladas lávicas, flujos y caída de piroclastos, lahares y avalanchas, gases, sismos volcánicos, tsunamis,

anomalías térmicas, deformaciones del terreno, etc.

### 1.2.1. Definición del Riesgo

El riesgo podría definirse en términos abstractos como la expectativa de que ciertos eventos produzcan un impacto adverso sobre algunos elementos expuestos. Esta expectativa está basada en la racional proyección de experiencias, ocurridas en el pasado, al futuro inmediato.

Son los intereses económicos los que introducen en la Sociedad el concepto actual y la consiguiente cuantificación del Riesgo. Esto ocurre en épocas muy recientes, después de que el término *catástrofe natural* sustituye al de *castigo divino*, dándole así una opción a la Ciencia en el entendimiento de los fenómenos naturales.

De acuerdo con el nivel del conocimiento actual del problema del análisis del riesgo, una parte importante del mismo deberá enmarcarse en un ámbito probabilístico que deberá conjugarse con el conocimiento determinista que exista del fenómeno objeto de estudio. La adopción de este marco permite extraer, mediante el uso de modelos apropiados y datos reales, importantes conclusiones para la mitigación del impacto de las catástrofes naturales. Debemos tener siempre presente que la ocurrencia de un desastre es el resultado de la conjunción de múltiples elementos (cadena o árbol de sucesos en fig 1-6).

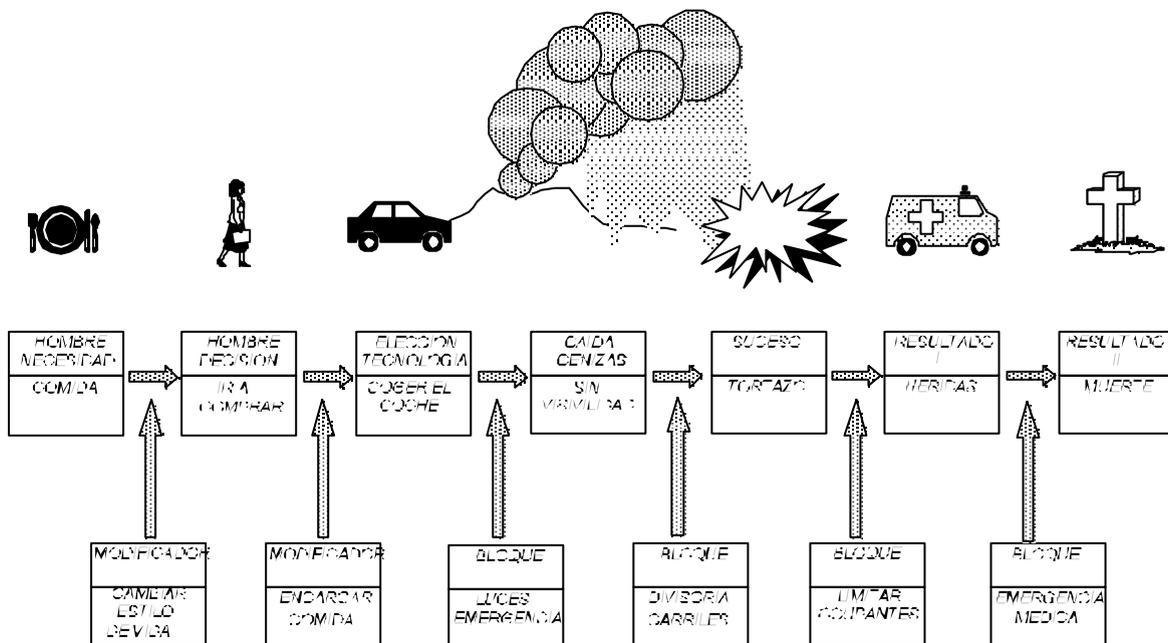
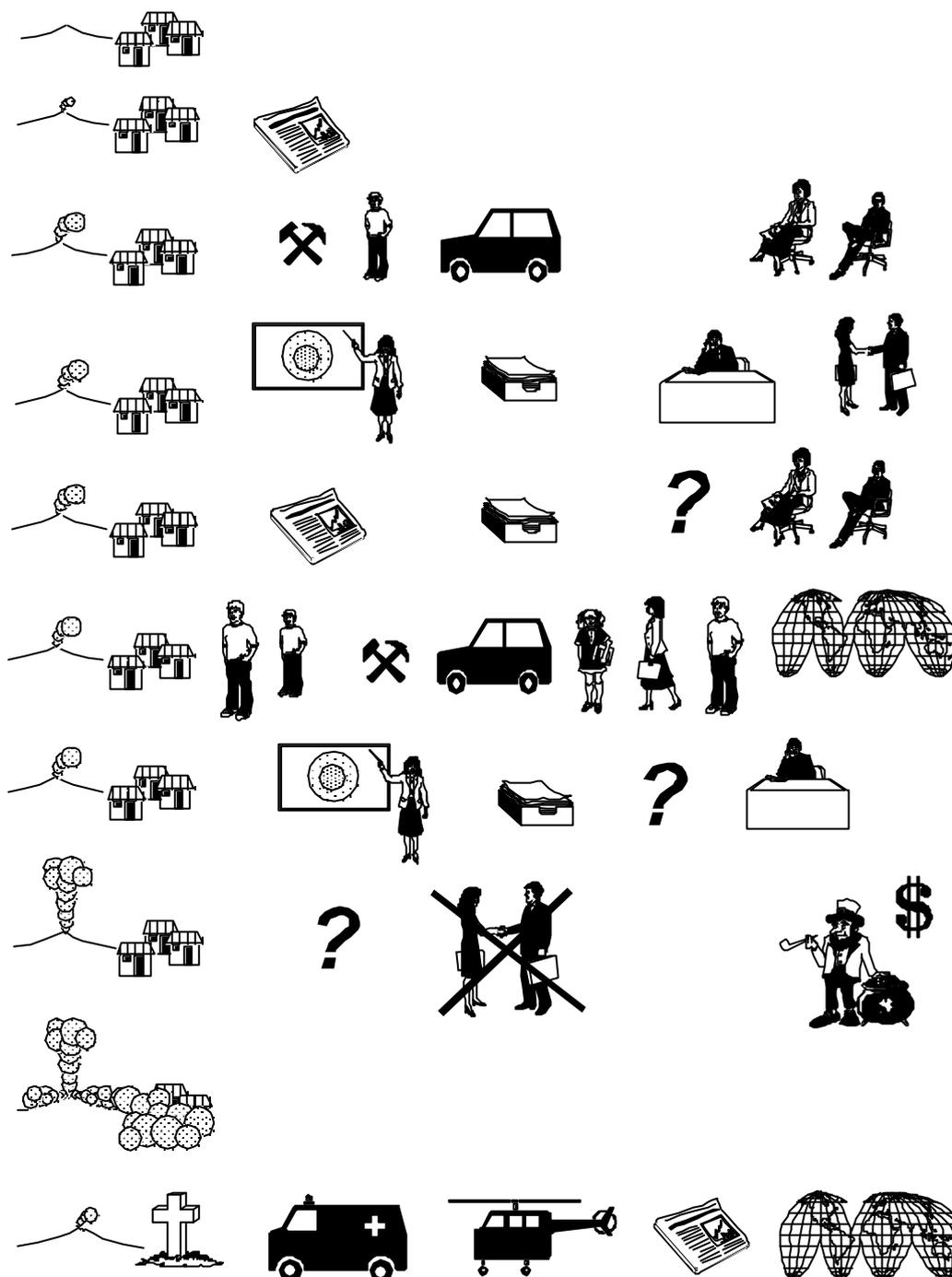


Figura 1-6 Cadena de sucesos y decisiones en un desastre



**Figura 1-7** Ejemplo, basado en un caso real, de una cadena de sucesos y decisiones que desembocó en un desastre. Reactivación del volcán. Valoración del riesgo volcánico. Presentación del mapa de peligros volcánicos. Burocratización y dudas. Nuevos estudios y participación de expertos extranjeros. Nuevo mapa de peligros. Intereses políticos y económicos. Falta de diálogo entre científicos y autoridades. Una explosión moderada en el volcán desencadena un lahar que destruye la población. Llegada de expertos y ayuda internacional.

El establecimiento de un marco para el estudio de los riesgos asociados a los desastres naturales requiere la introducción de una serie de conceptos básicos que permitan relacionar de forma inequívoca los distintos desastres y sus efectos. La adopción de una metodología común a todos los desastres permite una mejor comprensión de la problemática de los distintos riesgos por parte de los estamentos sociales involucrados y un mejor aprovechamiento de los recursos empleados en su mitigación. Los conceptos básicos en su formulación para el análisis del riesgo volcánico son:

#### **PELIGRO VOLCANICO**

Expectación de la incidencia de un fenómeno ligado a la actividad volcánica. Se debe expresar como la probabilidad de que ocurra el fenómeno en un determinado período de tiempo.

#### **VULNERABILIDAD**

Expectativa de daño o pérdida infligida a un elemento expuesto y condicionada a la severidad de la acción del evento volcánico. Se expresa el porcentaje de daño referido a la pérdida total para la acción esperada.

#### **ELEMENTO DE RIESGO**

Cualquier valor que pueda resultar adversamente afectado como consecuencia de la incidencia de un evento volcánico

#### **RIESGO ESPECIFICO**

Expectación de daño o pérdida infligida a un elemento de riesgo, durante un cierto período de exposición

#### **RIESGO**

Riesgo específico referido a coste.

El concepto actual del Riesgo lleva implícita su "no eliminabilidad". Así, el Riesgo tendrá siempre un valor numérico (monetario o en número de víctimas), que podrá calcularse con algún tipo de fórmula. Todas estas fórmulas, en el caso del riesgo volcánico, incluyen el producto de la *peligrosidad* volcánica por la *vulnerabilidad* y por la *exposición*. Al ser las funciones de peligrosidad y vulnerabilidad, distribuciones definidas en un marco probabilístico, hay que entender este producto como un producto de convolución entre funciones.

$$\langle \text{RIESGO} \rangle = \langle \text{VULNERABILIDAD} \rangle * \langle \text{EXPOSICION} \rangle * \langle \text{PELIGRO} \rangle$$

Según esta expresión, para establecer el riesgo se debe obtener la peligrosidad y la vulnerabilidad para cada punto de la zona en estudio. La siguiente expresión nos permite relacionar la peligrosidad en un punto alejado con la peligrosidad en un punto próximo al volcán:

$$\langle P, X \rangle = \langle A, X \rangle * \langle P, 0 \rangle \quad (2)$$

P representa la peligrosidad para el fenómeno considerado, X el vector de posición del punto considerado. A es una función que representa la atenuación del fenómeno con la distancia a la fuente. Estas funciones de atenuación encierran la información correspondiente a topografía, tipo de terreno, etc.

Una relación parecida puede establecerse para la vulnerabilidad en función de la distancia al volcán:

$$\langle V, X \rangle = \langle A, X \rangle * \langle V, 0 \rangle \quad (3)$$

La peligrosidad y la vulnerabilidad pueden evaluarse siguiendo dos metodologías distintas: por una parte en base al estudio de los efectos de erupciones pasadas (métodos observacionales) y por otra partiendo de modelos teóricos de los fenómenos y sus efectos (métodos predictivos). En el estado actual del conocimiento del fenómeno volcánico se utiliza un método mixto, que conjuga la observación detallada de los efectos de las pasadas erupciones ocurridas en la zona y, mediante técnicas numéricas basadas en la física de los fenómenos volcánicos, modeliza los efectos de la erupción esperada (Barberi et al., 1989a; Dobran et al., 1990).

El carácter estadístico de los análisis de riesgo volcánico requiere que los trabajos de muestreo en campo satisfagan dos condiciones:

- a) suficientemente numerosos para que el resultado sea estadísticamente creíble.
- b) suficientemente homogéneos para ser significativos.

Estos dos requerimientos entran en ocasiones en conflicto, especialmente en el ámbito de las Ciencias de la Tierra donde no siempre es fácil muestrear adecuadamente o donde los intervalos temporales entre los fenómenos no permiten tener un conocimiento directo de los mismos.

Las vulnerabilidades pueden determinarse tanto para estructuras simples como para sistemas multicomponentes. La vulnerabilidad frente a la exposición a los diferentes peligros volcánicos es difícil de determinar experimentalmente, pues tenemos muy poca experiencia directa en erupciones catastróficas que hayan afectado un área urbana desarrollada. Por ello, debemos extrapolar la información obtenida de los efectos producidos sobre estructuras simples, generalmente rurales, a sistemas complejos. Esta extrapolación resulta muy difícil de realizar, por lo que hay que acudir a la utilización de métodos estadísticos como puede ser Montecarlo, considerando los efectos sobre las estructuras situadas en distintos escenarios (Sandi 1986, 1995). Esta metodología está ampliamente desarrollada para el caso de la determinación de las vulnerabilidades en el caso sísmico, donde terremotos destructores como el de Ciudad de México en 1995 o el ocurrido en Campania, Italia 1980, han aportado suficientes datos experimentales.

Lógicamente, las evaluaciones más precisas del Riesgo son las aplicadas por las compañías de Seguros que introducen factores como la "*percepción del fenómeno*" por parte de la población.

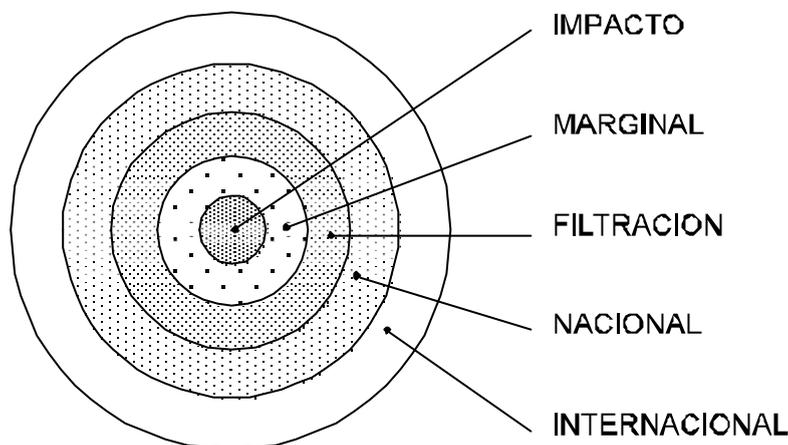
$$R = C \cdot P \cdot Ca \cdot P(E) \quad (4)$$

Siendo  $p$  la percepción,  $Ca$  las causas (erupciones en este caso) y  $P(E)$  la probabilidad de que ocurra el evento en un lugar y un momento determinado. Lógicamente, la "*percepción*" es un valor tan manipulable como la "*peligrosidad*" o la "*vulnerabilidad*", de ahí que puedan añadirse al término Riesgo muchos adjetivos.

<b>RIESGO</b>	MAXIMO, MEDIO, MINIMO ESPECIFICO, TOTAL OBJETIVO, SUBJETIVO RELATIVO, COMPARABLE ASUMIBLE, ACEPTABLE CUANTIFICABLE PERCEPTIBLE ZONIFICADO -----
---------------	---

### 1.2.2. Impacto espacial de una catástrofe volcánica

Aparentemente, parece sencillo definir la extensión de la zona de influencia de un desastre como aquella donde se han producido los daños, pero esto no es tan simple. Si se analiza con detalle es fácil determinar una primera zona donde se ha producido el *impacto* directo y en la que generalmente se concentran los mayores daños; a su alrededor se extiende otra zona, mucho más extensa donde se han producido daños que se pueden calificar como *marginales*, pero la influencia del desastre va mucho más allá: en regiones próximas el desastre se deja sentir de forma muy acusada (familiares y conocidos fallecidos, pérdida de propiedades y la llegada masiva de evacuados) por lo que se conoce como zona de *filtración* del desastre. En general, toda la nación sufrirá de una u otra forma los efectos, aunque sólo sea en los impuestos necesarios para acometer la reconstrucción. Finalmente, y para los grandes desastres, la comunidad internacional también interviene aportando ayudas más o menos desinteresadas (Alexander, 1993).



**Figura 1-8** Zonas de influencia de un desastre volcánico. Basado en Alexander, 1993.

### 1.2.3. Protección y optimización del riesgo

Se pueden considerar dos situaciones: La primera reflejaría un área volcánica activa en la que se trata de establecer una *norma* semejante en ciertos aspectos a la normativa sismorresistente. La segunda situación se refiere a un volcán en crisis o cuando ya se ha iniciado una erupción. La mejor protección se consigue eligiendo cuidadosamente los emplazamientos e incorporando los adecuados elementos de seguridad en los edificios, factorías, plantas energéticas, infraestructuras, etc. Es evidente que tratar de minimizar las pérdidas causadas por una futura erupción gigantesca supone una fuerte carga económica para toda la región. Las medidas de protección hay que establecerlas de acuerdo con la vulnerabilidad que presenta cada elemento de riesgo frente a la exposición a cada suceso volcánico (lavas, caída de piroclastos, coladas y oleadas piroclásticas, lahares, etc). Las medidas de protección incluyen la situación de los emplazamientos en zonas alejadas del

volcán, en oposición a los vientos dominantes, protegidos por obstáculos orográficos, fuera de valles que conduzcan hasta las laderas del volcán y la construcción de grandes barreras para desviar o frenar las avalanchas y flujos lávicos o piroclásticos. Sin embargo, no debemos olvidar que el concepto de riesgo, además de la expectativa de daño, encierra una componente de probabilidad. La conjunción de ambas permitirá evaluar la rentabilidad de la inversión necesaria para proteger determinadas estructuras frente a la posibilidad de abandonarlas en caso de crisis. En el estado actual del conocimiento, cualquier pretensión de evaluar correctamente la exposición al peligro volcánico es pura fantasía. La mayor parte de los volcanes son impredecibles, salvo unos pocos sometidos a un intensivo seguimiento y que presentan erupciones casi continuas. Además, estos pocos volcanes exhiben un comportamiento que podríamos considerar como dócil.

<b>VALORACIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO (NLA 1992)</b>	
<b>Probabilidad de pérdidas o daños</b>	
<b>Distancia del elemento de riesgo al volcán o sistema volcánico</b>	
<b>Historia eruptiva en comparación con otros volcanes semejantes.</b>	<b>Período de retorno</b>
	<b>Tamaño de la erupción</b>
<b>Tipo de volcán referido a sus mecanismos eruptivos mas frecuentes.</b>  <b>Características de los productos emitidos anteriormente.</b>	<b>Lava, bombas, lapilli, cenizas, avalanchas, flujos piroclásticos, lahares, gases</b>
	<b>Contenido en SiO<sub>2</sub></b>
	<b>Índice de Explosividad (VEI)</b>
<b>Tiempo-Historia de la actividad eruptiva.</b>	<b>Aparentemente dormido</b> <b>Período de reposo anormal</b>
<b>Elementos topográficos que pueden modificar la exposición.</b>	<b>Valles, canales, lagos, glaciares, obstáculos, domos, etc</b>
<b>Sismicidad asociada.</b>	
<b>Tsunamis de origen volcánico.</b>	
<b>Extensión del daño</b>	
<b>Distancia al centro de emisión.</b>	
<b>Vulnerabilidad del elemento de riesgo, considerando el tipo de mecanismo eruptivo</b>	
<b>Condiciones meteorológicas. Vientos predominantes.</b>	

#### 1.2.4. Volcanes de alto riesgo

Una cuestión habitual en toda zona donde haya existido actividad volcánica, aunque ésta sea ya muy remota, es saber si sus volcanes presentan algún riesgo potencial. Términos como volcán activo, dormido o muerto son habituales incluso entre profesionales de las Ciencias de la Tierra. Para poder cifrar de alguna manera cual es la posible actividad de un volcán en relación a su riesgo potencial, se ha establecido un sencillo cuestionario que refleja claramente el concepto de riesgo definido como producto de la peligrosidad del volcán por la vulnerabilidad de la actividad humana.

El cuestionario, preparado por la UNESCO está dividido en dos partes, la primera hace referencia al tipo de actividad que ha mostrado el volcán a lo largo de su historia, mientras que la segunda parte está dedicada exclusivamente a valorar la población existente en el entorno del volcán. Este tipo de cuestionarios refleja bien el modo de trabajo requerido en la valoración del riesgo volcánico: metodologías claramente establecidas y que permitan de un modo fácil asignar un bit (0-1) a cada uno de los elementos que intervengan.

<b>Criterio UNESCO para la identificación de volcanes potencialmente peligrosos.</b>	
<b>CAPACIDAD DESTRUCTIVA DEL FENÓMENO</b>	
Elevado contenido en sílice en los productos emitidos	
Actividad explosiva importante en los últimos 500 años	
Actividad explosiva importante en los últimos 5000 años	
Flujos piroclásticos en los últimos 500 años	
Lahares (flujos de fango) en los últimos 500 años	
Tsunamis (origen volcánico) en los últimos 500 años	
Area destruida > 10 km <sup>2</sup> en los últimos 500 años	
Area destruida > 100 km <sup>2</sup> en los últimos 5000 años	
Enjambres de sismos volcánicos en los últimos 50 años	
Deformación significativa del terreno en los últimos 50 años	
<b>POBLACIÓN AFECTADA</b>	
Población en peligro > 100	
Población en peligro > 1000	
Población en peligro > 10000	
Población en peligro > 100000	

<b>Población en peligro &gt; 1000000</b>	
<b>Muertes en período histórico</b>	
<b>Evacuación causada por erupción</b>	
<b>TOTAL (Alto riesgo &gt; 10)</b>	

(Yokoyama et al., 1984)

### 1.2.5. Seguimiento, pronóstico y predicción de erupciones

Al tratar el tema del riesgo volcánico, necesariamente debemos hacer hincapié en lo que la Volcanología, como disciplina científica puede realmente aportar a la mitigación de las catástrofes volcánicas. Está muy extendida la creencia de que con unos instrumentos dispuestos alrededor del volcán es posible conocer con suficiente antelación el inicio de una erupción. Esta idea esta apoyada incluso por organizaciones internacionales que con ello pretenden acallar la mala conciencia ante desastres ocurridos en el tercer mundo amparándose en que el volcán no estaba adecuadamente instrumentado y regalando después de la catástrofe una serie de instrumentos más o menos obsoletos. También un cierto colectivo de científicos pretende con ello obtener una financiación extraordinaria para desarrollar trabajos de índole académica y cuya proyección en cuanto a mitigación del riesgo es más bien remota. El problema radica en que se confunden, voluntaria o involuntariamente tres conceptos distintos que son básicos para el análisis del riesgo volcánico: seguimiento, pronóstico y predicción (Swanson et al, 1985):

#### *Seguimiento*

Permite conocer cual es la actividad del volcán en cada momento: donde está el magma, que temperatura tiene, cual es su contenido en gases, que actividad sísmica se desarrolla en él, y si está en erupción cuales son las características de la misma. Su finalidad es una descripción todo lo completa que se pueda de los fenómenos que ocurren en la erupción. Con el seguimiento somos capaces de describir la situación del volcán, pero sin aventurar nada sobre su comportamiento futuro. Esta información la podemos comparar con la obtenida en días anteriores y establecer cual ha sido la evolución del volcán.

#### *Pronóstico*

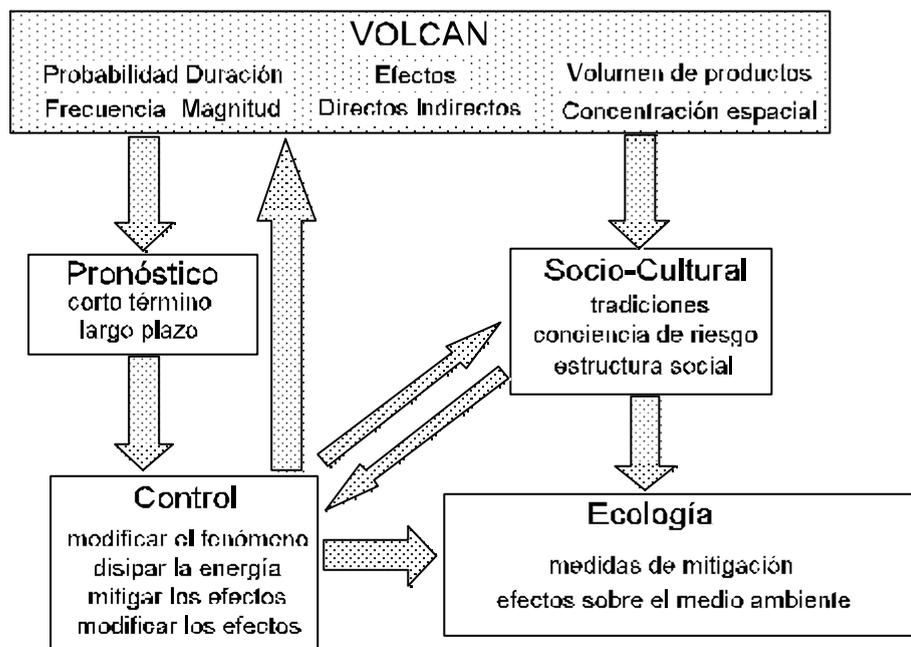
Se basa en inferir a partir del seguimiento de la actividad del volcán cual será su evolución en el futuro. Conocemos los distintos fenómenos que pueden ocurrir próximamente en el volcán, sin poder aventurar tiempos o secuencias. Esta proyección al futuro se basa en una extrapolación hacia adelante de la evolución del volcán y sabemos que esta extrapolación es tanto mas incierta cuanto mayor sea el intervalo de tiempo. Este concepto popularmente está muy extendido en otros campos como es

la medicina o la meteorología. A nadie le sorprende que un pronóstico del tiempo sea totalmente erróneo.

**Predicción**

Es poder afirmar cual será el comportamiento del volcán en el futuro inmediato. Intrínsecamente el concepto de predicción no está asociado a incertidumbre alguna. Solo a muy corto plazo, podemos describir de modo preciso la evolución del volcán y los efectos que van a producirse. La predicción implica afirmar ciertamente que el evento E se producirá en la localidad X en el día D.

El estado actual del conocimiento de la actividad volcánica permite realizar el seguimiento del volcán, aventurar un pronóstico y solo en casos muy concretos hacer una predicción inmediata de la evolución del volcán. La propia naturaleza de la física de los fenómenos volcánicos nos muestra que no va a ser posible nunca hacer una predicción a largo plazo.



**Figura 1-9** Elementos que intervienen en la gestión de una crisis volcánica

La figura 1-9 incide en estos tres conceptos, pero mas claramente en el pronóstico: está el volcán, que entrará en erupción en un momento dado; está la población expuesta que sufrirá su impacto y que lo asimilará de acuerdo con su cultura y tradición, exigiendo un tipo determinado de actuación y está el medio ambiente que es un factor que cada día cobra más importancia y que en algunos casos puede limitar seriamente las actuaciones.

**1.3. ALGUNAS REFLEXIONES MÁS SOBRE EL RIESGO VOLCÁNICO Y SU**

## MITIGACIÓN

En este apartado pretendemos llamar la atención sobre algunos aspectos básicos, que afectan al Riesgo Volcánico y cuyo conocimiento parece elemental, pese a lo cual, no siempre se tienen en cuenta.

En primer lugar, hay que considerar como un todo el conjunto de elementos (instituciones, medios y personas) que intervienen en caso de ocurrencia de una erupción. Es absurdo que se potencie la estructura de la protección civil si simultáneamente no se refuerza el equipo científico, y poco se conseguirá, si esto no lleva acompañado un esfuerzo educacional a todos los niveles. El siguiente cuadro (UNDRO/DHA, 1991) muestra el conjunto de elementos a desarrollar para poder afrontar la ocurrencia un desastre.

<b>MARCO DE PREPARATIVOS PARA CASOS DE DESASTRE</b>		
Evaluación de vulnerabilidad	Planificación	Estructura Institucional
Sistemas de Información	Base de recursos	Sistemas de alerta
Mecanismos de respuesta	Educación y entrenamiento del público	Simulacros

### 1.3.1. Investigación, Vigilancia, Protección Civil

En la mitigación del riesgo volcánico intervienen básicamente tres elementos cuyas funciones y responsabilidades están claramente delimitadas, tanto en las crisis como en los períodos de tranquilidad.

<b>Científicos / Volcanólogos</b>	<b>INVESTIGACIÓN</b>
<b>Técnicos / Especialistas</b>	<b>VIGILANCIA</b>
<b>Servicios Protección Civil</b>	<b>PLANIFICACIÓN/EJECUCIÓN de medidas para la mitigación del riesgo</b>

Especialmente importante es que las redes de vigilancia de volcanes no se confundan con los instrumentos y equipos que coyunturalmente puede instalar un equipo científico en torno al volcán. En general, los Organismos de Investigación no tienen como objetivo, y carecen de

infraestructura, para el registro rutinario de datos (sísmicos, magnéticos, etc.) salvo que no existan organismos especializados en esta función. En regiones cuya tasa eruptiva no sea elevada, estos últimos organismos disponen de Redes de Vigilancia que también se ocupan de registrar parámetros de interés volcanológico para lo que basta con un equipamiento mínimo, pero cuyo mantenimiento esté asegurado. Esta vigilancia rutinaria<sup>2</sup> queda así garantizada independientemente de que los registros que se están obteniendo sean o no atractivos desde el punto de vista de un científico-investigador.

### 1.3.2. Volcanes y Sociedad

*Los factores culturales modifican la aceptación del riesgo. Asimismo, la sensibilidad ante la catástrofe no es la misma entre los distintos sectores de la población, dividida según sus niveles culturales, intereses económicos, actividades, ideas religiosas, edad, etc. No obstante, y como regla general, el riesgo solo es aceptable en el ámbito de actividades que presenten beneficios.*

*La percepción del riesgo tampoco es homogénea, ni siquiera entre grupos científicos o políticos. Esto conduce en ocasiones a la manipulación del riesgo por parte de estos grupos, ya que no hay una "autoridad mundial" a la que recurrir.*

*Ante la necesidad de asumir algún riesgo, la sociedad debe elegir entre las siguientes estrategias:*

No intervención
Procedimientos estandar
Procedimientos específicos (limitando actividades de alto riesgo)
Comparación con experiencias anteriores (para conocer las preferencias de la sociedad)
Análisis coste-beneficios (racionalizar el gasto)
Análisis de decisión (racionalizar los criterios)
Consenso por encuestas populares (para conocer preferencias)

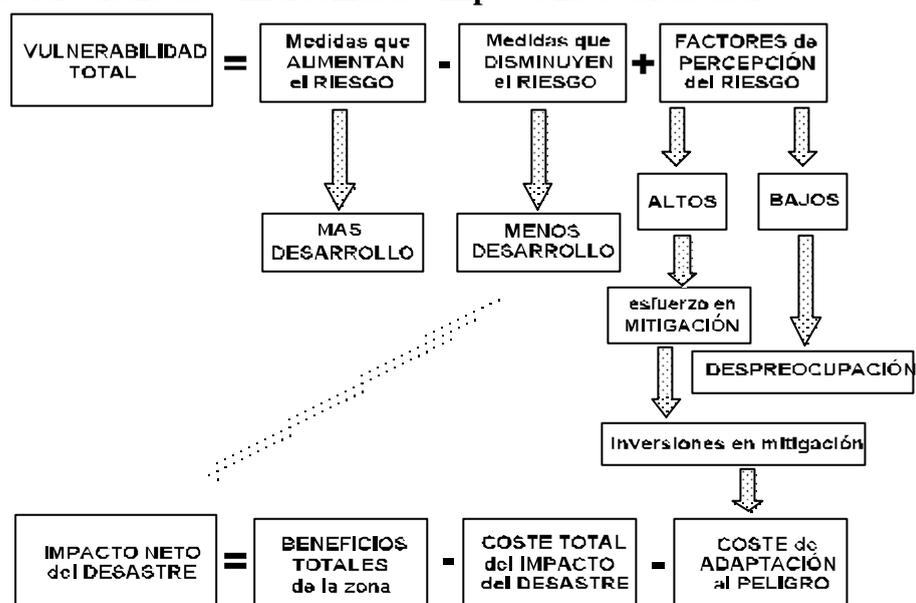
**Un esquema simplificado de estas opciones es el siguiente:**

---

<sup>2</sup> El adjetivo "rutinaria" que aplicamos aquí a la vigilancia estática y permanente, no implica una minus-valoración de esta tarea que es básica en la prevención de erupciones/mitigación del riesgo. En este volumen no se desarrollan los temas específicamente relacionados con la Vigilancia, ya que estos aparecen muy ligados a la Instrumentación, que es el objeto de otros textos, como los que se utilizan en el Curso Internacional de Volcanología (Ortiz, 1994 a, b).

PASIVIDAD	Actitud fatalista en algunas culturas
	Elevado coste en países desarrollados
INTERVENCIÓN	CONTROL (defensa activa de los daños)
	PREVISIÓN (Predicción del evento-Prevención)
	<b>Falla porque:</b> <i>Falta memoria histórica</i> La Sociedad sólo se preocupa despues de la catástrofe (no se escarmienta en cabeza ajena)

Si bien el mundo occidental opta por la *previsión* dada la importancia que se da al análisis de la relación *riesgo/beneficio*, también vemos que la *no intervención* puede ser la opción en algunas zonas muy desarrolladas cuando el coste de las medidas para mitigar el riesgo es demasiado elevado o supone un freno al desarrollo económico. En la figura 1.10 se presenta un esquema del cálculo de vulnerabilidad e impacto neto del desastre.



**Figura 1-10** Relación coste/beneficio de las medidas de mitigación frente a desastres.

Claro está que hay un método para *reducir el riesgo a muy bajo coste* (por ejemplo prohibiendo el acceso a determinadas zonas), pero las decisiones administrativas que esto conlleva suelen ser contradictorias por su incidencia opuesta en los ámbitos de la *ordenación territorial, turismo, industria, comercio, agricultura...* Este tema es hoy objeto de profundo análisis en el marco del desarrollo sostenible, cuya planificación es necesariamente a largo plazo, comparable con los periodos de retorno de los grandes desastres y en él interviene de forma muy destacable las relaciones con el medio ambiente (ver 3.3).

### 1.3.3. Planificación para afrontar una catástrofe

La planificación en temas de Protección Civil no es estándar ni generalizable, sin embargo, parece que debe seguir estas recomendaciones:

- a) Adaptarse a las características culturales y sociales de la población afectada
- b) Englobar todos los riesgos previsible en la zona
- c) Utilizar en lo posible los mismos medios y medidas para cualquier catástrofe

Asímismo, la planificación para afrontar un desastre debe considerar las siguientes fases:

- a) *Mitigación* (Reducción de riesgos)
- b) *Preparación* (Desarrollo de planes de acción para reducir daños)
- c) *Respuesta* (Ayuda de emergencia y asistencia, evacuación si es necesaria, rescate, etc)
- d) *Recuperación* (A corto, medio y largo plazo)

Desgraciadamente, las *normativas legales* no contemplan una serie de aspectos que sólo la experiencia termina resolviendo en mayor o menor medida, aunque para ello sea necesario sufrir repetidamente una catástrofe. Tampoco estas normativas suelen *personalizar las responsabilidades*, que se diluyen en Comités, Servicios y nombramientos por decretos que a su vez son modificados por otros preceptos legales de distintas administraciones, etc. En cualquier caso, para mitigar el riesgo volcánico en una región determinada habría que comenzar respondiendo con claridad las siguientes preguntas:

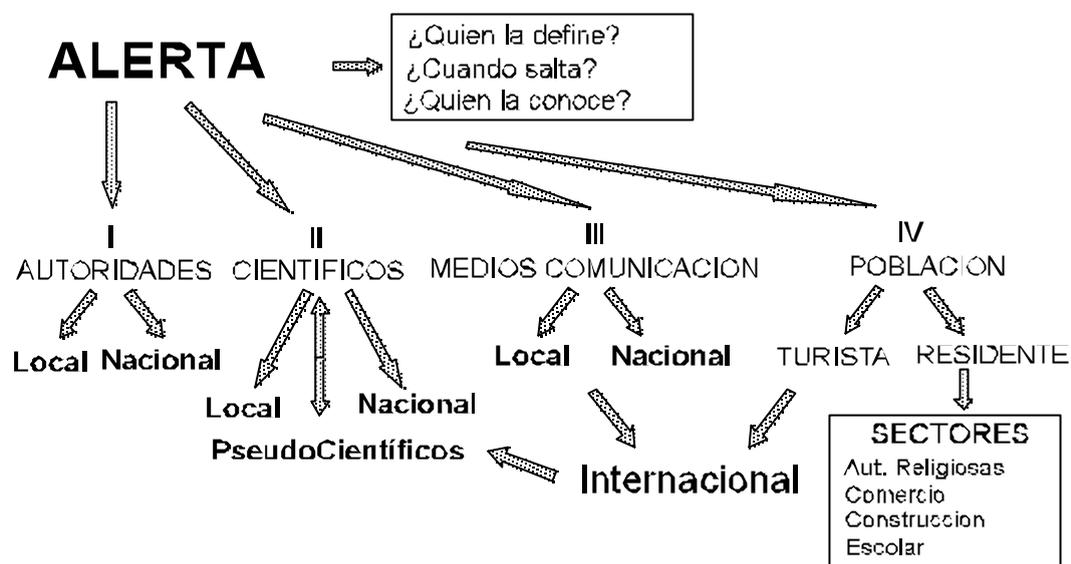
¿Quiénes programan ..... La investigación?  
La vigilancia?  
La prevención?  
Las actuaciones en caso de crisis?

¿Quién conoce la Programación o los Planes de emergencia?  
¿Cómo se difunden?  
¿Quién los evalúa?  
¿Quién los actualiza?  
¿Quién los pone en práctica?  
¿Quién y cómo los financia?

Las respuestas que se den, harán que la *programación* pueda calificarse como *optima, aceptable, mínima, insuficiente .... inexistente*.

Las mejores vías para evaluar la planificación (o alguno de sus aspectos) son los simulacros de crisis. En estas simulaciones, lo que la autoridad de protección civil no suele comprender es que en el caso de crisis volcánica, la simulación no responde a los esquemas clásicos (actuación de equipos tras la catástrofe: terremoto, incendio, inundación, etc) sino a la fase

previa, cuando la única media a tomar para evitar la catástrofe es la evacuación antes de que se produzca la erupción. A continuación se esquematiza las respuestas que deben analizarse en el ensayo de una supuesta crisis considerando especialmente la aparición de factores que complicarían la planificación.



### respuestas

- I Tráfico aéreo, terrestre, sistemas comunicaciones.  
Planes Protección Civil (hospitales, evacuación, defensa activa)...
- II Análisis de precursores y modelos predictivos.  
Despliegue instrumentación específica.  
Constitución equipo in situ..
- III Comunicaciones oficiales. Ruedas de prensa.  
Designación portavoz del equipo científico.
- IV Experiencia de simulacros y crisis anteriores, o en países afines)....

### factores que complican el plan

Nocturnidad, Lluvia-Tormenta, Niños-Ancianos  
 Conflictos sociales, Campaña prensa  
 Epocas escolares o de cosecha o de alto turismo

### Ejercicio del Comité de Crisis

### Generación del escenario

+  
 \*día-noche  
 distinguir: 1laborable-festivo  
 \*temporada turística alta-baja  
 \*periodo lectivo-vacaciones escolares  
 .  
 +  
 + \*teléfono  
 \*pánico \*radio  
 \*interrupción comunicaciones 1carreteras  
 \*corte suministro eléctrico\*aeropuerto  
 considerar: 1falta agua potable \*puerto  
 \*terremotos moderados .  
 \*maremotos  
 \*incendios  
 .

### **Cambio a otro estado de alarma tras 24 horas**

#### **Desarrollo del simulacro en cuatro fases:**

- 0 Detección de un precursor sospechoso (fase previa)
  - + Si lo hay
- 1 Convocatoria del Comité de Crisis ¿Quién lo compone?  
 . ¿Quién lo convoca?
- 2 Medidas preventivas antes de la erupción
- 3 Medidas después del inicio de la erupción
- 4 Evaluación del programa

#### **Objetivos:**

##### **1.- Destacar los puntos débiles de la zona afectada**

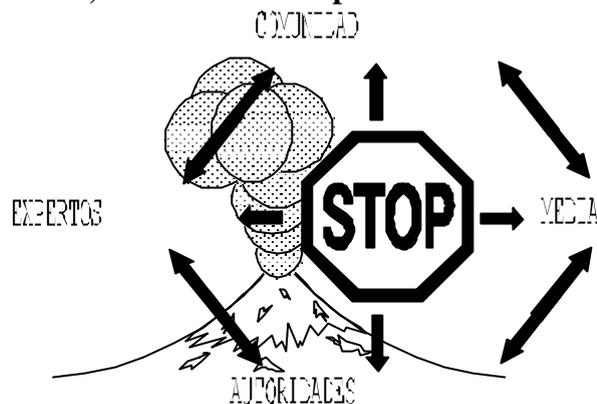
##### **2.- Conocer los pros y contras de los factores sociales de la zona:**

- Hombres en casa, edad, localización autoridades
- Coordinación entre diferentes competencias y medios
- Vulnerabilidad del sistema de tomas de decisión
- Reducir al mínimo la distancia entre la población y la administración.
- Evitar la sensación de abandono que sienten los ciudadanos durante el desarrollo de una crisis.

**La realización de simulacros de emergencia está muy desarrollada en algunos campos (energía nuclear), donde existe una amplia bibliografía de como organizar y evaluar un simulacro (INPO 1983). La experiencia obtenida en el terremoto que afectó seriamente a la ciudad de México en 1985 puso de manifiesto la importancia de que la población sepa autoprotegerse, desarrollando planes familiares de protección civil que incluyen la realización de simulacros (CENAPRED 1994 a y b).**

### 1.3.4. Iniciativas IAVCEI/IDNDR

**La Década Internacional para la Mitigación de los Desastres Naturales (IDNDR) esta permitiendo crear una conciencia de como deben los distintos estamentos de la sociedad enfrentarse a un desastre, así es necesario aprender a convivir con un volcán activo.**



**Figura 1-11** La mitigación de los desastres volcánicos exige la cooperación de todos los estamentos de la sociedad.

**En el marco del IDNDR, diversas Organizaciones nacionales e internacionales están dedicando especial atención al Riesgo Volcánico. Concretamente, la Asociación Internacional de Volcanología (IAVCEI), está promoviendo una serie de iniciativas que esquemáticamente se resumen en la siguiente relación:**

- ELABORACIÓN DE MAPAS DE PELIGROSIDAD Y RIESGO VOLCÁNICO  
genéricos y específicos en todos los volcanes activos
- VIGILANCIA DE VOLCANES ACTIVOS  
mínima, específica, con implicación de la población local  
equipamiento de bajo coste  
vigilancia por satélites
- EDUCACIÓN CIUDADANA  
población, escuelas, voluntarios  
hermanamiento de ciudades en ambiente volcánico activo
- DIÁLOGO AUTORIDADES/CIENTÍFICOS  
planes emergencia, ordenación territorial, reducción riesgo
- VOLCANES DE LA DECADA  
"proyectos demostración", comisión *ad hoc* de la IAVCEI
- IAVNET

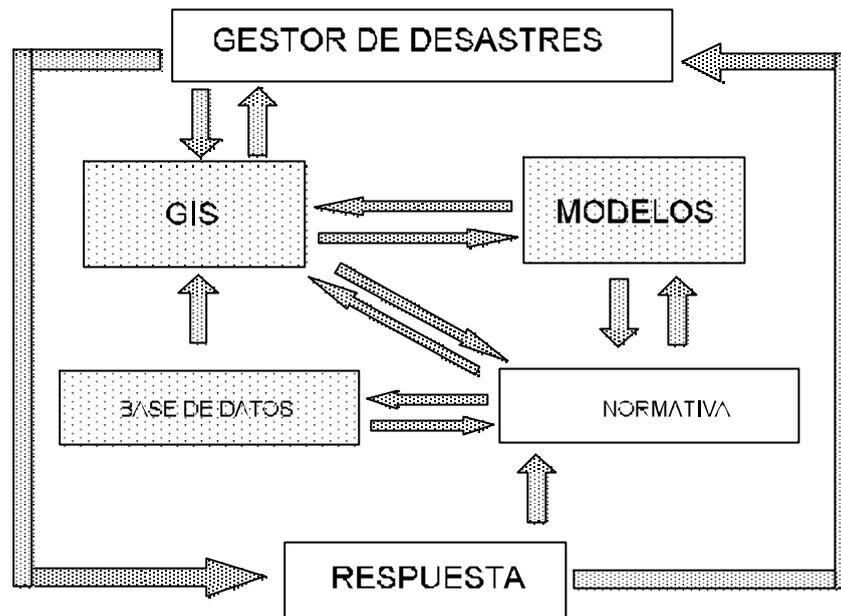
comunicación-coordinación volcanólogos, archivo de datos de referencia

- ENTRENAMIENTO/CURSOS ESPECIALIZADOS  
para científicos, técnicos, protección civil, etc.
- ASISTENCIA EN CASO DE CRISIS
  - suplementar (o completar) personal y tecnología local
  - asesoramiento (comité de expertos en la volcanología del área
  - colaboración (financiera, técnica, científica, etc.
- PUBLICACIONES  
Difusión de las experiencias obtenidas en las crisis eruptivas
- PROTECCION A LOS VOLCANÓLOGOS  
Medidas seguridad, precauciones, etc.
- ATENCIÓN A LOS PAISES MENOS DESARROLLADOS

#### **1.4. TÉCNICAS PARA LA GESTIÓN DE LA CATÁSTROFE VOLCÁNICA**

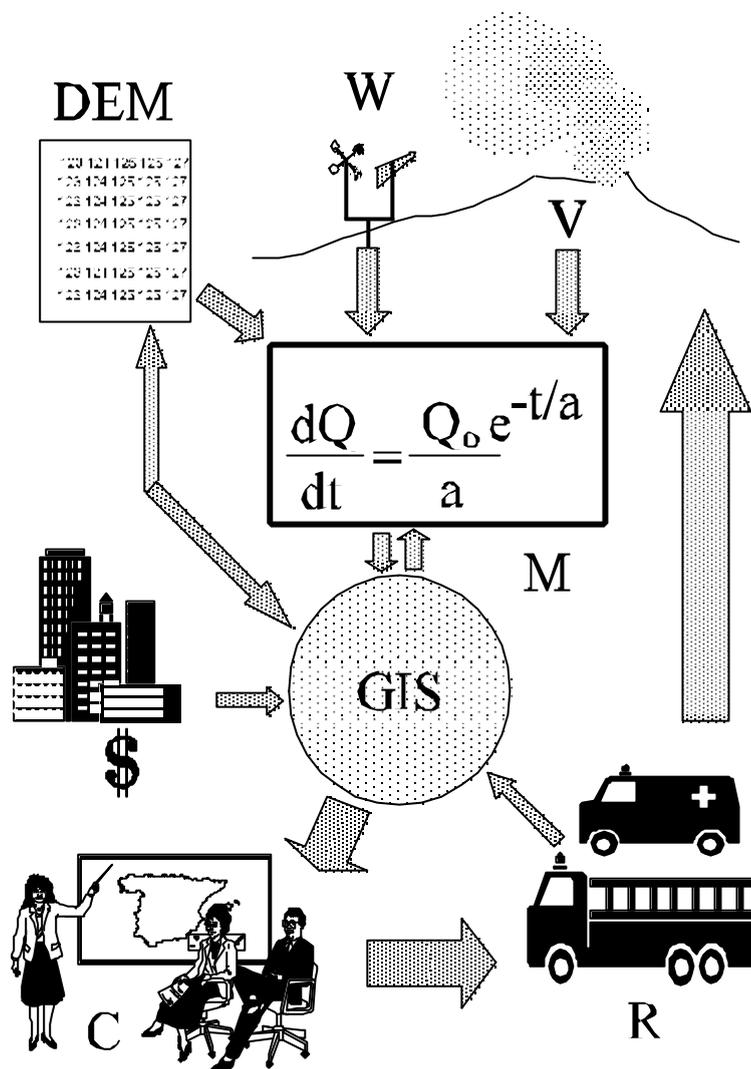
**Las técnicas actuales de gestión de desastres se apoyan en el empleo de dos potentes herramientas: la modelización física y el sistema de información geográfica (GIS). Sólo la conjunción de estas dos herramientas permite manejar de una forma objetiva la gran cantidad de información y datos que intervienen en la prevención de un desastre. El establecer una determinada normativa encaminada a mitigar el impacto del desastre y la actuación cuando éste se produzca en una sociedad desarrollada, ya no puede dejarse a la improvisación o a la inspiración más o menos afortunada del funcionario de turno.**

**Las implicaciones económicas que se derivan del impacto de los desastres naturales hacen que este tipo de análisis haya trascendido del entorno estatal al de las grandes multinacionales, que valoran muy bien el riesgo que asumen al emplazar en un determinado punto una costosa planta industrial (Tiedemann, 1992). Zonas con ayudas oficiales para el desarrollo industrial, después se ven completamente abandonadas por ser demasiado alto el riesgo que se debe asumir ante un determinado tipo de desastre.**



**Figura 1-12** Sistema dedicado a la gestión del desastre volcánico

Un sistema dedicado a la gestión de desastres consta de dos elementos principales, que son la base de datos y los modelos, con un dispositivo integrador de ambos que es el *Sistema de Información Geográfica (GIS)*. A este conjunto deberemos añadir un mecanismo de entrada y actualización de los datos y una interfase de usuario que permita extraer la información adecuándola a las necesidades de cada usuario concreto. Toda la información disponible sobre el volcán y las posibles zonas afectadas debe incluirse en las bases de datos gestionadas por el sistema de información geográfica. Aunque la tecnología del GIS se aplica desde hace tiempo a la preparación de los mapas de riesgo volcánico (Barberi et al., 1990; Kauahikaua et al., 1995; Massone et al., 1996), es solo recientemente cuando empieza a utilizarse como elemento en línea para la gestión del riesgo volcánico (Gómez, 1995). Las tecnologías actuales permiten coordinar fácilmente las distintas fuentes de datos informatizados que poseen las instituciones públicas para otros objetivos. De esta forma es posible, teóricamente, que el sistema se actualice automáticamente y sea capaz de ofrecer una visión en tiempo real de la situación frente a un posible impacto. Sin embargo, la competencia entre las distintas instituciones y en ocasiones enfrentamientos personales, hace que llevar esto a la práctica sea poco menos que imposible, al menos por ahora, quedando en muchas ocasiones el desarrollo de estos sistemas expertos en objetos de simple interés académico.

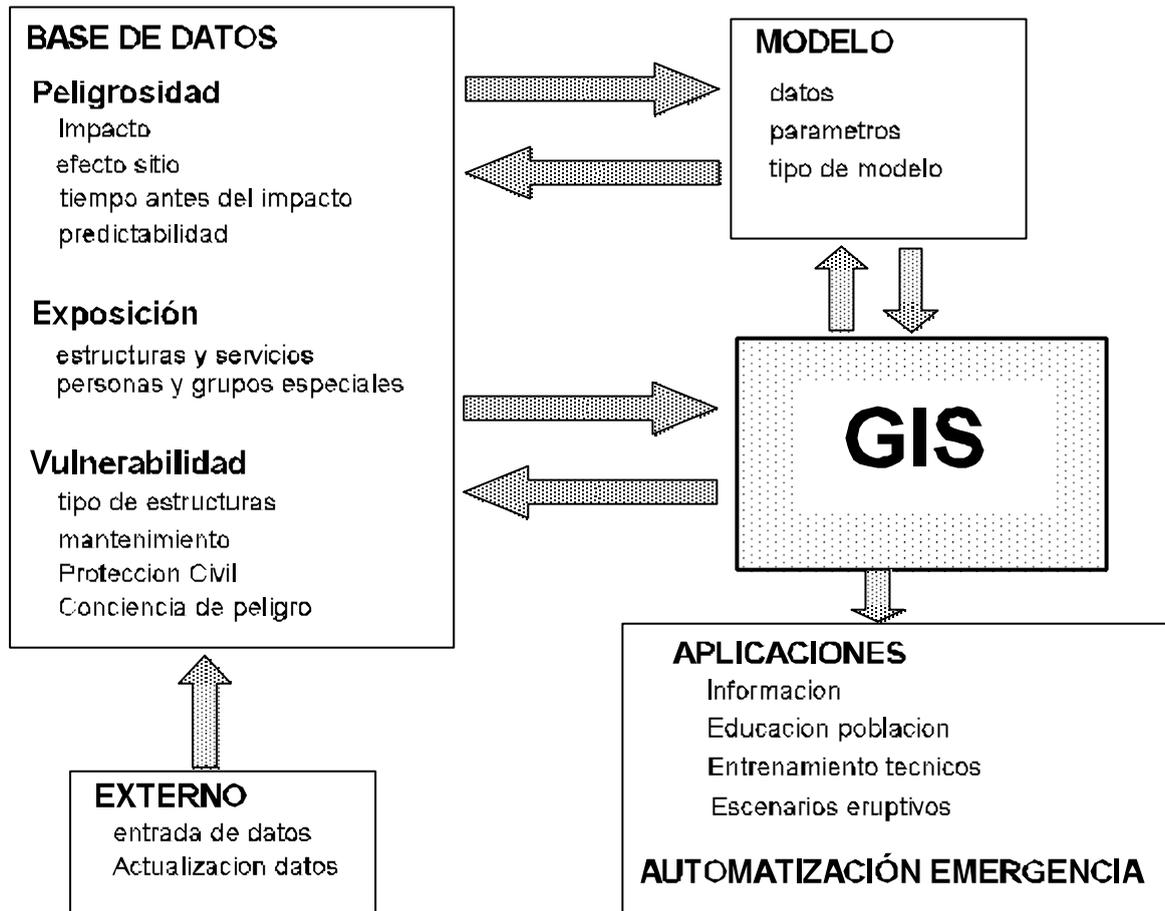


**Figura 1-13** Elementos que intervienen en una crisis volcánica

- V Datos procedentes del seguimiento de la erupción esperada
- DEM Modelo digital del terreno referido a GIS
- W Condiciones meteorológicas esperadas
- M Modelo numérico: determinista y/o simulación
- GIS Sistema de Información Geográfica
- \$ Información social, económica y administrativa de la zona
- R Recursos disponibles en la zona. Actuación de los mismos
- C Responsables protección civil

### 1.4.1. Bases de datos

La base de datos y el sistema de entrada de datos que constituyen el núcleo del sistema de información geográfica (Fig. 1-14) deben recoger información detallada sobre los tres elementos que definen el riesgo (*Peligrosidad, Vulnerabilidad y Exposición*):



**Figura 1-14** Sistema de información geográfica en prevención de desastres volcánicos

#### *Peligrosidad*

Cual es el efecto de cada uno de los peligros, sus posibles fuentes y los efectos ligados al sitio. Es importante saber de cuanto tiempo se dispone desde el momento en que se inicia la crisis volcánica hasta que ésta culmina. Otro aspecto importante es la predictabilidad del fenómeno, el sistema de detección de precursores (si es que existe) y su valoración.

Información encaminada a conocer el tipo de evento esperado y su posible punto de impacto. Información permanente aportada por los sistemas de vigilancia. Otras entradas que puedan inferir una mayor probabilidad de que se produzca el evento o varíen su peligrosidad (nivel de un lago, casquete de nieve, etc).

#### *Vulnerabilidad*

**Cual es el nivel de resistencia de cada una de las estructuras y servicios de la zona, cual es el límite que puede soportar la población. Es importante conocer cuales son las defensas disponibles y su grado de mantenimiento, estructura de la Protección Civil y grado de percepción del peligro.**

**Información actualizada sobre nuevas construcciones, reforzamiento de estructuras, obras de defensa, degradación de las defensas, urbanización en zonas de alta peligrosidad.**

**Datos sobre personas, bienes y estructuras en la zona. Ocurrencias extraordinarias que modifiquen la exposición (un partido de fútbol, temporada turística, etc)**

### *Exposición*

**Cuántas y que estructuras hay en la zona, cuántos habitantes, su distribución por edades, la presencia de grupos especiales que precisen algún tipo de tratamiento especial (niños, ancianos, enfermos, embarazadas, etc) y cuales son los servicios disponibles.**

### 1.4.2. Modelos

**Los modelos aportan otro grado de aproximación al fenómeno, por una parte nos permiten conocer *a priori* cuales serán los efectos del evento volcánico y por otra nos permiten evaluar cual es el grado de exposición que experimenta una determinada zona en un cierto tiempo. Además, los modelos deben analizar también los aspectos referentes a la exposición y a la vulnerabilidad, que en demasiadas ocasiones son dejados de lado por resultar académicamente poco brillantes. Los modelos, para que resulten eficaces deben satisfacer una serie de condiciones:**

#### *Fundamento*

**El modelo, tanto si es determinista como si es probabilístico, debe basarse en una fundamentación rigurosa de la física del fenómeno.**

#### *Información*

**El modelo debe tomar en consideración los datos disponibles en relación con el fenómeno a simular y sus resultados deben ser contrastados con la información que exista sobre el mismo.**

#### *Parámetros*

**El desconocimiento sobre muchos de los parámetros que rigen el fenómeno causante del desastre, o del comportamiento de las estructuras y de la población ante el mismo, hace que estos parámetros deban estimarse de forma subjetiva. Realizar distintos ensayos con todos los valores posibles es el proceder más correcto. Sin embargo es tan frecuente tratar de maximizar los efectos como de minimizarlos, siendo ambos proceder igualmente nefastos.**

### 1.4.3. Aplicaciones

Las aplicaciones responden a la complejidad de la información a la que el usuario puede acceder:

#### *Mapas*

Esta es la información más genérica que se obtiene de un sistema de este tipo. Los distintos mapas nos informan de la zonas donde se van a producir los daños más graves o cual es la zona que primero hay que evacuar o que vías van a quedar colapsadas. Dentro de este apartado de mapas debemos considerar también la información referente a las primas del seguro a pagar si se desea proteger una determinada inversión en un punto concreto de la zona expuesta.

#### *Test*

El sistema permite comprobar el grado de ajuste de los distintos modelos, ya que permite la comparación directa de los modelos y los datos procedentes de la reconstrucción de eventos pasados.

#### *Entrenamiento*

Estos sistemas permiten el desarrollo de simulaciones para ejercitar a los técnicos y responsables de la gestión de desastres ante un determinado evento. Estas simulaciones ponen fácilmente en evidencia los puntos débiles de la estructura que debe actuar en caso de desastre.

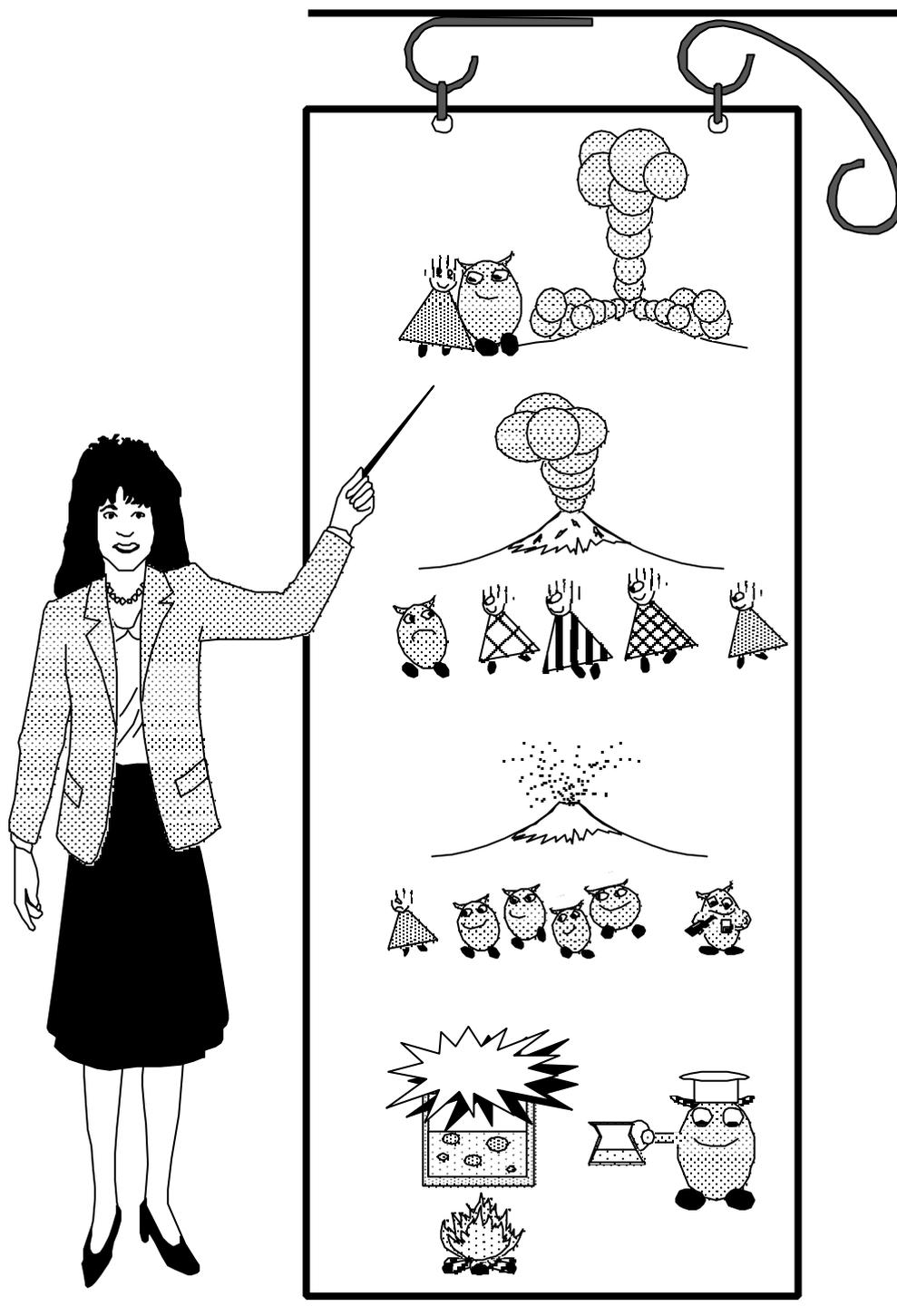
#### *Planificación de emergencias*

Esta posibilidad es la más importante desde el punto de vista de la mitigación de desastres. Una vez iniciado el desastre, es posible conocer inmediatamente con que grado afecta a las distintas zonas y por consiguiente como deben actuar las contramedidas.

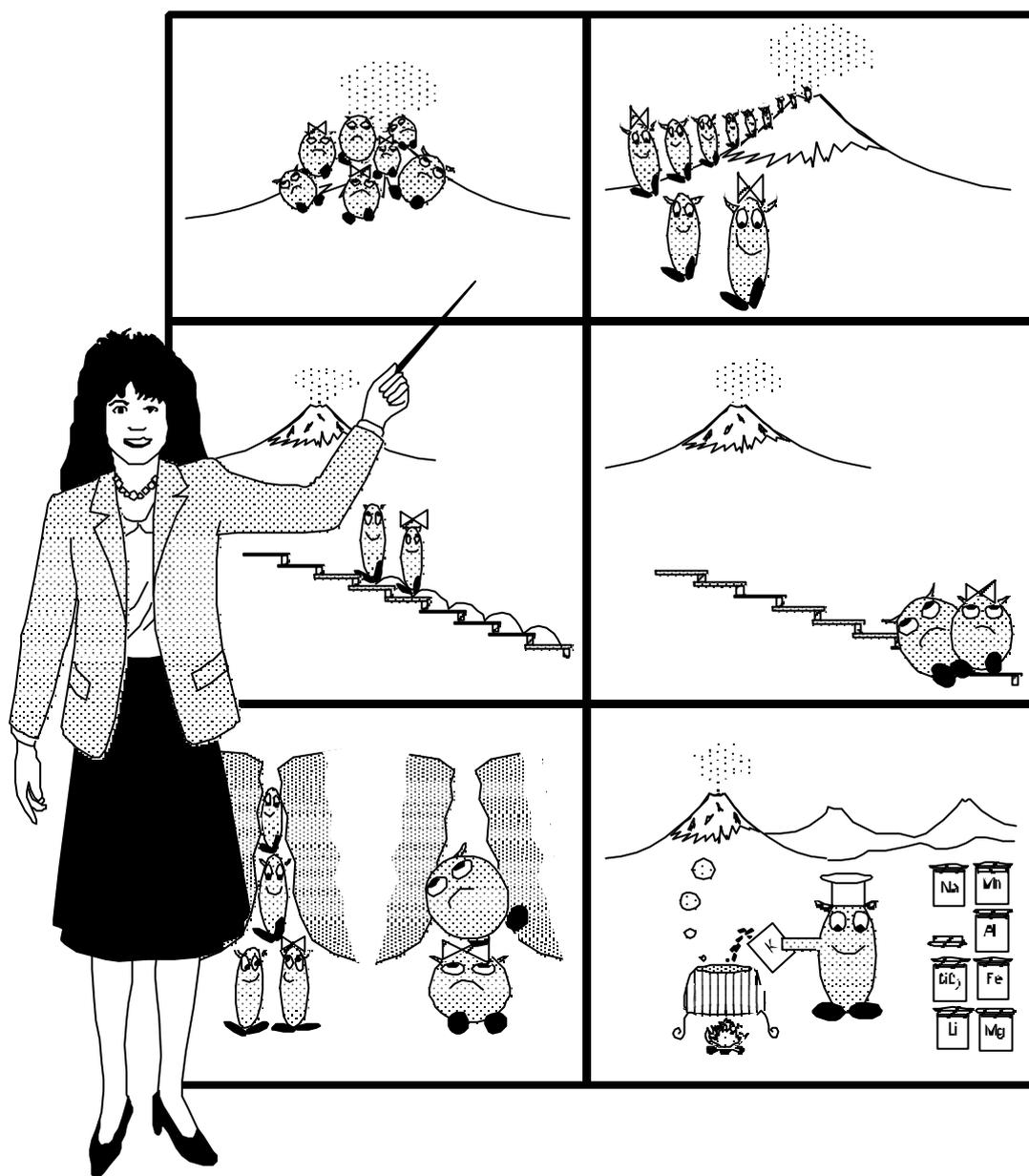
#### *Educacional*

La mejor respuesta frente a un desastre es la educación ciudadana. La información integrada que aportan estos sistemas permite la producción de material didáctico de distinto nivel, tanto para la ordenación del territorio como para la protección personal. Conferencias públicas, charlas en centros de enseñanza, material didáctico, carteles y folletos, son los medios habituales con los que cuentan los volcanólogos para comunicarse con la población sometida al riesgo volcánico. En caso de erupción es básico que la población conozca y confíe en los responsables de gestionar la crisis. Los conceptos básicos, por complejos que éstos puedan parecer siempre pueden exponerse en forma sencilla y asequible. La producción de todo tipo de material didáctico, especialmente aquel sustentado hoy por las más modernas tecnologías (CD-ROM, INTERNET, etc) es una labor primordial que debe desarrollar un centro de volcanología en una zona con actividad volcánica y cuya población, por distintos motivos ha perdido la conciencia histórica del riesgo volcánico. La Casa de los Volcanes de Lanzarote puede servir como modelo de centro dedicado íntegramente al mundo de los volcanes, cubriendo sus tres vertientes:

**científica, educativa y turística (Araña, 1994).**



**Figura 1-15** La educación de la población es la mejor contribución a la mitigación del riesgo volcánico. La figura representa un *auca* dedicada a la interacción agua-magma (material didáctico producido por la Casa de los Volcanes, Lanzarote)



**Figura 1-16** Composición química, viscosidad, velocidad de ascenso y descarga de magma se presentan aquí en forma fácilmente explicable (producción de la Casa de los Volcanes, Lanzarote)

## 2 DAÑOS QUE PUEDEN PRODUCIR LAS ERUPCIONES

R. Ortiz y V. Araña

El daño causado por los distintos factores de peligro de una erupción volcánica depende en primer lugar del tipo y magnitud de la erupción, de la distancia entre el elemento de riesgo y la fuente, de la topografía, del viento y otras variables meteorológicas, de la vulnerabilidad del elemento de riesgo y finalmente, del sistema de alarma y de la optimización del riesgo. Una vez evaluados los distintos factores de peligro volcánico, con clara referencia a su magnitud, extensión, duración y período de retorno, se debe proceder a estudiar los elementos de riesgo, definiendo para cada uno de ellos y para cada uno de los peligros su vulnerabilidad, la cual será función de sus propiedades estructurales y de su distancia al centro de emisión. El factor de exposición, que siempre reduce el factor de riesgo, introduce el hecho de que el elemento de riesgo no estará permanentemente en la zona de peligro y se expresa en % del tiempo total. Por ejemplo una construcción se supone que sólo durará 50 años, que una cosecha sólo está amenazada durante seis meses al año, los turistas sólo están en verano, etc.

### 2.1. PELIGROSIDAD VOLCANICA <sup>1</sup>

El concepto de peligrosidad volcánica engloba aquel conjunto de eventos que se producen en un volcán y pueden provocar daños a personas o bienes expuestos, por encima de un nivel o grado de riesgo asumido. Los fenómenos que ocurren en un volcán son bien conocidos desde hace mucho tiempo, sin embargo, para valorarlos en su aspecto directamente relacionado con el riesgo volcánico es útil repasar las grandes catástrofes de origen volcánico de las que tenemos noticias (Tabla I). Se observa inmediatamente que las erupciones que han producido mayor número de muertes lo han hecho de modo indirecto: provocando hambre al arruinar las cosechas, desencadenándose lahares o tsunamis que han llevado la destrucción muy lejos del aparato volcánico o por terremotos probablemente tectónicos ocurridos en la zona. Esto es debido a que un volcán no pasa inmediatamente del más absoluto reposo a la más violenta actividad, por lo que todas las grandes erupciones vienen precedidas de actividad menor, pero suficiente para que las poblaciones próximas al volcán evacúen espontáneamente.

---

<sup>1</sup> En este capítulo no pretendemos analizar detalladamente todos los fenómenos que pueden ocurrir en un volcán y constituir un peligro volcánico. El lector interesado puede consultar la Volcanología de Araña y Ortiz (1984), Nuevas Tendencias en Volcanología de Martí y Araña, (editores científicos 1993) ambos publicados por el CSIC o los Elementos de Volcanología de la serie Casa de los Volcanes (Díez Gil, editor científico 1992).

<b>Tabla I: GRANDES CATÁSTROFES VOLCÁNICAS</b>			
<b>Volcán</b>	<b>año</b>	<b>muertos</b>	<b>Fenómeno responsable</b>
Kelud (Indonesia)	1586	10.000	Lahar
Vesuvio (Italia)	1631	3.500	Explosión. Lavas. Lahar
Etna (Italia)	1669	20.000	Terremoto. Lavas.
Merapi (Indonesia)	1672	3.000	Colada piroclástica. Lahar
Awu (Indonesia)	1711	3.200	Lahar
Papandayan(Indonesia)	1722	2.957	Colapso del edificio volcánico
Oshima (Japón)	1741	>1.500	Tsunami
Asama (Japón)	1783	1.200	Colada piroclástica
Laki (Islandia)	1783	10.000	Grandes coladas de lava. Hambre en toda Europa
Unzen (Japón)	1792	15.000	Colapso del edificio volcánico. Tsunami
Tambora (Indonesia)	1815	92.000	Erupción gigante. Hambre
Galunggung (Indonesia)	1822	>4.000	Lahar.
Awu (Indonesia)	1856	2.800	Lahar.
Krakatoa (Indonesia)	1883	36.417	Tsunami generado por caldera
Awu (Indonesia)	1892	1.500	Colada piroclástica. Lahar.
Mont Pelée (Antillas)	1902	28.000	Colada piroclástica.
Soufriere St. Vincent (Antillas)	1902	1.565	Colada piroclástica.
Kelud (Indonesia)	1919	5.000	Lahar
Lamington (Papua NG.)	1951	3.000	Explosión. Flujo piroclástico.
Agung (Indonesia)	1963	2.000	Colada piroclástica.
Nevado del Ruiz (Colombia)	1985	25.000	Lahar
Lago Nyos (Camerún)	1986	1.700	Emisión de gases
Pinatubo (Filipinas)	1991	5.000	Lahares

Una erupción gigante, como la del Krakatoa en 1883, duraba ya varios meses cuando se produjo el cataclismo (Simkim y Fiske, 1983). Pompeya, la ciudad símbolo de la capacidad de destrucción del volcán, había sido destruida por un terremoto 15 años antes de la erupción del Vesuvio del año 79, siendo las víctimas causadas directamente por la erupción relativamente pocas. Más escaso es aún el número de víctimas (una veintena) en Herculano, cuya población fue evacuada por mar ante la reactivación del Vesuvio. Varios miles de años antes, la ciudad de Akrotiris en la isla de Thera, en el mar Egeo, también fue abandonada por sus habitantes antes de que fuese sepultada por las cenizas de una erupción. En sentido contrario, poblaciones destruidas por el volcán como Armero (Colombia, erupción del Nevado del Ruiz en 1985) (Podesta y Giesecke, 1989; Williams, 1989-1990), o Saint Pierre, (Martinica, erupción del Mont Peleé en 1912) (Boudon y Gourgaud, 1989), en una u otra forma no se les permitió evacuar.

La mayor parte de los eventos volcánicos está limitada a las proximidades del volcán (caída de grandes bombas y nubes de gases tóxicos) o bien presenta una movilidad baja, como las lavas. Incluso, los grandes efectos del volcanismo explosivo están limitados a un entorno de pocos kilómetros. Otras catástrofes asociadas a los volcanes, como pueden ser los lahares o los deslizamientos de ladera pueden ocurrir sin erupción o terremoto, disparados simplemente por unas lluvias anormales que inestabilizan los materiales volcánicos.

No sólo las vidas humanas son los elementos de riesgo, ya que nuestras sociedades poseen y depende estructuras básicas muy vulnerables, como son los sistemas de comunicación o las redes de distribución de agua y energía. Además, los núcleos urbanos en la proximidad de volcanes potencialmente peligrosos son cada vez mayores, llegándose en algunos casos a urbanizar hasta las laderas de un volcán de alto riesgo como el Vesuvio. Es probable que la Tabla I haya que modificarla dentro de pocos años, cuando se produzca una catástrofe volcánica en el nuevo orden urbanístico (Chester, 1993). Como ejemplo podemos citar el volcán Redoubt (Alaska, año 1989): una erupción que no provoca ninguna víctima, pero produjo daños en el tráfico aéreo comercial a más de 4000 km del volcán, que supusieron 80 millones de dólares en un sólo avión (Przedpelski y Casadevall, 1994). Durante la erupción del Pinatubo (Filipinas, año 1991) sufrieron daños por la nube eruptiva 14 grandes aviones (Boeing 747 y DC10) con el resultado de tener que cambiar 10 motores (Casadevall, 1991 & 1995).

### 2.1.1. Magnitud de una erupción

Uno de los problemas no resueltos de la volcanología actual es poder comparar dos erupciones, habiéndose propuesto varios tipos de escala basadas generalmente en el volumen de materiales emitidos o en la energía liberada  $W$ :

$$W = mc (T_e - T_a) + mL$$

donde  $m$  es la masa total del material emitido,  $c$  el calor específico (0.25 cal/g °C) y  $L$  el calor de fusión (50 cal/g).  $T_e$  la temperatura de emisión y  $T_a$  la temperatura del aire. Sin embargo, estas escalas fácilmente evaluables, no reflejan los efectos de la erupción, especialmente el carácter explosivo o no de la misma.

**Tabla II INDICE DE EXPLOSIVIDAD VEI (Basado en Newhall y Self 1982, en Simkim y Siebert 1994)**

VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Descripción general	no explosiva	pequeña	moderada	media	grande	muy grande			
Volumen de cenizas (m <sup>3</sup> )	<10 <sup>4</sup>	<10 <sup>6</sup>	<10 <sup>7</sup>	<10 <sup>8</sup>	<10 <sup>9</sup>	<10 <sup>10</sup>	<10 <sup>11</sup>	<10 <sup>12</sup>	
Altura de columna (km) sobre el cráter sobre el nivel del mar	<.1	.1-1	1-5	3-15	10-25	>25	....	....	....
Descripción cualitativa	---	Efusiva	Explosiva			Cataclismo	Paroxismo	Colosal	
						Severa	Violenta	Terrible	
Tipo de Erupción		Stromboliana			Plineana				
		Hawaiana		Vulcaniana				Ultra-Plineana	
Duración (horas) (solo fase explosiva)		..... < 1 .....				..... > 12 .....			
				..... 1-6 .....					
						..... 6-12 .....			
Inyección troposférica	mínima	pequeña	media	grande.....					
Inyección estratosférica	No	No	No	Posible	Siempre	Significativa .....			

Otra aproximación parte de la altura alcanzada por la columna eruptiva, obteniéndose una escala conocida como Índice de Explosividad Volcánica (VEI), que refleja bien la actividad explosiva, aunque no es capaz de valorar adecuadamente las grandes erupciones de tipo basáltico. Como las grandes catástrofes volcánicas han sido siempre provocadas por erupciones explosivas, la utilización del VEI se ha generalizado para caracterizar todo tipo de erupción.

### 2.1.2. Metodología para la evaluación de la peligrosidad volcánica

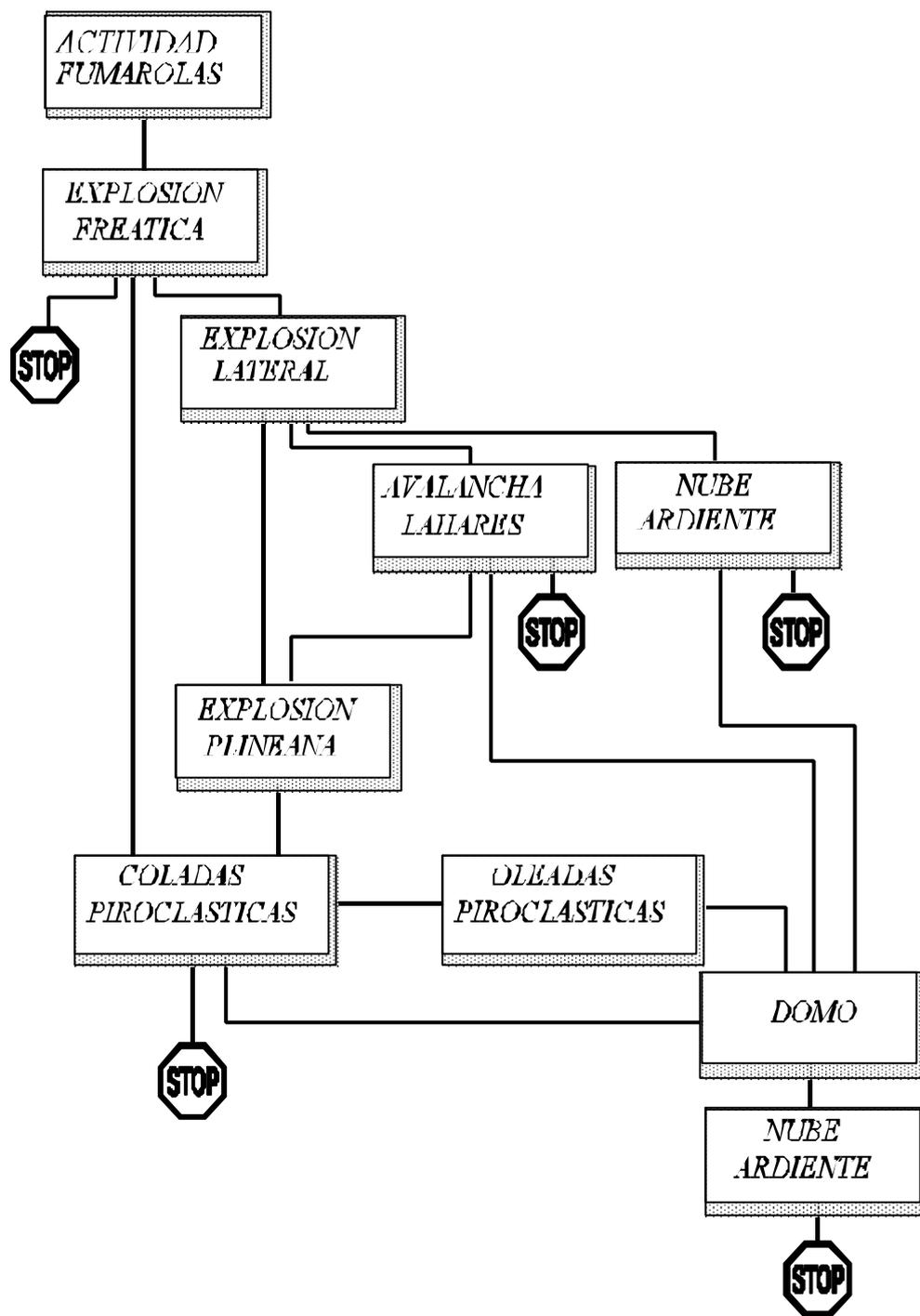
El estudio de la peligrosidad volcánica exige dividir cada uno de los episodios volcánicos en elementos muy sencillos que se evalúan independientemente. Cada uno de estos elementos constituye un peligro volcánico, debiéndose definir para cada uno de ellos su magnitud (volumen, energía), alcance, duración del impacto y tiempo de propagación. Además, deberemos establecer las relaciones secuenciales entre ciclos eruptivos, peligros y períodos de retorno. Debe tenerse presente que toda esta información será procesada posteriormente de modo homogéneo, entrando como capa en el sistema de información geográfica a fin de poder establecer los mapas de riesgo volcánico. Este proceder es muy distinto al que se sigue habitualmente para fines académicos.

Una vez aislados los tipos de peligro correspondientes a cada una de las fases del ciclo eruptivo, debe procederse a analizarlos individualmente, siempre tratando de poner de manifiesto aquellos aspectos que tengan relevancia a efectos de daños. Además, en aquellos casos que sea posible, debe realizarse el análisis del peligro volcánico de forma que puedan determinarse los parámetros físicos necesarios para la modelización numérica del mismo. En todo caso deberemos establecer las leyes de atenuación con la distancia, aunque sea de modo empírico. Una vez más hay que insistir en que toda esta información deberá procesarse después en un sistema de información geográfica, por lo que deberá prestarse especial atención a que todos los datos estén adecuadamente referenciados y cuantificados. De otra forma, es muy fácil que todo el trabajo de campo sea sólo útil en un porcentaje muy pequeño, al no haberse operado de forma sistemática desde el primer momento.

La preparación de formularios o procedimientos para cada peligro permite sistematizar el trabajo de campo y evita que se olviden datos importantes para la adecuada caracterización del peligro. Este punto es importante cuando se quiere proceder al análisis de un complejo aparato volcánico, trabajo en el que deberá participar un elevado número de investigadores de formación muy variada.

La referencia geográfica es otro elemento que deberá cuidarse especialmente: GPS, base cartográfica, foto aérea y foto satélite no tienen porque ser coincidentes, por lo que se debe tener mucho cuidado al utilizarlas. La experiencia señala que es necesario reciclar al personal que realiza habitualmente trabajos de campo del tipo de cartografía geológica para que realice adecuadamente el reconocimiento de las formas volcánicas a efectos de riesgo. Aspectos como la superposición de coladas, las alturas críticas en lavas y coladas piroclásticas o el

**adecuado muestreo de las distintas formaciones pasan generalmente desapercibidas en los trabajos de campo.**



**Figura 2-1** La reconstrucción de la historia eruptiva de un aparato volcánico es el primer eslabón de cualquier evaluación de riesgo volcánico. Es importante establecer las relaciones temporales entre los distintos eventos eruptivos, detallando las transiciones entre ellos. La figura correspondiente a la síntesis y secuencias de los eventos reconocidos en la historia eruptiva del volcán Mont Pelee (Martinica) y representa el escenario eruptivo que se espera para la próxima crisis del volcán (Cheminée et al., 1995)

<b>Tabla III PELIGROSIDAD VOLCANICA (NLA 1992 modificado)</b>	
<b>Factores de Peligro</b>	<b>Tipo de Daño</b>
Proyección de bombas y escorias	Daños por impacto. Incendio.
Caída de piroclastos	Recubrimiento por cenizas. Colapso de estructuras. Daños a la agricultura. Daños a instalaciones industriales.
Dispersión de cenizas	Problemas en tráfico aéreo. Falta de visibilidad
Lavas y domos	Daños a estructuras. Incendios. Recubrimiento por lavas.
Coladas y Oleadas Piroclásticas. (Nubes ardientes)	Daños a estructuras. Incendios. Recubrimiento por cenizas.
Lahares	Daños a estructuras. Arrastres de materiales. Recubrimiento por barros.
Colapso total o parcial del edificio volcánico	Daños a estructuras. Recubrimiento por derrubios. Avalanchas. Tsunami inducido.
Deslizamiento de laderas	Arrastres de materiales. Recubrimiento por derrubios. Daños a estructuras.
Gases	Envenenamiento. Contaminación aire y agua.
Onda de choque	Rotura de cristales y paneles.
Terremotos y temblores volcánicos	Colapso del edificio volcánico. Deslizamiento de masas. Daños a estructuras.
Deformación del terreno	Fallas. Daños a estructuras.
Variaciones en el sistema geotérmico de acuíferos	Cambios en la temperatura y calidad del agua
Inyección de aerosoles en la estratosfera.	Impacto en el clima. Efectos a largo plazo y/o a distancia.

<b>Tabla IV INFORMACIÓN REQUERIDA SOBRE CADA PELIGRO (NLA 1992)</b>	
<b>Factor de Peligro</b>	<b>Información y relación de daños</b>
Proyección balística	Centro de emisión. Área de caída. Tamaño. Número impactos. Temperatura.
Caída de piroclastos	Centro de emisión. Espesor del depósito. Tamaños de partícula (máxima, media). Isopacas
Coladas de lava	Centro de emisión. Espesor. Dirección de flujo. Tiempos de recorrido. Temperatura. Área cubierta.
Domos	Emplazamiento. Velocidad de crecimiento. Tamaño crítico. Vías de destrucción.
Coladas y oleadas piroclásticas. Nubes ardientes.	Punto de origen. Espesor. Dirección de flujo. Tiempos de recorrido. Temperatura. Zona límite.
Lahares	Punto de ocurrencia. Cauce. Área inundada. Nivel del agua. Tiempos de recorrido.
Inundaciones	Punto de ocurrencia. Cauce. Área inundada. Nivel del agua. Tiempos de recorrido.
Colapso del volcán. Avalanchas.	Lugar del colapso. Alcance del depósito. Topografía antes y después del colapso.
Deslizamiento de ladera	Lugar de ocurrencia. Meteorología.
Tsunami	Altura de inundación. Zona inundada.
Emisión de gases	Lugares afectados. Meteorología. Composición.
Ondas de choque	Lugares afectados.
Terremotos	Epicentro. Magnitud.
Deformación cortical	Localización de las fallas. Desplazamiento. Duración de la deformación. Zonas afectadas.
Actividad geotérmica	Puntos de observación. Cambios de temperatura en fumarolas y fuentes.
Fluctuaciones en acuíferos	Puntos de observación. Cambios en el nivel del agua.
Información común	Fuentes de información. Fecha del evento. Duración. Datos.

## Ejemplo de Ficha para peligros volcánicos

VOLCÁN						
ERUPCIÓN CICLO ERUPTIVO			CENTRO DE EMISIÓN		PERÍODO DE RETORNO	
N	PELIGRO	MAGNITUD	ALCANCE	DURACIÓN	TIEMPO DE PROPAGACIÓN	P
1						
2						
3						
.						
N número de orden. P actividad precedente (si existe)						

## 2.2. VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad de los elementos de riesgo es muy difícil de evaluar, pues no existen suficientes experiencias recientes en las que haya sido posible determinar directamente los daños sobre elementos de riesgo y grandes concentraciones de riesgo. Las vulnerabilidades se han establecido en base al análisis de observaciones antiguas y extrapolaciones.

La vulnerabilidad se expresa en % del valor total del elemento en riesgo. Este valor, al ser un concepto estadístico, hay que calcularlo para todos los elementos similares (igual tipo de construcción, de cultivo, etc), por ello se prefiere definir una escala de daños de tres niveles: ligero (0-20%), moderado (10-60%) y grave (50-100%) que se superponen por la dificultad real de distinguir si un daño es del 45% o 55% del total. Hay que tener presente que cuando una estructura sufre daños superiores al 40% ya no es rentable su reparación y debe ser destruida. De modo semejante, la Escala Macrosísmica Europea 1992 (Grünthal, 1993), define cinco niveles para valorar los daños sufridos por los edificios frente a una sacudida sísmica: mínimo, moderado, substancial, grave y destrucción total, correspondiendo los dos primeros a daños no estructurales y los tres siguientes a daños en la estructura: ligeros, graves y colapso del edificio.

Para cada uno de los peligros volcánicos, en sus distintos grados de intensidad, y para cada uno de los elementos de riesgo hay que analizar la correspondiente vulnerabilidad. El resultado de este análisis se puede expresar en forma matricial (matriz de vulnerabilidad) para transferirlo al sistema de información geográfica como capas distintas. En general, el

daño producido por coladas lávicas está limitado al entorno próximo del volcán y fuertemente controlado por la topografía. Las avalanchas, incluyendo en ellas las coladas y oleadas piroclásticas, pueden causar la destrucción total a decenas de km del volcán. Las nubes de cenizas pueden causar pérdidas millonarias a miles de km del volcán. La complejidad de la actual sociedad tecnológica hace que sea mucho más vulnerable que las primitivas sociedades de subsistencia. Hoy, nuestros sistemas de energía y comunicaciones nos hacen tremendamente vulnerables ante la catástrofe volcánica.

<b>Tabla V</b>	
<b>PÉRDIDAS PRODUCIDAS EN LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN St. HELENS</b>	
<b>Elemento de riesgo</b>	<b>Pérdidas en millones de dólares</b>
Bosques (madera para construcción)	450
Propiedades (casas)	103
Agricultura	39
Limpieza	363
Comunicaciones	112
Total	1.418

(Lipman y Mullineaux 1981)

### 2.2.1. Coladas lávicas

El daño producido por una colada lávica depende de la velocidad de avance del frente de lava, es decir del tiempo disponible para establecer las medidas de mitigación del riesgo una vez recibida la alarma. La viscosidad, el ritmo de emisión y la topografía son los factores condicionantes. Especialmente grave es la situación, cuando la lava se canaliza en barrancos y/o desarrolla túneles lávicos que le permiten recorrer grandes distancias sin enfriarse y mantener una alta movilidad muy lejos del centro de emisión. Velocidades de hasta 16 km/h se han medido en canales abiertos, mientras que en túneles se alcanzan los 100 km/h. El conocimiento que se tiene sobre los efectos de los flujos lávicos procede mayoritariamente del estudio de las coladas de los grandes volcanes basálticos como Kilauea, Etna y Piton de la Fournaise, mientras que se sabe muy poco de la dinámica de las coladas de andesitas, dacitas o riolitas. La erupción del Lonquimay (Chile 1988) permitió estudiar el comportamiento de una colada andesítica de volumen considerable ( $0.23\text{km}^3$ ) (Naranjo et al., 1992).

Las muertes por flujos lávicos son un hecho raro y son debidas generalmente a imprudencias o a intoxicación por la desgasificación de la colada. Un caso excepcional fue la descarga lateral del lago de lava del Nyragongo en 1977, que produjo entre 50 y 300 víctimas por una

colada de una viscosidad extremadamente baja, consecuencia de la desgasificación experimentada durante su larga permanencia en el lago de lava.

La relativa fluidez de las lavas basálticas hace que éstas no posean un alto poder destructor sobre las estructuras, siendo frecuente observar edificios totalmente rodeados de lava, sin haber sufrido daños estructurales. Sin embargo, la elevada temperatura de la lava puede provocar el incendio del edificio. En todo caso, el coste de la excavación en la colada lávica para facilitar el acceso puede ser mayor que el coste del edificio. La experiencia obtenida contemplando la resistencia de las estructuras frente al avance de una lava ha permitido diseñar defensas activas, mediante barreras sencillas de construir, que pueden limitar determinadas concentraciones de riesgo. Evidentemente, grandes erupciones lávicas provocan la total destrucción de todos los elementos de protección. Si el volumen de lava emitido es suficientemente grande todas las barreras serán superadas en más o menos tiempo o bien el coste de las defensas superará el valor de los elementos de riesgo. Otra solución es desviar las coladas a través de canales artificiales hacia otras zonas que presenten menor valor (Abersten, 1984).

Aplicando grandes chorros de agua sobre las lavas, especialmente cuando están muy próximas a la costa, es posible enfriar su frente, que así constituye una barrera. Sin embargo, la baja conductividad térmica de las lavas hace que esta técnica sólo pueda ser utilizada si el frente de lava está muy fracturado, de forma que permita entrar el agua al interior de la colada y no sólo rociar la superficie. Otra actuación importante es el refuerzo de los flancos laterales de las coladas, para evitar que, con condiciones topográficas favorables, se pueda producir el colapso parcial del flanco, dando origen a una colada secundaria que puede desarrollar una velocidad de avance elevada y afectar zonas que se creían seguras.

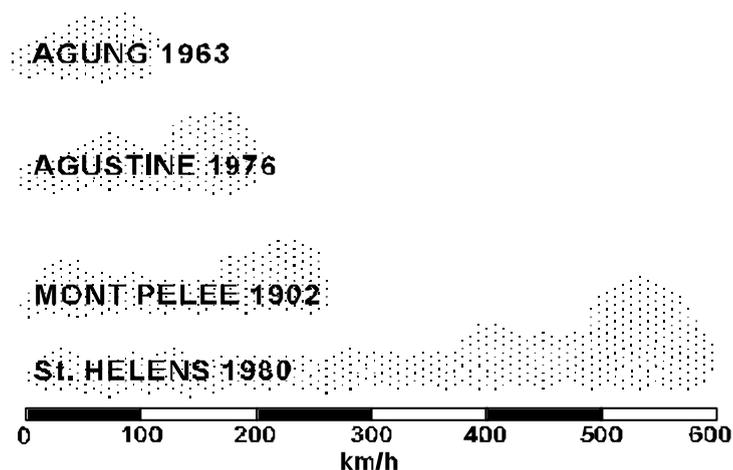
Es importante recordar que las lavas están calientes, y que en las proximidades de una colada la radiación térmica es importante. Los materiales plásticos se degradan a temperaturas muy bajas, desprendiendo gases que son a su vez tóxicos y corrosivos. Estos elementos constituyen hoy una parte muy importante de nuestras estructuras (construcciones y vehículos) y aumentan considerablemente la vulnerabilidad. Obviamente la vulnerabilidad para las cosechas cubiertas por una colada lávica es del 100%, por el contrario, es frecuente en islas volcánicas que las coladas ganen terreno al mar, aumentando con ello los recursos de la isla.

### 2.2.2. Coladas y oleadas piroclásticas

Si la experiencia sobre daños producidos por coladas lávicas que afectan a estructuras modernas es escasa, más escasa es la existente sobre los daños producidos por coladas y oleadas piroclásticas. Todos estos fenómenos tienen en común que pueden transportar materiales a muy alta temperatura a considerable distancia del volcán. Una fórmula empírica nos proporciona la distancia  $X$  a la que se alcanza la temperatura  $T$  en flujos procedentes de una erupción de índice de explosividad VEI (Tiedemann, 1992):

$$X = \frac{\sqrt[3]{VEI^{13.6}}}{1.94 t^{0.67}}$$

según esto, en una erupción moderadamente explosiva, VEI 4, se pueden alcanzar más de 100°C a 10 km del centro de emisión, con VEI 5 a 10 km se superan los 500 °C y los 100 °C a 30 km. Obviamente, los puntos considerados deben poder ser alcanzados por los flujos. Obstáculos topográficos interpuestos hacen que el flujo se detenga o quede muy debilitado y la temperatura decrece rápidamente. La mortandad en la población depende principalmente de la temperatura, desde relativamente pocas víctimas a 200°C hasta la total aniquilación de la población a 600°C. El otro factor a considerar es el contenido en partículas finas, admitiéndose que con una concentración de sólo 0.1 kg/m<sup>3</sup> se produce la muerte. Temperaturas o concentraciones más bajas pueden producir también daños importantes. (Baxter et al, 1995)



**Figura 2-2** Velocidades máximas estimadas para algunas coladas piroclásticas. (Datos tomados de Bardintzeff, 1992).

Además del choque térmico debemos considerar el impacto de estos flujos sobre los elementos de riesgo. Es suficiente recordar las imágenes de la ciudad de Saint Pierre que en su mayor parte quedó reducida a escombros por la erupción del Mont Peleé en 1902. Debido a la falta de datos, podemos considerar que estos efectos van a presentar una ley de variación similar a la inferida para la temperatura y seguir utilizando la fórmula anterior para establecer de modo simple la vulnerabilidad para este tipo de eventos. En primera aproximación podemos considerar velocidades del orden de 50 m/s, aunque en zonas próximas al centro de emisión se alcanzan fácilmente 150 m/s. A estas velocidades los tiempos de recorrido son tan cortos que la única defensa es haber evacuado anteriormente a la población expuesta. El estudio mediante modelización numérica de todo el complejo proceso que tiene lugar en una erupción explosiva (establecimiento de la columna, colapso, génesis de coladas y oleadas piroclásticas, desarrollo de nubes acompañantes) sugiere la posibilidad de construir grandes

barreras que, situadas estratégicamente, limitarían considerablemente el alcance de los flujos (Dobran 1993).

Las oleadas piroclásticas presentan menor importancia a efectos de valoración de riesgo que las coladas, aunque pueden utilizarse criterios similares para su valoración, teniendo presente que están menos controladas por la topografía que las coladas. Un caso especial lo constituyen las erupciones en aguas someras, como las surseyanas, donde las oleadas pasan a convertirse en el primer factor de peligro. Un modelo sencillo, del tipo del cono de energía permite delimitar fácilmente las zonas afectadas (Malin y Sheridan, 1982).

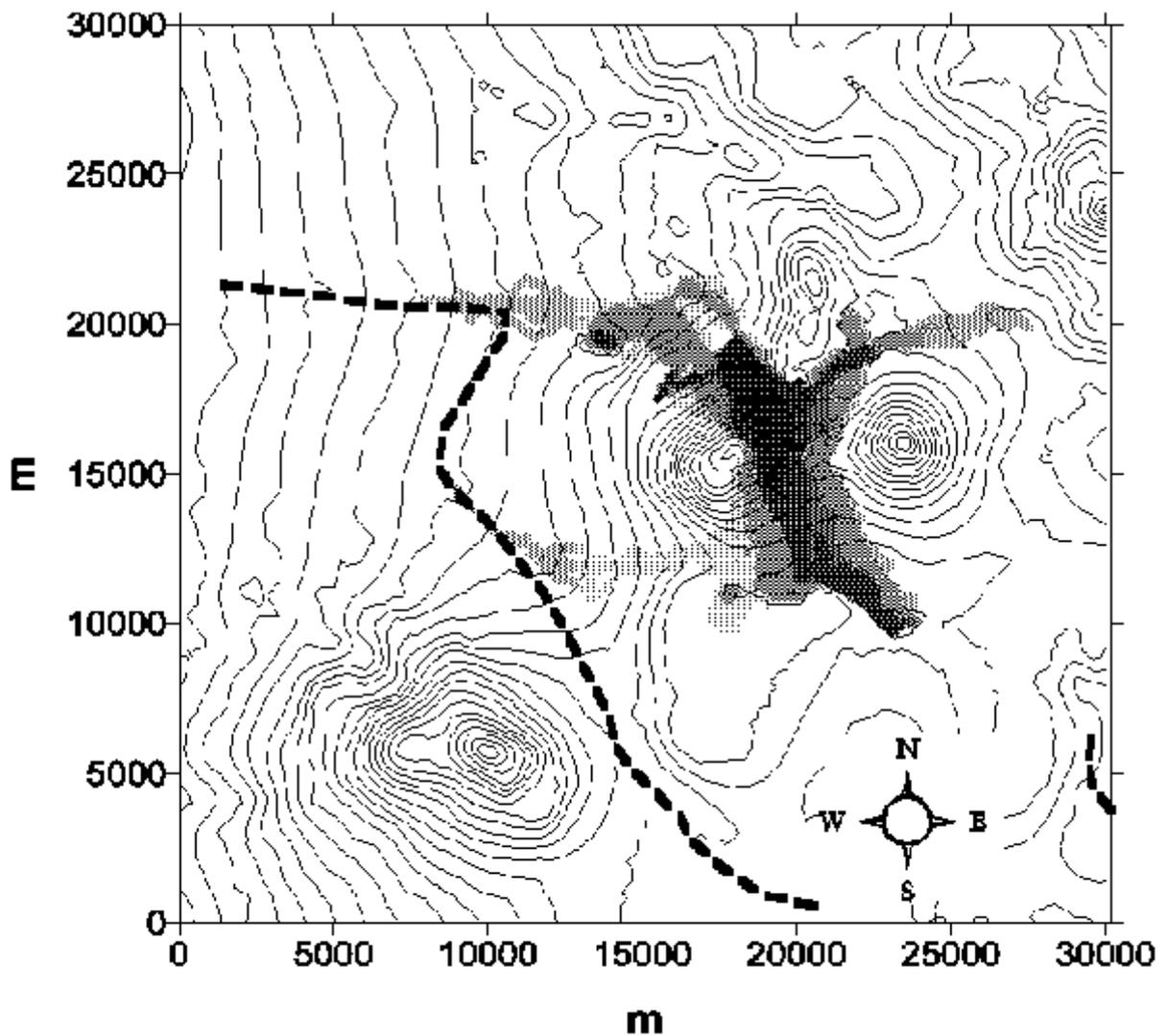
Tabla VI ESCALA PARA COLADAS PIROCLÁSTICAS (NLA 1992)				
Escala	Volumen del depósito km <sup>3</sup>	Dirección del flujo	Camino seguido	Distancia recorrida km
Menor	$V < 0.01$	Zonas bajas alrededor del cráter. En la dirección de apertura del cráter.	Siguiendo los valles, hacia las zonas bajas.	1 ~ 5
Media	$0.01 < V < 1$	Se extiende desde todas las zonas altas del cráter	Siguiendo los valles. Supera pequeños desniveles.	5 ~ 20
Grande	$1 < V$	En todas las direcciones	Se expande en todas direcciones. Supera valles y pequeñas elevaciones.	20 ~ 100

En cada zona volcánica deberemos estudiar detalladamente como son estos depósitos piroclásticos, correlacionándolos con cada estado del volcán y determinando los parámetros necesarios para su modelización. Aunque algunas estructuras pueden resistir, los seres vivos son muy vulnerables a este tipo de evento, donde están expuestos a temperaturas que pueden alcanzar los 300°C, a la sofocación provocada por la gran cantidad de partículas en suspensión y al impacto de las mismas.

La ciudad de Herculano puede servir de ejemplo para efectos producidos por oleadas piroclásticas cuya fuente está relativamente lejana: la ciudad fue alcanzada por una serie de oleadas piroclásticas de baja y alta temperatura, en general las estructuras resistieron el impacto de los flujos, aunque muchos elementos de madera se incendiaron; las personas que no habían podido evacuar, murieron al ser alcanzadas por las primeras oleadas (frías), las partes de los cuerpos que no estaban completamente cubiertas por los depósitos piroclásticos fueron calcinados posteriormente por las oleadas de alta temperatura. Las cosechas

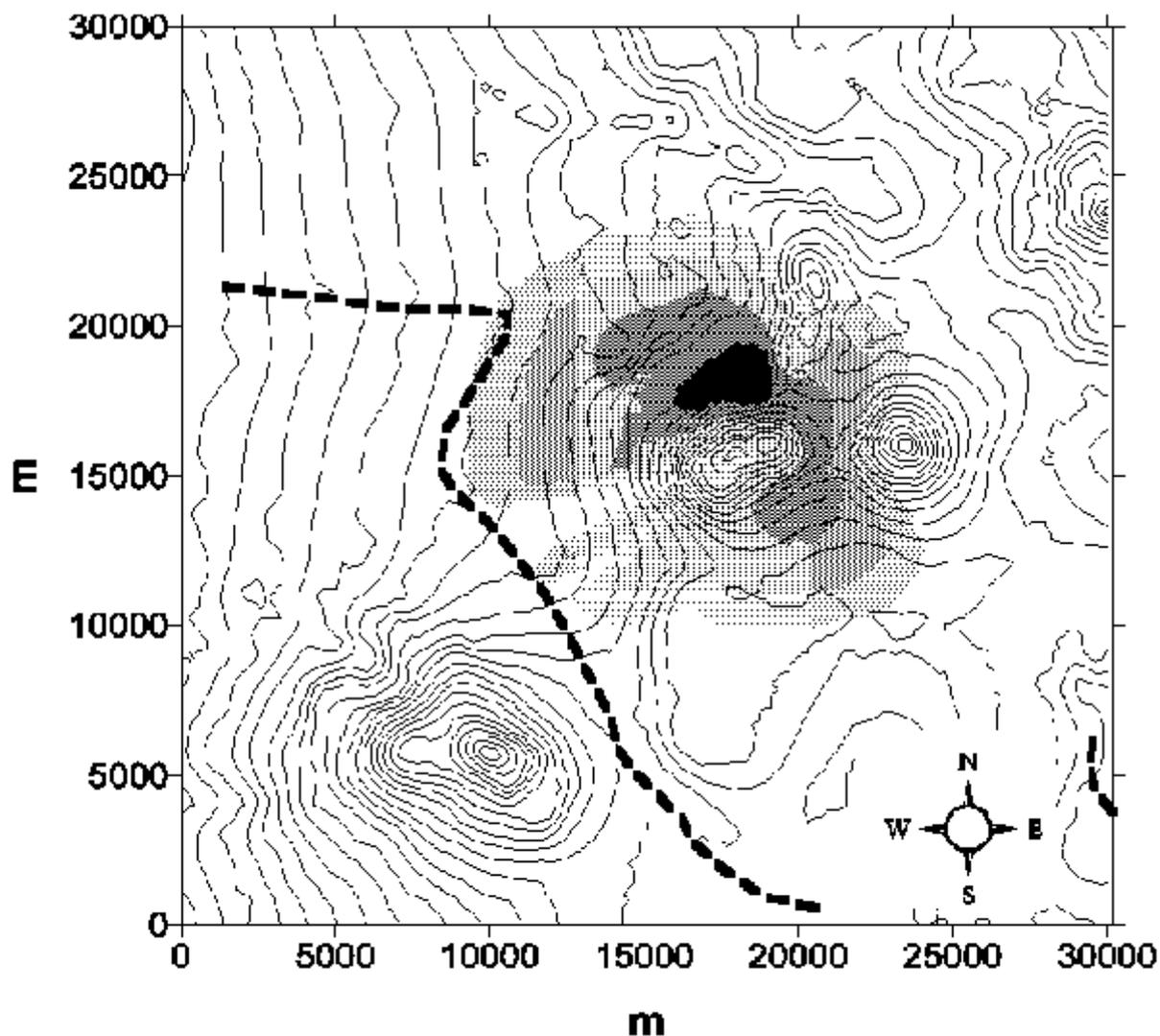
**afectadas por un evento de este tipo resultan destruidas en un 100%. Sólo en zonas marginales pueden sufrir daños menores. La pequeña extensión de estas zonas con respecto al área afectada directamente por el flujo hace que sea irrelevante a efectos de valoración del riesgo.**

**Las figuras siguientes corresponden a la modelización de las coladas y oleadas piroclásticas para el volcán Lascar, situado al norte de Chile (Gonzalez-Ferrán, 1994). Se asume una erupción de VEI 4, similar a la ocurrida el 18 de Abril de 1993 en cuyo estudio participaron miembros del Dep. de Volcanología del CSIC, junto con colegas de Argentina y Chile (Gardeweg et al, 1993). El carácter asimétrico del volcán Lascar se refleja en todos los fenómenos, siendo un buen ejemplo del control topográfico de estos flujos gravitacionales. Estos modelos para la evaluación del riesgo volcánico se realizaron una vez conocida la noticia de la erupción para poder preparar la expedición al volcán.**



**Figura 2-3** Volcán Lascar: Modelo de la zona afectada por coladas piroclásticas. La línea de trazos corresponde al paso de Toconao (Chile) a Catua (Argentina) por la laguna Lejía. Los ejes x, y están en m. Obsérvese que el recorrido de los flujos supera los 12 km.

**El mapa de las coladas piroclásticas generado por el modelo presenta un buen acuerdo con lo que se pudo observar posteriormente (Gardeweg 1993). Especialmente significativo es el corte de la pista que une las poblaciones de Toconao y Cátua.**



**Figura 2-4** Volcán Lascar: Modelización de la zona afectada por oleadas piroclásticas. Se ha utilizado un modelo de cono de energía, con altura equivalente de colapso de 200 m.

### 2.2.3. Proyección balística

La vulnerabilidad frente a la proyección balística de bloques, bombas o lapilli es función del alcance de los objetos proyectados y de la velocidad de impacto (velocidad terminal). En general, la proyección de bombas es característica de las fases vulcanianas de la erupción, típica en el momento de apertura del cráter y siendo los grandes bloques fragmentos de la cobertera, que caen bastante fríos, por lo que la temperatura de los mismos no supone un riesgo añadido, al menos para elementos de riesgo no altamente inflamables. En erupciones basálticas también se proyectan bombas cuyo núcleo permanece fundido, pero su alcance está muy limitado al entorno del centro de emisión.

Las velocidades de impacto o velocidad límite de caída son función de las dimensiones, densidad y forma del proyectil y alcanzan fácilmente los 100 m/s (360 km/h) para una bomba de 20 cm de diámetro y 5 kg. El alcance es función de las dimensiones, forma y densidad del proyectil y de la velocidad de proyección, que depende de la velocidad de salida de los gases en el último tramo del conducto, pudiendo alcanzar 1000 m/s en las erupciones más explosivas. En erupciones basálticas la velocidad de proyección es considerablemente menor (100 m/s). Se han referenciado caídas de bombas hasta a 40 km del volcán, aunque distancias de 5-20 km son las más habituales en este tipo de eventos. La topografía del volcán es otro factor a tener presente, por ejemplo el Stromboli, con una erupción VEI 3 en el año 1930 lanzó un bloque de 30 Tm a 3 km del cráter. La caída de bombas es muy peligrosa para las personas y pueden dañar seriamente las estructuras de los edificios que sufran los impactos. Especial cuidado deberá tenerse con las instalaciones industriales para evitar que el calor residual provoque incendios en productos inflamables. Igualmente las líneas de alta tensión, transformadores, cables, depósitos de agua, etc. deberán protegerse adecuadamente. La caída de lapilli, con velocidad límite mucho menor y alcance limitado, también provoca daños en ventanas y elementos débiles. Su acumulación en techos puede provocar el colapso de los mismos.

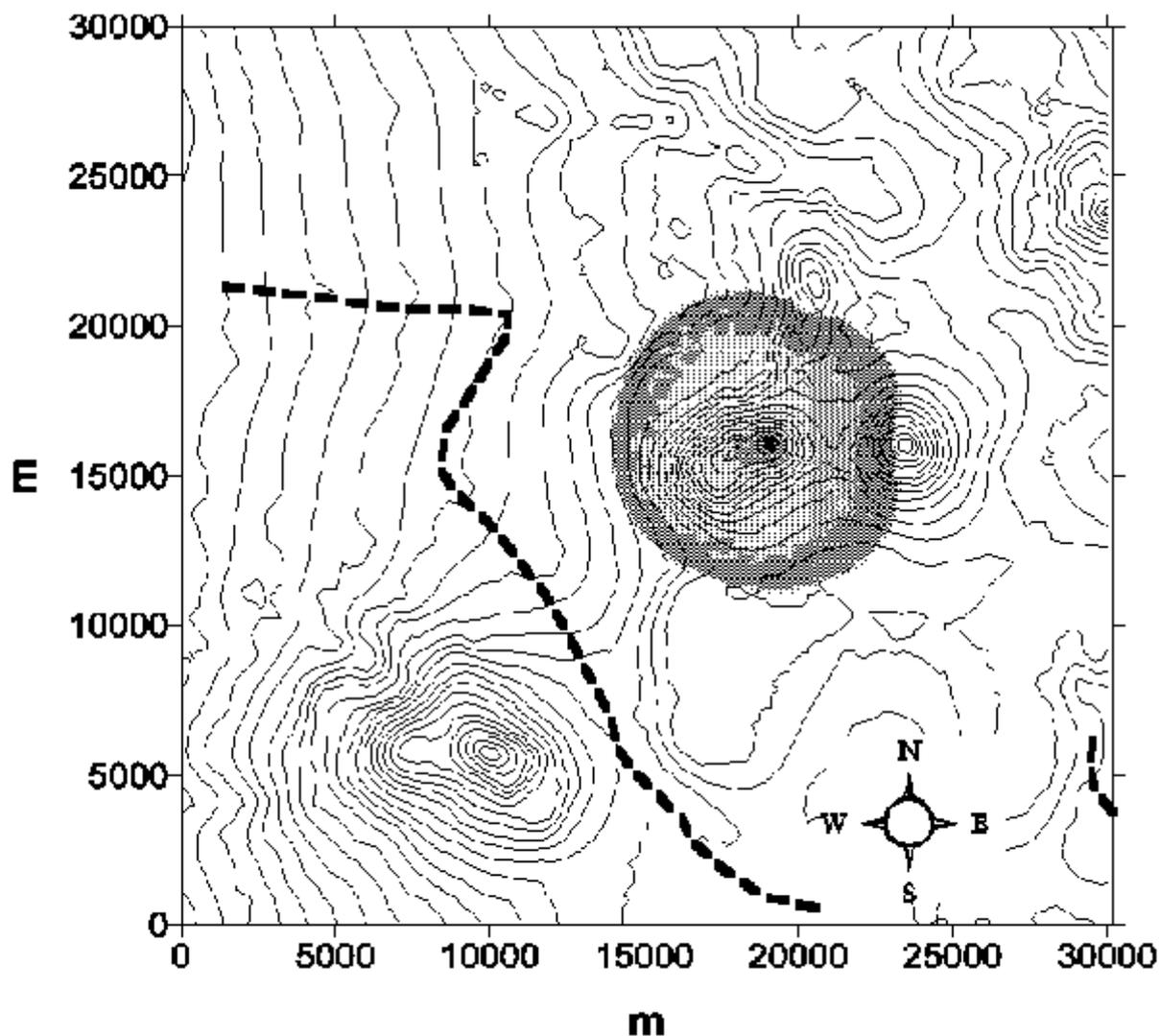
La densidad de los impactos disminuye con la distancia, (los impactos de bombas a más de 10 km del volcán pueden considerarse como muy poco frecuentes), la probabilidad de sufrir daños por caída de bombas es una función que disminuye con la distancia y aumenta con la superficie expuesta de la estructura. Para calcular la distribución de impactos se utiliza la ecuación diferencial del movimiento de una bomba en el aire (Araña y Ortiz, 1984):

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = -\rho \frac{c s v^2}{2} \frac{\vec{v}}{v} - m \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_b} \right) \vec{g}$$

que tiene presente la masa de la bomba  $m$ , su densidad  $\rho_b$ , la densidad del aire  $\rho$  que varía con la altura, el factor de forma  $c$ , la sección frontal de la bomba  $s$ , y la gravedad  $g$ . Para velocidades muy pequeñas puede utilizarse la expresión del tiro parabólico:

$$R(\alpha) = \frac{2 \cdot v^2 \cdot \sin(\alpha)}{g}$$

Donde  $V$  es la velocidad de proyección,  $\alpha$  el ángulo de proyección y  $g$  la gravedad. Esta fórmula da siempre valores superiores, por ejemplo a 250 m/s el alcance sin aire es de 6 km, mientras que con aire es de sólo 2.6 km. No hay que olvidar introducir las alturas del centro de emisión y de la zona de impacto. Admitiendo que la proyección se produce con igual densidad en todos los ángulos es fácil determinar la distribución espacial de impactos. La velocidad de proyección se puede obtener estudiando la distribución de impactos en erupciones anteriores o bien ensayando las velocidades más usuales: valores comprendidos entre 250 m/s y 150 m/s son bastante frecuentes. Para establecer el peligro por caída de bombas se calculan los límites de caída para el margen de velocidades de proyección esperadas, teniendo presente los efectos topográficos (muy importantes).



**Figura 2-5** Volcán Lascar: Zona de caída de bombas, de 30 cm y proyectadas a 300 m/s, evaluada considerando el efecto topográfico y el frenado por aire.

A altas velocidades de proyección, el alcance de una bomba es tanto mayor cuanto mayor sea su tamaño, los impactos de los que se tiene conocimiento a más de 6 km son de bombas de varias toneladas.

Para las cosechas, el riesgo de destrucción disminuye con la distancia aunque existe el problema añadido de los incendios en zonas proximales. Para las zonas cubiertas de lapilli se pueden aplicar los mismos criterios que para la caída de piroclastos.

El relación con las vidas humanas, el riesgo por impacto de bombas es pequeño, especialmente si lo comparamos con el riesgo de las oleadas y coladas piroclásticas. Evidentemente el impacto directo de una bomba provoca heridas o muerte, pero la densidad

a una cierta distancia del volcán es suficientemente baja para que la probabilidad de impacto sea muy pequeña. Un casco ofrece suficiente protección frente a la caída de lapilli. La caída de las bombas en las proximidades de los cráteres es un hecho muy frecuente en volcanes con actividad moderada. Ello provoca todos los años víctimas mortales entre los turistas que se acercan demasiado al volcán en su afán de contemplar de cerca una erupción.

#### 2.2.4. Dispersion y caída de piroclastos

De todos los peligros volcánicos es éste el que presenta una mayor superficie afectada, habiéndose constatado daños a más de 4.000 km del volcán. El material fino es arrastrado en la columna convectiva hasta grandes alturas, donde se dispersa por el efecto combinado de la difusión y el arrastre del viento. La caída de las partículas se hace en función de su velocidad límite, la cual disminuye rápidamente con el tamaño, alcanzando valores tan pequeños que algunas partículas pueden permanecer varios meses en la alta atmósfera. En general, cuando la ceniza cae lo hace ya fría, la característica más importante de estas partículas es la de ser tremendamente abrasivas, por lo que provocan importantes daños en todo tipo de maquinaria, desde motores de aviación hasta impresoras o discos de ordenador, etc. Los vehículos sufren considerables daños al circular por vías cubiertas de cenizas. Es importante tener esto en cuenta, ya que la maquinaria que se utiliza para retirar los depósitos piroclásticos quedará fuera de uso en muy poco tiempo al no estar preparada para sufrir tan fuerte desgaste. En Japón donde son frecuentes estos problemas, han tenido que diseñar máquinas especiales para la limpieza de piroclastos. Los filtros ordinarios de los motores se taponan en poco tiempo, siendo necesario utilizar filtros con capacidad de separación de las cenizas.

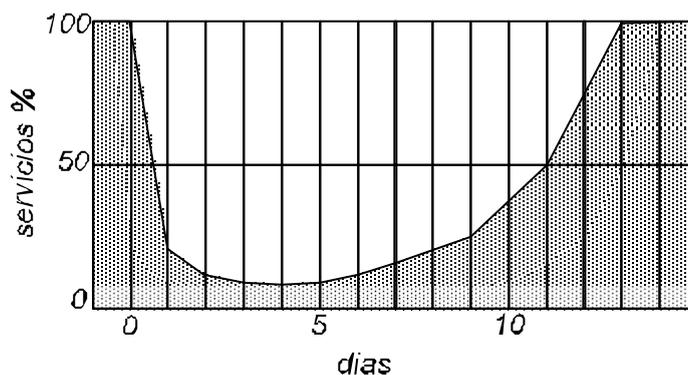
**Tabla VII EFECTOS PROVOCADOS POR LAS CENIZAS EN LOS AVIONES  
(basado en Foreman, 1994)**

impacto	daños directos incluso a miles de millas del volcán
abrasión	daños en bordes, mecánicas y sistemas hidráulicos
acreción	las cenizas se funden en las cámaras de combustión de las turbinas, acrecionando y provocando importantes daños al motor. Flameo de la turbina.
corrosión	los gases volcánicos combinados con agua forman ácidos
adhesión	la ceniza se adhiere a las superficies, taponando el sistema de refrigeración y sensores.
psicológicos	los ocupantes del avión notan la presencia de gases y partículas en el aire

Las propiedades físicas y químicas de las cenizas volcánicas dependen de las proporciones relativas en vidrio, minerales y fragmentos líticos, de las composiciones químicas de cada uno de ellos, así como de su tamaño. La erupción del Mt. St. Helens del 18 de Mayo de 1980,

permitió realizar un estudio minucioso de las propiedades de las cenizas y de su variación con la distancia. La dureza varía entre 2 y 7 en la escala de Moh, aunque puede tomarse 5.5 como valor medio, que corresponde al vidrio. Debemos recordar que muchos abrasivos industriales se obtienen de cenizas volcánicas. Los datos siguientes corresponden a un punto situado a 50 km del volcán, donde la caída de cenizas duró 20 horas alcanzando un espesor sin compactar de 188 mm. La densidad para la ceniza compactada varía entre 0.7 y 1.89 g/cm<sup>3</sup>, siendo el valor medio de 1.54 g/cm<sup>3</sup> para una compactación del 60% y un diámetro de 75 μm. La concentración media de la ceniza en el aire es de 174 μg/m<sup>3</sup>. La conductividad eléctrica correspondiente a la ceniza humedecida (1:1 agua/ceniza) varía desde 214 Ωm para cenizas de grano inferior a 74 μm hasta 1640 Ωm para tamaños superiores a 0.8 mm. Este aumento de la conductividad eléctrica al disminuir el tamaño de grano provoca que los mayores daños en los sistemas de distribución de energía se produzcan en las zonas afectadas por caída de cenizas más alejadas del volcán (Heiken et al. 1995).

La densidad de la ceniza varía entre 0.5 y 2 g/cm<sup>3</sup>, dependiendo de la compactación que experimente y del contenido en agua. Esto supone para 1 cm de ceniza cargas de hasta 20 kg/m<sup>2</sup>. La ceniza se acumula en tejados lisos con pendientes menores de 20°. Se ha constatado el colapso de tejados con espesores de sólo 2-3 cm de ceniza. En zonas muy expuestas a la caída de cenizas deben construirse los tejados de forma que impidan su acumulación, así como el bloqueo del sistema de drenaje (Deguchi, 1988). La erupción del Mount St. Helens permitió estudiar los efectos provocados por la caída de cenizas en poblaciones con alto grado de desarrollo (Warrick, et al., 1981). La caída de unos pocos cm de ceniza bloqueó completamente todas las actividades, tardando entre 5 y 10 días en recuperar todos los servicios (Figura 2-6).



**Figura 2-6** La figura muestra el bloqueo de los servicios en una población tras la caída de 10 cm de ceniza. Erupción de Mount St. Helens de 1980. (modificado de Warrick, 1981)

Los equipos electrónicos sufren importantes daños tanto por la capacidad abrasiva de la ceniza como por su comportamiento eléctrico. Las cenizas son tremendamente conductivas cuando están humedecidas, hecho que es bastante frecuente, provocando importantes cortocircuitos. Es importante tenerlo muy presente en las plantas generadoras de energía y estaciones transformadoras. Igual cuidado deberá tenerse con el sistema de agua, bombas, filtros y válvulas, muy susceptibles a sufrir daños por la caída de una fina capa de cenizas.

<b>Tabla VIII EFECTOS PROVOCADOS POR LA CAIDA DE CENIZA EN LOS SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA (Heiken et al., 1995)</b>	
<b>PROBLEMA</b>	<b>POSIBLES SOLUCIONES</b>
Acumulación de ceniza seca en los sistemas de distribución. Especialmente en aisladores.	Limpiar con chorro de aire y cepillos. Vientos superiores a 40 km/h remueven hasta el 95% de la ceniza siempre que ésta se mantenga seca.
Acumulación de ceniza húmeda. Las condiciones meteorológicas durante la caída de cenizas gobiernan la adherencia de la ceniza a las superficies y su conductividad eléctrica. Una capa de ceniza de sólo 3-6 mm es equivalente a un depósito de sal de 0.3 0.6 mg/cm <sup>2</sup> que en la normativa IEEE corresponde a una grave contaminación. Daños importantes en líneas de 115 kV. Los aisladores de resina EPOXI resultan especialmente vulnerables.	Una lluvia intensa remueve 2/3 del depósito. Se recomienda el empleo de aisladores de porcelana en toda la zona de posible caída de las cenizas. Hay que limpiar cuidadosamente la ceniza de los transformadores y aisladores de las subestaciones. En ellas es conveniente disponer de un sistema de chorro de aire a presión.
Gran acumulación de cenizas en la grava del parque de maniobras de una subestación provoca una pérdida importante de aislamiento (100 Ωm) haciendo muy peligrosa cualquier operación.	Recubrir el suelo con una nueva capa de grava limpia.
Gran acumulación de cenizas (más de 15 cm), especialmente si está húmeda, provoca el colapso de los tejados.	Retirar la ceniza de los tejados. Hay que ir con cuidado ya que la ceniza humedecida es muy resbaladiza. Retirar la acumulación de cenizas de las proximidades de los edificios. Fijar las cenizas para evitar futuras removilizaciones por el viento y disminuir el contenido en polvo del aire.
Caída de árboles sobre las líneas de alta tensión debido al peso de la ceniza.	Mantener adecuadamente la limpieza del entorno de la línea de alta tensión.
Atascos en los filtros de los sistemas de ventilación de los ordenadores y sistemas de control	En zonas de riesgo hay que disponer de un número extra de filtros de aire.
Problemas en los sistemas de aire comprimido	Cambiar más frecuentemente los filtros.
Sobrecarga en los ventiladores de los transformadores debida a la acumulación de ceniza	Limpiar cuidadosamente las palas de los ventiladores. La ceniza húmeda es muy difícil de remover y suele exigir una limpieza a fondo.
Incremento del ruido inducido por las líneas de alta tensión (500 kV) alcanzando valores de 39-48 dB	No hay remedio

Vehículos inmovilizados: atasco en los filtros de aire, aceite o combustible. Pérdida de la visibilidad del conductor por la caída de la ceniza o por acumulación de la misma (húmeda) en el parabrisas.	Importante reserva de filtros. Utilizar un sistema de pre-filtro. Cambiar el aceite frecuentemente. No mover el vehículo si no es por razón de una emergencia
Daños en actuadores hidráulicos, rodamientos, interruptores, etc. Las cenizas volcánicas son muy abrasivas.	Limpiar y lubricar el material expuesto frecuentemente.
Elevado contenido en polvo volcánico en el aire. Problemas pulmonares.	Los trabajadores deben llevar máscara antipartículas. La ceniza debe estabilizarse para evitar que su removilización siga dañando los sistemas.
La caída de la ceniza provoca una gran oscuridad. El encendido imprevisto y rápido de los sistemas de alumbrado origina un pico en la demanda de energía que sobrecarga el sistema.	Anuncios por radio-tv para que la población ahorre energía.
Fuerte erosión en los álabes de las turbinas de los generadores que utilizan gas.	En general la caída de cenizas es lo suficientemente excepcional para no plantear un problema. En zonas donde la caída de cenizas es frecuente no puede utilizarse este tipo de generadores

**El material fino disminuye rápidamente la capacidad de filtración del suelo, atasca las conducciones y ciega los cauces de agua, aumentando considerablemente el riesgo de inundaciones. Al tratarse de material extremadamente fino es muy fácil que penetre en salas limpias como pueden ser quirófanos, laboratorios farmacéuticos, mecánica de precisión, óptica o en la industria de la alimentación provocando todo tipo de problemas.**

**Una capa de sólo 1-2 mm de piroclastos provoca daños de suma importancia en la industria con equipamiento mecánico, eléctrico o químico. La maquinaria expuesta deberá ser sometida a un cuidadoso procedimiento de limpieza, de otro modo en poco tiempo empezarán a aparecer importantes problemas como consecuencia de la abrasión. Igualmente, la limpieza de los depósitos deberá hacerse con maquinaria especialmente preparada para trabajar en medios muy abrasivos (Matsura et al., 1988, Satoh, 1988)**

**El coste de la limpieza no es proporcional al espesor del depósito de cenizas, sino de la complejidad del elemento afectado (Tiedemann, 1992). La utilización de material dañado por la erupción (por ejemplo madera, lanas) provoca daños no esperados en la maquinaria utilizada en su procesado.**

**Los depósitos de cenizas pueden permanecer mucho tiempo sin fijar, especialmente en zonas**

áridas, siendo removidos fácilmente por el viento, organizándose megatormentas de polvo que propagan el desastre mucho más lejos y durante mucho tiempo. Especialmente dañino resulta este tipo de fenómeno para la ganadería, arruinando pastos y dañando considerablemente la lana, que queda inservible al retener las cenizas.

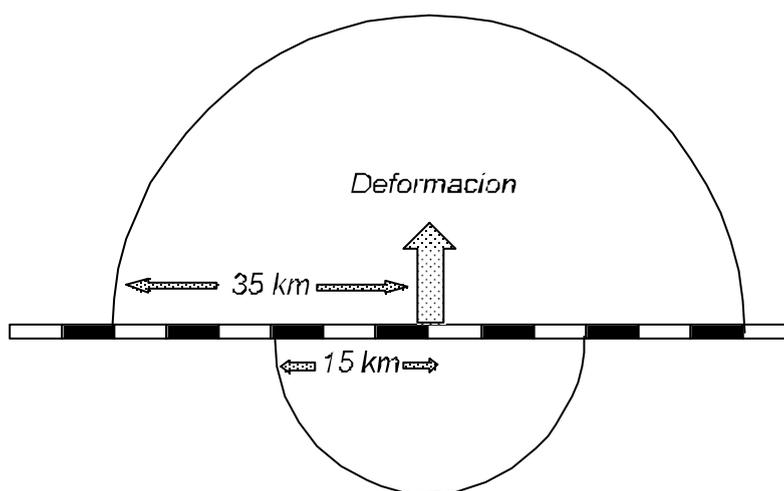
Para las vidas humanas el riesgo por caída de piroclastos es muy pequeño, salvo el asociado al colapso de las techumbres. Evidentemente en zonas proximales, la caída de grandes volúmenes de cenizas sería un factor de riesgo muy importante, pero estas mismas zonas están también afectadas por la densa caída balística de bombas y por las oleadas y coladas piroclásticas. Salvo en la zona proximal no son de esperar quemaduras producidas por la caída de cenizas. Los efectos sobre la agricultura dependen del tipo de cultivo, de su grado de desarrollo y evidentemente del espesor de la capa de cenizas caída (Cook, 1981). Sin embargo, en el trópico la vegetación se recupera en muy poco tiempo: zonas cubiertas con más de 20 cm de lapilli por la erupción del volcán Cerro Negro (Nicaragua) de diciembre 1995 en septiembre de 1996 estaban ya completamente recuperadas.

Tabla IX DAÑOS EN LA AGRICULTURA PROVOCADOS POR LA CAÍDA DE CENIZAS (basado en Blong 1984)	
espesor mm	CULTIVOS
>2000	Toda la vegetación queda destruida
1500 1000	La mayor parte de la vegetación muere. Parcialmente recuperable
200	Arrozales destruidos
150	Cafetales destruidos
100	Palmas y ramas rotas por el peso de las cenizas
50	Plataneras destruidas. Otros cultivos deben cosecharse prematuramente.
40	50% de pérdidas en legumbres, 15-30% en trigo, verduras, cebada, heno, etc.
30	Daños en cerezas y otros. Los frutos pueden quedar inservibles por la capa de ceniza.
25	Daños en caña de azúcar, patatas, etc.
20	Daños considerables en naranjas, mandarinas, moras y otros frutos y verduras. 30% en legumbres
15	Pérdidas de pastos. Incluso si es afectada una vez recogida tampoco es utilizable.
10	Daños en manzanas, balas de algodón, plátanos, tabaco y verduras. 20-40% de la cosecha dañada
<10	Menores daños en pastos, trigo y maíz.

Los gases retenidos en las cenizas se liberan lentamente, pudiendo provocar problemas respiratorios y asfixia, especialmente en zonas donde la acumulación de cenizas es importante. La exposición a las cenizas volcánicas trae consigo la aparición de problemas médicos, agravándose las dolencias respiratorias. Además, el polvo volcánico contiene minerales semejantes a los asbestos que producen asbestosis. Un factor muy importante a tener en cuenta es la posibilidad de que las cenizas arrastren algún tipo de elemento nocivo, como arsénico o flúor. Estos elementos se disuelven en el agua y contaminan suelos, pastos y especialmente la red de distribución de agua potable. Una recopilación de datos sobre tamaño, forma y composición de cenizas volcánicas se puede encontrar en Heiken y Wohletz, 1995.

### 2.2.5. Explosión dirigida

Teóricamente, la explosión dirigida constituye el episodio más dañino de una erupción, ya que desencadena una combinación de oleadas, coladas piroclásticas y proyecciones balísticas. La dispersión de estos flujos se realiza con un ángulo muy bajo, pero que se abre hasta cubrir un sector de  $180^\circ$  afectando a decenas de kilómetros (Scott 1989). En este siglo se han podido observar dos eventos de este tipo: la explosión del Bezymianny ocurrida en 1956 y la del Mount St. Helens en 1980. La superficie afectada alcanzó los  $500 \text{ km}^2$  destruyendo todo tipo de vida y estructuras a consecuencia de la onda de presión, el impacto de los piroclastos y líticos, la abrasión producida por la proyección de las cenizas y finalmente la onda térmica ( $300^\circ\text{C}$ ).



**Figura 2-7** Zonificación para una explosión lateral. Basado en Crandell y Hoblitt, 1986.

Este tipo de fenómenos va siempre precedido por una importante deformación del aparato volcánico, debida al proceso de inyección que se desarrolla internamente. La aparición de grietas en la superficie señala la existencia de zonas débiles donde se producirá el fallo del

edificio (Crandell y Hoblitt, 1986). Al ser éste un proceso lento es posible establecer con suficiente tiempo el mapa de peligrosidad.

#### 2.2.6. Gases volcánicos

Los gases volcánicos en general sólo plantean problemas muy cerca de las bocas eruptivas y campos fumarolianos, pues se diluyen rápidamente en la atmósfera a niveles inferiores al umbral de toxicidad. Sin embargo, en algunas circunstancias pueden resultar nocivos e incluso mortales: Alguno de estos gases, como el  $\text{CO}_2$  es más pesado que el aire, por lo que tiende a acumularse en las zonas bajas, tales como valles o barrancos. El  $\text{CO}_2$  es además uno de los componentes mayoritarios de los gases volcánicos, por lo que puede concentrarse en grandes cantidades y desplazarse ladera abajo como un flujo denso, asfixiando a todo ser vivo que encuentre a su paso. Bien conocidos son los Lagos de la Muerte, en Indonesia, que son lagos cratéricos muy cerrados donde se acumula el  $\text{CO}_2$ . En ocasiones se produce una pequeña explosión en el fondo del lago, emitiéndose una cantidad de  $\text{CO}_2$  suficiente para acabar con la vida en los valles situados en la base del volcán (Barberi et al., 1989b). Otra situación tremendamente peligrosa es que se produzca un pequeño deslizamiento de ladera en un cono con abundante emisión fumaroliana, la nube de gas podría provocar la muerte de los habitantes situados en las proximidades del cono (Martini, 1993).

La población que vive en la base de un volcán activo está muy expuesta al peligro que supone una emisión de gas, debida por ejemplo a un pequeño deslizamiento de ladera (Caruso et al., 1995). En general, las referencias más abundantes de daños asociados a gases volcánicos corresponden a procesos de desgasificación de lavas y piroclastos. Es frecuente que en zonas cubiertas por importantes espesores de cenizas o lapilli se produzca una acumulación de gases que provoca problemas médicos o incluso la muerte.

Otro factor de riesgo lo constituye la lluvia ácida producida al formarse las gotas de agua sobre aerosoles volcánicos que actúan como de núcleos de condensación. Este hecho provoca una importante deforestación que se ha constatado a más de 500 km de un volcán con actividad persistente, incluso en zonas tropicales. Los tejados con recubrimiento de chapa metálica sufren una importante corrosión. Hay que destacar que hoy en día muchos de los elementos de riesgo de nuestra sociedad son más sensibles a este tipo de problemas que la piel humana. Las pérdidas por corrosión de elementos eléctricos o electrónicos, motores etc, causada por los gases volcánicos y derivados pueden llegar a ser muy cuantiosas.

#### 2.2.7. Colapso del edificio

Este evento que se produce frecuentemente a pequeña escala, en ocasiones puede afectar a una parte considerable del edificio volcánico. En general, los pequeños colapsos se deben analizar con la técnica habitual de estudio de taludes. Los colapsos de gran magnitud se producen asociados a otros procesos volcánicos, especialmente emplazamiento de criptodomas, fuerte actividad hidrotermal, etc. Esto es consecuencia de que el edificio

volcánico es intrínsecamente muy estable (Borgia, 1994) y sólo la degradación local de las características mecánicas del material posibilita estos grandes colapsos, que por esta razón, presentan una movilidad mayor que en las avalanchas de origen no volcánico (Ui, 1983; Siebert, 1984).

Los materiales afectados por el colapso se mueven gravitacionalmente, pudiendo recorrer casi 100 kmy aparecer distribuidos cubriendo varios centenares de km<sup>2</sup>. Las vulnerabilidades para estos eventos se estiman fácilmente en base al conocimiento que se tiene de procesos similares no volcánicos (ver Alexander, 1993).

#### 2.2.8. Deformación del terreno

Es frecuente en zonas volcánicas activas que se produzcan procesos lentos de deformación (*bradisismos*) que suelen ir acompañados de una moderada sismicidad. Aunque los procesos más frecuentes son de deformación vertical, el terreno se infla a causa de una inyección magmática o un aumento en la presión de un acuífero geotérmico, también se han constatado casos de deformación horizontal y subsidencia (Barberi et al., 1984). Estos procesos afectan extensiones considerables de terreno (km), alcanzan velocidades de deformación de varios cm/día y deformaciones finales de varios metros. Los procesos de deformación provocan importantes daños en estructuras y vías de comunicación. Por otra parte, la alteración del relieve desencadena nuevos y rápidos procesos de erosión y sedimentación que afectan muy negativamente a la zona. Aunque estos procesos suelen ser precursores de una erupción, ésto no siempre ocurre, siendo frecuente que al cabo de un cierto tiempo se produzca un proceso de subsidencia.

La lentitud con la que se produce el fenómeno permite la evacuación de toda la población, sin embargo, las estructuras sufren muchos daños, debido a fenómenos de deformación diferencial y especialmente a la inclinación de la base. Un fenómeno asociado que debe tenerse en cuenta es que la deformación cortical puede desestabilizar el edificio volcánico, dando lugar a diversos tipos de avalanchas o facilitando importantes fenómenos de erosión (Kadomura et al., 1983)

#### 2.2.9. Lahares

Un lahar es un flujo denso producido al fluidizar el agua los materiales volcánicos, especialmente piroclastos. Estos flujos presentan una gran movilidad por lo que pueden recorrer grandes distancias. La elevada densidad del flujo le confiere una gran capacidad de transporte. Los lahares son tremendamente destructivos, ya que pueden recorrer grandes distancias, siguiendo valles y alcanzando poblaciones aparentemente protegidas del volcán. La presencia de lagos cratéricos, hielo o nieve en la cumbre del volcán son factores primarios para la producción de lahares, pero también pueden desencadenarse por lluvias intensas como es frecuente en el trópico (volcán Concepción, Nicaragua). Hay que tener presente que un

lahar puede desencadenarse en una erupción pequeña ( $VEI < 2$ ) pero sus daños pueden ser muy elevados. En ocasiones el lahar puede producirse a cierta distancia del volcán, por ejemplo la acumulación de cenizas puede provocar la inestabilidad de un glaciar situado a decenas de kilómetros del volcán (erupción del Lascar de 1993). En las grandes erupciones, con emisión de volúmenes importantes de cenizas, los lahares se producen durante mucho tiempo, prolongando los daños provocados por la erupción durante meses o años (la erupción del Pinatubo en 1991 puede servir de referencia).

Los lahares más destructores pueden modelarse de forma bastante ajustada ya que transcurren confinados en los grandes valles. Esta modelización permite evaluar la altura que alcanzará el lahar en cada tramo de su cauce y estimar la deposición (Macedonio y Pareschi, 1992). Las zonas cubiertas por espesores importantes de fangos son difícilmente transitables, lo que supone un grave problema para auxiliar a las víctimas. La evaluación del riesgo de los lahares es similar a la que se realiza para las grandes avenidas. Los factores de tipo volcánico son marginales en la valoración del impacto del lahar. Es importante, en zonas donde se ha producido una acumulación importante de cenizas, controlar los ritmos de precipitación, ya que al superar una cierta tasa se producirá la fluidización de la masa de cenizas, iniciándose el lahar (Hirano y Hikida, 1988; Matsukura, 1988).

Los efectos de los lahares son fácilmente predecibles y por consiguiente es posible realizar obras para minimizarlos. Desde una adecuada ordenación del territorio que pasa por mantener despejados los cauces hasta la construcción de grandes obras hidráulicas que canalizan el lahar y mediante un sistema escalonado de defensas retienen los materiales arrastrados y dejan pasar el agua. Muchas de estas defensas pueden realizarse con medios económicos, como es el adecuado uso de la vegetación y la utilización de jaulas metálicas llenas con bloques de piedras.

#### 2.2.10. Ondas de presión

Este fenómeno, asociado a las explosiones volcánicas, se propaga a la velocidad del sonido (330 m/s). A distancias moderadas del volcán puede producir pequeños daños, especialmente rotura de cristales y heridas al proyectarse estos. La rotura de cristales, incluso con erupciones moderadas ( $VEI 2$ ), se puede producir a más de 10 km del volcán. Refinerías y complejos químicos son elementos de riesgo muy vulnerables por este tipo de evento y se debe estudiar con especial atención la posibilidad de que se produzcan detonaciones, incendios o escapes de productos peligrosos (Tiedemann, 1992). Sólo en las grandes erupciones explosivas ( $VEI 7$ ) se tienen noticias de daños importantes a estructuras asociados a las ondas de presión.

<b>Tabla X EFECTOS DE UNA ONDA DE PRESIÓN</b>	
<b>Sobrepresión Pa</b>	<b>Daños</b>
0-50	No provoca daño alguno.
50-100	Ligeros en circunstancias especiales.
100-250	Daños incipientes en las estructuras.
30000	Rotura del tímpano.
100000	Daños en los pulmones.

### 2.2.11. Terremotos volcánicos

Los terremotos volcánicos son, a efectos de riesgo, exactamente iguales a los terremotos tectónicos, por lo que la extensa experiencia en valoración del riesgo sísmico se puede aplicar en este caso. Sin embargo, la pequeña magnitud que presentan generalmente los eventos típicamente volcánicos, hace que el número de víctimas producidas por ellos sea insignificante frente a los otros factores de peligro volcánico. Es importante destacar que muchas zonas volcánicas también son zonas sísmicas y están declaradas como tales, existiendo por lo tanto una determinada normativa para el tratamiento del riesgo sísmico. Sin embargo, es necesario tener presente el diferente contenido espectral y especialmente que la sismicidad volcánica se presenta en enjambres con muchos cientos de eventos diarios, lo que produce un efecto de fatiga en las estructuras, provocando su colapso.

La crisis de Puzzoli de 1983-85 puede servir de ejemplo (Barberi et al, 1984). No es extraño que los sismos volcánicos alcancen intensidades elevadas en las zonas próximas al volcán, pudiendo llegar a provocar el colapso de algunas edificaciones. En algunas erupciones de volcanes andesíticos los temblores volcánicos (sismos y *tremor*) pueden llegar a ser perceptibles por las personas a más de 50 km del volcán.

### 2.2.12. Tsunamis

Algunos de los más famosos tsunamis de la historia (Krakatoa, Unzen, Santorín) están asociados a eventos volcánicos. Erupciones en aguas someras o en un lago, colapso de calderas en islas volcánicas, deslizamiento de laderas sobre el mar son las causas conocidas de tsunamis originados por erupciones volcánicas. Al igual que para el caso de los terremotos, los efectos de los tsunamis son bien conocidos y se pueden modelar adecuadamente. Existe una abundante experiencia en la valoración del riesgo de los tsunamis, independientemente de su origen (Ferrerías y Sanchez, 1991).

### 2.2.13. Tormentas

Una gran erupción volcánica supone una considerable inyección de energía térmica en la atmósfera, además del importante volumen de cenizas y gases aportados. Es frecuente que este proceso desencadene una fuerte tormenta, con notable aparato eléctrico y vientos que pueden llegar a ser huracanados, incluso a gran distancia del volcán. Estas tormentas pueden también causar importantes daños, similares a los producidos por huracanes y lluvias torrenciales. Este hecho obliga a que en los complejos industriales, especialmente refinerías e industria química, se extreme la protección contra los rayos, aunque no sean habituales las tormentas con aparato eléctrico en la zona.

Un efecto añadido es que una erupción provoca importantes alteraciones del campo electromagnético, que dificultan, cuando no imposibilitan, las comunicaciones radioeléctricas. Hay que tenerlo presente, ya que todo el sistema de comunicaciones de la emergencia puede verse fuertemente alterado o bloqueado.

## 2.3 ERUPCIONES VOLCANICAS Y SALUD

Aunque la vulnerabilidad del hombre se ha analizado con cada peligro volcánico, es interesante realizar un primer análisis de los efectos que la actividad volcánica produce en la salud humana (ver p. ej. Baxter, 1990). Los datos de que se dispone hacen referencia al volcanismo explosivo, ya que los efectos del volcanismo efusivo directamente sobre el hombre son muy limitados, salvo que el afectado se acerque peligrosamente a las bocas eruptivas o coladas lávicas. La experiencia<sup>2</sup> obtenida en la erupción del Mount St. Helens en 1980, muestra que la mortalidad debida a asfixia (76%), quemaduras (12%) o traumas (12%) por cenizas y otros peligros volcánicos fue directamente proporcional al grado de los daños producidos en el entorno.

Un caso especial lo constituye la silicosis, que afecta a las poblaciones que viven muy cerca de volcanes con actividad persistente, con magmas relativamente ricos en sílice y que emiten continuamente cenizas muy finas. Un volcán como el Sakurajima entre 1978 y 1986 llegó a emitir 2.366 Tm de polvo volcánico por  $\text{km}^2$  y mes. Sin embargo, las investigaciones muestran que en el área de influencia del Sakurajima el riesgo de problemas respiratorios es pequeño, debido a que las partículas son demasiado grandes (Shirakawa, 1988).

---

<sup>2</sup> Las actuaciones médicas durante la erupción del Mount St. Helens están recopiladas en un volumen especial del American Journal of Public Health, Vol 76, 1986.

<b>Tabla XI EFECTOS DE LOS GASES VOLCÁNICOS</b>		
<b>Gas</b>	<b>Toxicidad mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Efectos</b>
CO <sub>2</sub>	9000	Asfixia
CO	115	Envenenamiento de la sangre, mortal
SO <sub>2</sub>	13	Inflamación de la piel, ojos, nariz y garganta
SH <sub>2</sub>	28	Irritación y asfixia
SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub>	1	Quemaduras, dermatitis, inflamación del sistema respiratorio
F <sub>2</sub>	0.2	Cáustico, degeneración de los huesos
HF	2	Corrosión de la piel y mucosas
HCl	7	Irritación de los ojos y sistema respiratorio
NH <sub>3</sub>	79	Irritación de la piel, ojos, nariz y garganta

<b>Tabla XII EFECTOS SOBRE LA SALUD, LEJOS DEL CENTRO ERUPTIVO POR CAÍDA DE CENIZAS Y EMISIONES GASEOSAS</b>	
<b>RESPIRATORIOS</b>	
Inhalación de cenizas ( <10µm )	Asma. Empeoramiento de enfermedades pulmonares
Inhalación de polvo silíceo cristalino	Silicosis por exposición prolongada al aire libre
<b>TÓXICOS</b>	
Ingestión de agua contaminada con flúor y posiblemente con metales pesados (arsénico, mercurio, etc)	Trastornos gastrointestinales (incluso la muerte en personas vulnerables o con males crónicos)
Ingestión de alimentos contaminados (incluida la leche)	
<b>OCULARES</b>	
Cuerpos extraños en los ojos	Conjuntivitis. Abrasiones en la córnea
<b>MECÁNICOS</b>	
Hundimiento de techos y caída brusca de cenizas acumuladas en los tejados.	Traumas
Accidentes de automóviles (carreteras resbaladizas y escasa visibilidad)	Traumas
Accidentes aéreos	Fallo en los motores.
Interferencias en radio y televisión	Imposibilidad de recibir alarmas
Mala visibilidad	Interrupción del transporte de emergencia. Aislamiento de casas y viajeros.
Fallos en el suministro eléctrico	Interrupción de servicios.

<b>Tabla XIII PELIGROS PARA LA SALUD, LA SEGURIDAD Y EL BIENESTAR PRODUCIDOS POR LA ACTIVIDAD VOLCANICA EXPLOSIVA</b>	
<b>Categoría genérica de los daños</b>	<b>Ejemplos específicos y posibles efectos</b>
Directos e inmediatos	<p>Bombas, coladas lávicas, coladas y oleadas piroclásticas, sismos.</p> <p>Inhalación de cenizas y gases (irritación del tracto respiratorio por SO<sub>2</sub>, envenenamiento por CO, sofocación por CO<sub>2</sub> o cenizas)</p> <p>Ingestión de agua o elementos contaminados</p> <p>Problemas psicosociales, ambientales y económicos producidos por rumores o incertidumbre sobre los riesgos presentes o futuros, por la interrupción de servicios y actividades rutinarias, por la evacuación a lugares o campos de refugiados, por el desplazamiento a zonas alejadas, por la destrucción de propiedades y bienes.</p>
Indirectos e inmediatos	Avalanchas, lahares, rayos, incendios, tsunamis.
Indirectos y retardados	<p>Aumento del potencial patogénico de patógenos pulmonares tóxicos e infecciosos, debidos a los efectos tóxicos e irritantes de gases y cenizas en los mecanismos de defensa pulmonar.</p> <p>Problemas psicológicos resultantes de los intensos o prolongados disturbios en el ambiente y la sociedad.</p>

### 3 MAPAS DE RIESGO. MODELIZACIÓN

A. Felpeto; A. García y R. Ortiz

Un mapa de riesgo volcánico <sup>1</sup> es una cartografía de las zonas afectadas por la actividad volcánica en función del valor esperado de las pérdidas, para un determinado período de exposición. Sin embargo, esto no es tan fácil de realizar, especialmente porque aparecen mezclados varios conceptos en el tipo de información, para qué se quiere utilizar el mapa y quienes son los destinatarios. Es importante definir claramente qué producto se desea cuando se inicia la realización de un mapa de riesgo volcánico, especialmente si se emplea una tecnología como los Sistemas de Información Geográfica que, en principio, es capaz de soportar todo tipo de datos pero no siempre es posible extraer la información necesaria en cada momento. Para ello, los datos deben estar estructurados de una determinada manera y haber definido cómo acceder a ellos y a sus combinaciones, de forma que sean útiles para la prevención del riesgo volcánico.

Por otra parte, un mapa de riesgo volcánico afecta seriamente los intereses de corporaciones e individuos. Las presiones sobre los investigadores para que una zona aparezca o no afectada en el mapa son muy fuertes, especialmente cuando la zona se reactiva y los habitantes son conscientes de ello. Además, el grado de responsabilidad sobre la zona a proteger no está claro. Ciudadanos y corporaciones tienden a transferirla al Gobierno Regional y al Nacional, independientemente del grado actual de responsabilidad. La educación adquiere una importancia relevante. La educación sobre este tipo de fenómenos naturales es escasa y muy deficiente y por ello es muy importante tener previsto cómo debe ser la información que se debe proporcionar a los habitantes de una posible zona afectada. La aplicación de este tipo de estudio es clara cuando se trata de aparatos volcánicos en actividad continua o que por las características especiales de su estado actual, como es la presencia de un domo en evolución, de una cámara magmática somera activa o de erupciones casi continuas, sea posible conocer cuál será la evolución normal del sistema y establecer el modelo correspondiente.

Situación muy distinta es cuando en una área volcánica activa se desencadena una crisis. En tal situación hay una serie de indicadores que se activan y se empiezan a recibir datos por la aplicación de las distintas técnicas de vigilancia de volcanes. Especialmente significativos son en estos casos los datos de la geodesia y de la geoquímica de fluidos: estos datos nos permiten delimitar con bastante precisión la zona donde se está produciendo realmente el fenómeno. Con los conocimientos volcanológicos de la zona es posible reducir a unos pocos

---

<sup>1</sup> La mayor parte de las fuentes utilizadas en este capítulo procede de organismos oficiales japoneses, pues son quienes tienen más experiencia práctica en la gestión tecnológica de los desastres volcánicos. Una introducción más amplia puede encontrarse en Riesgo Volcánico de V. Araña y R. Ortiz, incluido en la publicación del CSIC *Nuevas Tendencias en Volcanología*.

tipos de mecanismos la posible erupción. La aplicación de los modelos de simulación numérica acoplados directamente al Sistema de Información Geográfica, permite establecer rápidamente los distintos tipos de mapas de riesgo necesarios para afrontar la crisis. Para que esto pueda funcionar es necesario disponer primero del Sistema de Información Geográfica adecuado donde se haya introducido la topografía de la zona con suficiente detalle, conjuntamente con la información geográfica (poblaciones, estructuras, tipos de construcción, polígonos industriales, centros y vías de comunicación) debidamente actualizada, que los programas de modelización estén operativos y sus formatos de entrada y salida de datos sean compatibles. La información meteorológica e hidrogeológica debe estar disponible en tiempo real en el formato requerido por el modelo. Finalmente, se debe integrar las reconstrucciones de las erupciones tipo que se han desarrollado en la zona y que son utilizadas para ajustar los distintos parámetros requeridos por los modelos.

### 3.1. MAPAS DE PELIGROS VOLCÁNICOS Y MAPAS DE RIESGO VOLCÁNICO

El concepto de mapa de riesgo volcánico no es sencillo, pues son muchos los factores que en él intervienen, tanto en las aproximaciones adoptadas para su realización como para su uso e interpretación. Inicialmente se puede empezar por definir un mapa como unos datos referenciados a un sistema de coordenadas. Seguidamente se deben introducir los siguientes conceptos, adaptados de los utilizados por Alexander (1993) para el caso general:

#### *Mapa base*

Topografía y elementos más representativos de la geografía humana como son: comunicaciones, emplazamientos urbanos, límites administrativos, fronteras, etc.

#### *Mapa temático*

Aspectos de tipo geológico y geotécnico (suelos, hidrogeología, tectónica, etc.)

#### *Mapa de desastres volcánicos pasados*

Representación de eventos catastróficos ocurridos en el pasado: en general son mapas muy confusos, donde sobre una cartografía actual precisa se representa información procedente de la interpretación, más o menos libre, de fuentes históricas.

#### *Mapa de peligros volcánicos*

Representación de los peligros presentes en cada punto. En ocasiones, es una recopilación de los desastres pasados en la suposición de que las erupciones futuras respondan a las mismas pautas. De modo más riguroso debe representar los efectos de las erupciones esperadas en un futuro próximo. Se realizan combinando el conocimiento de eventos ocurridos en el pasado con la predicción teórica de los esperados en el futuro.

#### *Mapa de riesgo volcánico*

Transformación del mapa de peligrosidad al incluir la población en riesgo y la

vulnerabilidad de las estructuras. Cuantificado en términos de víctimas potenciales o valor estimado de los daños.

Además debemos considerar las siguientes aproximaciones, en función de la aplicación concreta para cada mapa:

#### *Observacional*

Representación de cada factor de desastre en función de su impacto en la comunidad, basándose en estudios de la opinión pública, cuantitativos o subjetivos.

#### *Ingeniería*

Para uso técnico, presenta la respuesta estructural a cada tipo de peligro.

#### *Interpretativo*

Muestra las zonas de peligro o riesgo en función de aquellas áreas susceptibles de ser habitadas o para realizar acciones estructurales encaminadas a la mitigación del riesgo.

#### *Planificación*

Mapa para la ordenación del territorio en función de la peligrosidad.

De acuerdo con las recomendaciones de la IAVCEI (Barberi et al., 1990), un mapa de peligrosidad volcánica debe incluir los siguientes aspectos:

- a) Base topográfica, preferiblemente a escala 1:50.000, incluyendo puesta al día de núcleos urbanos, escuelas y hospitales.
- b) Peligros volcánicos directos (producidos por la erupción), incluyendo descripción detallada de cada uno de ellos, especialmente alcances, velocidades y tiempos, y su impacto en el hombre y el medio.
- d) Peligros volcánicos secundarios o inducidos.
- e) Areas afectadas para cada evento aislado y combinación de eventos.
- f) Bases del mapa: fuente de los datos, hipótesis, condiciones de validez, fecha de preparación y período de aplicación.

Un tipo de mapa especial que se utiliza para la preparación de emergencia, es el que se conoce como *escenario volcánico*. Este mapa se realiza para un determinado evento eruptivo, mediante simulación numérica o simplemente transponiendo una erupción ocurrida en el pasado al momento actual. Este tipo de mapa debe evolucionar temporalmente de igual modo a como lo hace la erupción. Esta serie de mapas es muy útil para la formación de los técnicos que deben intervenir en caso de crisis volcánica y para la preparación del material educativo.

### 3.1.1. Zonificación

Es la división de una región en zonas y su ordenación en función del grado de riesgo frente a un peligro volcánico potencial. Inicialmente, el concepto de zonificación era muy amplio y de hecho sólo permitía definir las áreas volcánicas activas, para obviar esto se introduce el concepto de microzonificación aplicado a una zona concreta (Alexander, 1993). La técnica de la microzonificación se ha diseñado para mostrar la variación espacial del riesgo, a fin de concentrar los recursos y enviar los equipos de emergencia durante los períodos de crisis. A largo plazo, permite dictar normas encaminadas a la ordenación del territorio y construir las infraestructuras del modo menos vulnerable posible. Hay que tener presente que el concepto de microzonificación es siempre local, el aplicarlo a escalas regionales puede traer problemas a largo plazo, al introducirse datos no exactamente equivalentes para cada una de las zonas: una zona de alto riesgo puede quedar enmascarada por otra de menor riesgo pero de la que haya un conocimiento mayor.

Los elementos básicos a tener siempre presentes cuando se trata de zonificación volcánica son: el número de personas expuestas, sus actividades económicas, la localización de las estructuras y servicios de emergencia, y sus vulnerabilidades frente a cada peligro considerado.

El tipo de mapa de microzonificación depende de dos factores: el peligro considerado y el uso al que va destinado:

#### *Mapa de peligro único y un sólo uso*

Es el más fácil y barato de realizar, resulta apropiado para resolver situaciones particulares, donde es posible aislar un único tipo de peligro que afecta a una estructura vulnerable muy simple, por ejemplo analizar la caída de piroclastos sobre una zona residencial para realizar el diseño adecuado de las cubiertas.

#### *Mapa de peligro único y múltiple uso*

Apropiado cuando el peligro esperado afecta a más de una actividad. Siguiendo con el ejemplo de la caída de piroclastos, se puede conocer, basándose en un único trabajo de campo, el impacto sobre el sistema de comunicaciones (carreteras y aeropuertos), el suministro de agua y energía, las construcciones residenciales y las zonas agrícolas.

#### *Mapa de peligro múltiple y uso múltiple*

Este tipo de mapas es el requerido para la ordenación del territorio. Debe incluir todos los peligros esperados en la zona. Por su complejidad es necesario estructurarlo sobre un Sistema de Información Geográfica. Es importante escalar cada peligro en relación con los otros, tanto en magnitud como en períodos de retorno. Recordemos que cada factor de riesgo está definido como combinación de probabilidades, en función de los períodos de retorno y las vulnerabilidades.

### 3.1.2. Mapas Volcanológico, Administrativo y Educativo

Dependiendo del "destinatario" podemos considerar tres tipos de mapas de peligrosidad volcánica: un mapa que recoja la información estrictamente volcanológica, un mapa de carácter administrativo y un tercero de tipo educativo (Yoshioka, 1992):

#### *Mapa de Peligrosidad Volcánica basado en Estudios Volcanológicos*

En él se muestran las áreas peligrosas bajo ciertas condiciones de cada factor de peligro considerado. Se pueden adoptar dos criterios para establecer este mapa: bien reflejando los efectos de una erupción de un tipo concreto en un punto y bajo unas determinadas condiciones meteorológicas o bien un mapa recogiendo todas las posibles erupciones y fenómenos asociados que puedan tener lugar en la zona. El primero es útil para hacer frente a una crisis, mientras que el segundo es de interés muy relativo y sólo sirve a efectos de ordenación del territorio a muy largo plazo. En muchos casos, se opta por realizar un mapa en el que se superponen todas las erupciones posibles en la zona en un tiempo prudencial o que son esperables durante el desarrollo de una crisis. Estos mapas sirven de base para crear el mapa administrativo y el educativo. Este mapa resulta inútil si no existe un equipo de volcanólogos, debidamente coordinado, trabajando en la zona.

#### *Mapa de Peligrosidad Volcánica con Datos Administrativos*

Es el mapa útil para la Administración, (no para especialistas en volcanes) y en él se incluyen las medidas a tomar para cada factor de peligro así como las escalas de tiempo correspondientes. Se debe tener presente que sobre este mapa se planificarán las operaciones de evacuación, las contramedidas a tomar y las actuaciones post-desastre. Se realiza revisando y evaluando el mapa volcanológico desde el punto de vista de la gestión de desastres, añadiendo la información referente a vías y centros de evacuación y todos aquellos datos necesarios para la actuación en la emergencia. Este mapa carece de sentido si no existe una normativa para su aplicación.

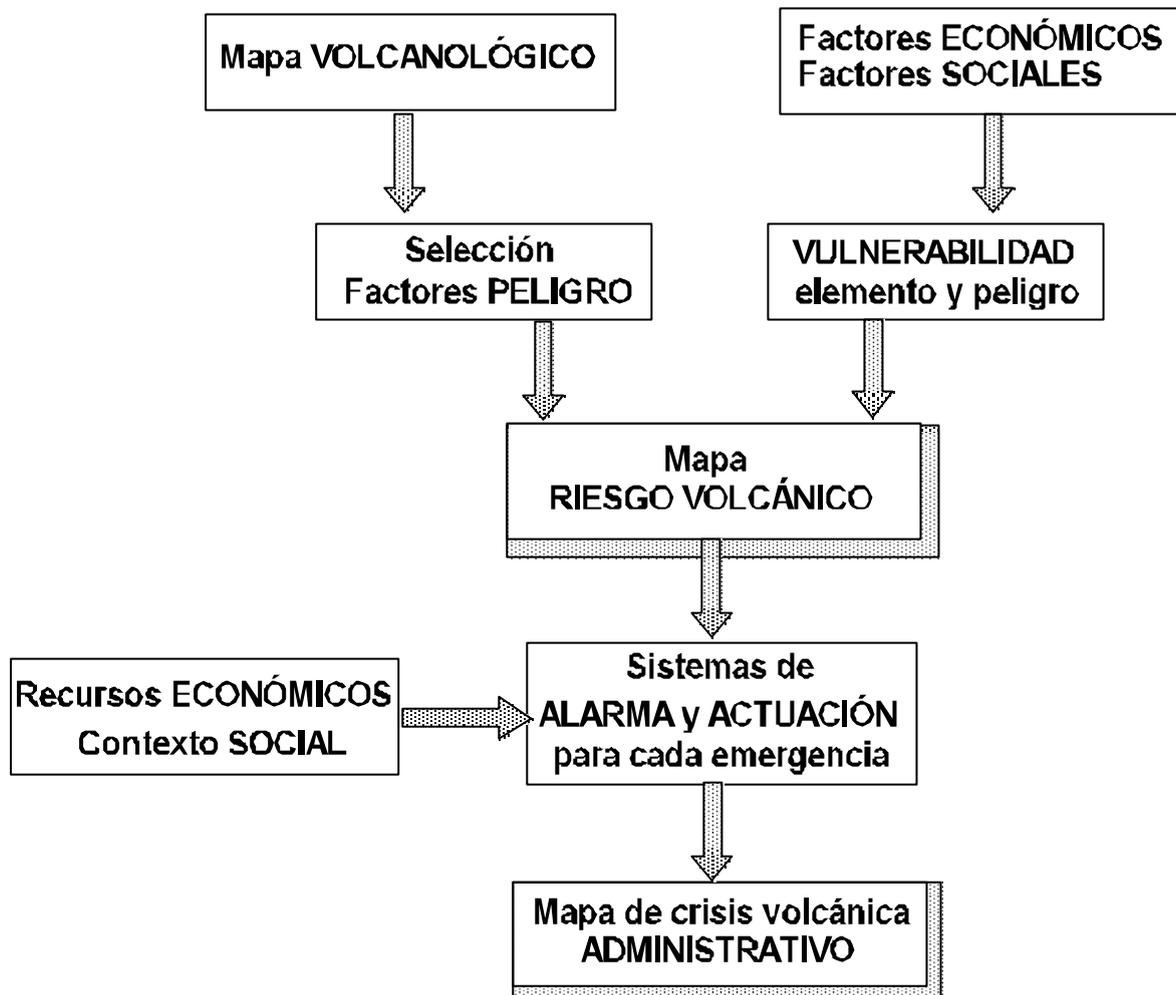
#### *Mapa de Peligrosidad Volcánica para Uso Educativo de los habitantes*

Está basado en el Mapa Administrativo e incluye información precisa para los habitantes y turistas, especialmente sobre las medidas a tomar en caso de un factor de desastre, como son las instrucciones para el caso de una evacuación pues los carteles y anuncios no pueden improvisarse cuando ya se haya desencadenado la crisis. Debe incidirse en recordar que en la misma zona ya han ocurrido antes erupciones y que ello no siempre supone un desastre, así como dar a conocer el fenómeno volcánico. Inútil si no se dispone de centros capaces de difundirlo adecuadamente, como es la Casa de los Volcanes en Lanzarote (Araña, 1994).

Hay que tener presente que la publicación y distribución de estos mapas puede provocar una alarma infundada que afecte seriamente la economía de la zona: disminuye el número de turistas, bajan los precios de las tierras, los seguros se disparan y muchas empresas pueden abandonar la zona o requerir fuertes compensaciones económicas.

**Tipos y características de los mapas de peligrosidad volcánica (adaptado de NLA, 1992)**

	<b>Tipo de Mapa</b>		
	<b>Volcanológico</b>	<b>Administrativo</b>	<b>Educativo</b>
<b>Propósito</b>	<p>Probabilidad y características de posibles fenómenos volcánicos que puedan realmente desencadenarse en la zona y diversas circunstancias. Es la base para preparar los otros dos mapas.</p>	<p>Zona de influencia para cada fenómeno volcánico. Distribución de las medidas preventivas y procedimiento de actuación en caso de emergencia.</p>	<p>Muestra el área afectada por los fenómenos volcánicos y los procedimientos a seguir en una emergencia. Para su utilización por residentes y visitantes. Mitigar los efectos de la catástrofe.</p>
<b>Contenido</b>	<p>Historia de los desastres ocurridos en el pasado. Área de peligro para cada uno de ellos. Condiciones de predicción. Espesor de los depósitos. Tiempos de recorrido</p>	<p>Área de influencia de cada factor de desastre. Condiciones de predicción. Clasificación de grados de peligro. Localización de refugios. Infraestructura (oficinas municipales, escuelas, hospitales, carreteras, etc.). Zonificación. Sistema de información y alarma.</p>	<p>Zona afectada por el desastre. Condiciones de predicción. Procedimiento de evacuación: punto de reunión, rutas. Procedimiento de recogida de información. Precauciones y normas a seguir en caso de crisis.</p>
<b>Responsable</b>	<p><b>Autoridad Gubernamental: Local, Regional, Estatal.</b></p>		



**Figura 3-1** Mapas para uso de la Administración

En muchas ocasiones, se confunde el mapa de riesgo con un mapa en el que se representan los materiales procedentes de una posible erupción. Este tipo de mapas se obtiene directamente a partir de los modelos de los distintos mecanismos eruptivos y de los procesos post-eruptivos. Transformando estos mapas en función del valor afectado, su vulnerabilidad y la probabilidad de que ocurra una erupción de este tipo y generalizado para todas las erupciones posibles, se obtiene el mapa de riesgo para la zona. Este tipo de estudios tienen interés dentro de lo que se entiende por gestión del territorio, siempre que no se manipulen los riesgos en una u otra dirección, siendo especialmente frecuente que en áreas de muy bajo riesgo se justifiquen determinada instrumentación y grupos pseudo científicos de vigilancia simplemente magnificando el riesgo.

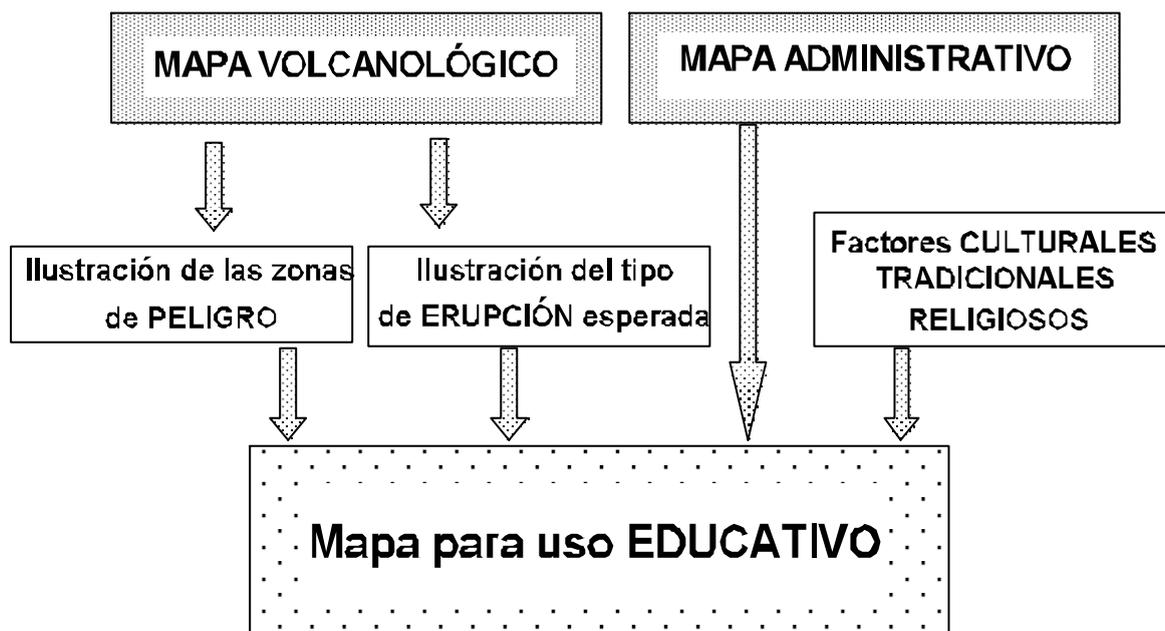
El Mapa de Riesgo Volcánico de uso Administrativo presenta dos facetas: primera, debe servir para que la Administración conozca cuál es el riesgo volcánico que soporta la zona y poder planificar con ello a largo plazo. Por otro lado, es el mapa que se utilizará en el momento en el que se desencadene una crisis. Para ello, es importante que esté publicada la normativa correspondiente y existan los adecuados protocolos de actuación (Araña et al., 1989b).

<b>Tabla I Mapa para uso de la Administración: Contenido</b>		
<b>Temas</b>		<b>Métodos</b>
<b>Escala del mapa</b>	<b>Regional</b>	<b>1/100.000 a 1/1.000.000</b>
	<b>Municipal</b>	<b>1/25.000 a 1/200.000</b>
<b>Extensión del mapa</b>		<b>Debe cubrir todo el volcán y alrededores.</b>
<b>Tipo de daño</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Tres clases: Mayor, Medio, Menor.</b>
	<b>Magnitud</b>	
<b>Factores que requieren aviso de peligro</b>		<b>Caída de piroclastos. Flujos de lava. Tsunami.</b>
<b>Condiciones</b>		<b>Mostrar claramente magnitud y lugar de la erupción. Condiciones meteorológicas.</b>
<b>Perfil de los fenómenos volcánicos</b>		<b>Contorno de cada desastre ligado a su respectivo volcán.</b>
<b>Escala</b>		
<b>1/200.000 a 1/1.000.000</b>	<b>Caída de piroclastos.</b>	
<b>1/50.000 a 1/200.000</b>	<b>Coladas piroclásticas. Oleadas piroclásticas. Caída de piroclastos. Lahares. Inundaciones. Avalanchas</b>	
<b>1/10.000 a 1/200.000</b>	<b>Balística. Coladas lávicas. Colapso del edificio. Deslizamiento de laderas. Gases.</b>	

El análisis del mapa de riesgo permite organizar el territorio y establecer, si ello es posible, las adecuadas defensas activas. Este tipo de estudios se plantea a muy largo plazo y el impacto práctico que tiene es muy reducido, incluso en situaciones claras y con volcanes tan célebres como el Vesuvio. El establecimiento de los mapas de riesgo para procesos postvolcánicos, como los lahares, se utiliza frecuentemente ya que las defensas activas en estos casos son de mucho menor costo y además la frecuencia con que ocurren estos desastres es mucho mayor, especialmente en todos los volcanes activos situados en zonas de abundantes lluvias.

Este tipo de mapas debe ir acompañado de la correspondiente memoria que facilite su utilización. Es importante insistir en que una información imprescindible que debe figurar en los mapas es el diagrama de tiempos disponibles para actuar frente a cada uno de los peligros. Lógicamente este tipo de información no sirve para nada si no existe una planificación anterior. Es importante disponer del material didáctico necesario y preparado a distintos niveles. Además, éste material debe actualizarse periódicamente.

Hay que pensar que una crisis puede iniciarse en cualquier momento y puede que transcurran varios meses antes de culminar en una fase catastrófica. Pero este tiempo es muy pequeño si hay que improvisar todo el material informativo y preparar al personal que debe intervenir, además de establecer los correspondientes planes de actuación. Hay que recordar que la demanda de información es muy grande en las fases iniciales de la crisis y que ésta se convierte rápidamente en arma política.



**Figura 3-2** Elementos que intervienen en el mapa educativo

## MAPA PARA USO DE LA ADMINISTRACIÓN: OBJETIVOS

Indicación	Objetivo	
	para prevención	en emergencia
Erupciones en el pasado	Cráter, conos, domos, área cubierta por las principales emisiones incluyendo fenómenos asociados.	igual
Magnitud para cada factor	Tres categorías: mayor, media, menor.	Tiempo para la caída de piroclastos. Velocidad de lavas. Tiempo de recorrido de tsunamis.
Predicción	Escala y lugar de erupción. Propiedades de los materiales emitidos. Meteorología.	igual
Centros de prevención	Gubernamental: Nacional, Regional o Local.	Organismos de Gobierno. Protección Civil. Policía. Bomberos. Ejército. Servicio Hidrológico y Forestal. Parque Móvil. Comunicaciones. Información Pública.
Evacuación	Puntos de concentración. Lugares de evacuación. Vías y Puertos.	igual
Servicios públicos	Medios de transporte.	Infraestructura de Transporte. Infraestructura de Energía (centrales, líneas, subestaciones). Suministro de Agua. Red de Comunicaciones. Hospitales. Escuelas. Asilos. Centros Militares. etc.
Areas restringidas por ley	Parques Nacionales o Naturales. Zonas de alta peligrosidad. Zonas de defensas activas, etc.	
Límites	Fronteras entre Estados. Límites de municipios.	Areas de tráfico restringido. Areas de acceso prohibido.

**MAPA PARA USO EDUCACIONAL: CONTENIDO**

Temas	Contenido	
	Importante	Complementario
Centros de prevención de desastres	Localización de los Centros de Emergencia.	Centro de Prevención. Comunicaciones e información pública. Radiocomunicaciones.
Infraestructura para la evacuación	Puntos de concentración. Lugares de evacuación. Vías. Aeropuertos. Helipuertos. Puertos.	
Servicios Públicos		Red de transportes. Suministros de agua. Teléfono. Hospitales.
Límites administrativos Zonas restringidas	Zonas restringidas al tráfico. Zonas de acceso limitado o prohibido.	Fronteras Estatales. Límites Municipales. Zonas de acumulación. Valles. Torrentes.
Información	Mentalización de la población. Información comprensible sobre la catástrofe volcánica. Instrucciones para la evacuación. Línea de contacto durante la evacuación.	
Fenómenos volcánicos	Explicación de cada fenómeno que ocurre en el volcán, situaciones de peligro, factores de desastre facilitados al público en forma accesible.	

### 3.1.3. Metodología para construir los mapas de Peligros Volcánicos y Riesgo Volcánico

Para establecer un mapa de riesgo volcánico debemos partir de la definición de riesgo expuesta en el capítulo 1.2.1 de este volumen. El riesgo es una densidad de probabilidad  $R(x,y,z,\Delta t)$ , definida a partir de la peligrosidad, es decir de la densidad de probabilidad  $P(x,y,z,\Delta t)$  de que en un punto  $(x,y,z)$ , en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , ocurra un evento peligroso y de la vulnerabilidad  $V(x,y,z)$ , entendida como densidad de probabilidad de que dado el evento peligroso se sufra un determinado daño. Hay que destacar que mientras la peligrosidad es función del intervalo de tiempo y por ello invariante frente a una traslación temporal, la vulnerabilidad es sólo función del punto considerado y de la actividad humana en ella desarrollada y por ello puede ser sujeta a normas tendentes a disminuir el riesgo. Introduciendo el valor  $\$(x,y,z)$  de los bienes sujetos a posibles pérdidas se tiene:

$$R(x, y, z, \Delta t) = \$(x, y, z) V(x, y, z) P(x, y, z, \Delta t)$$

Por consiguiente, en la valoración del riesgo los factores primordiales son de carácter social y económico, mucho más próximos a la política regional que a la aproximación científica y técnica de los volcanólogos y técnicos de la protección civil. En consecuencia, cuando a los volcanólogos se les pide un mapa de riesgo, éstos deben limitarse a establecer el mapa de peligrosidad volcánica, dejando a otros especialistas la transformación de este mapa en un mapa de riesgo, mapa que en definitiva viene expresado en dinero y en el que hay que evaluar si es más rentable un hombre, una vaca o una industria, cuyos valores dependen del contexto socioeconómico (Araña y Ortiz, 1993).

Al plantear un mapa de peligrosidad debe empezarse por definir cual es el intervalo de tiempo  $\Delta t$  considerado. Un criterio, es considerar todos aquellos eventos que puedan producirse en los próximos 60 años, lo que supone períodos de retorno del orden de 500 años para margen de confianza del 99.5%. Seguidamente, debe realizarse un estudio geológico de las erupciones habidas en la zona, reconstruyéndose sus mecanismos eruptivos y tratando de establecer claramente las relaciones temporales existentes entre ellas, así como poner de manifiesto la presencia de secuencias significativas. Estos datos son analizados estadísticamente, tratando de establecer el modelo que permita reconstruir las distintas secuencias e intervalos. Este modelo estadístico permite calcular para cada mecanismo eruptivo su densidad de probabilidad para el intervalo de tiempo considerado. En general, los valores obtenidos correspondientes a las erupciones más peligrosas, salvo en volcanes muy particulares, son tremendamente pequeños. Para cada posible evento eruptivo en la zona se modeliza el correspondiente mecanismo eruptivo y fenómenos asociados. En algunos casos, deben modelarse numerosas situaciones que pueden modificar considerablemente los resultados obtenidos; un ejemplo de ello puede ser la modelización de la caída de los piroclastos cuando en la zona no existen vientos dominantes claramente definidos (Araña y Ortiz, 1993).

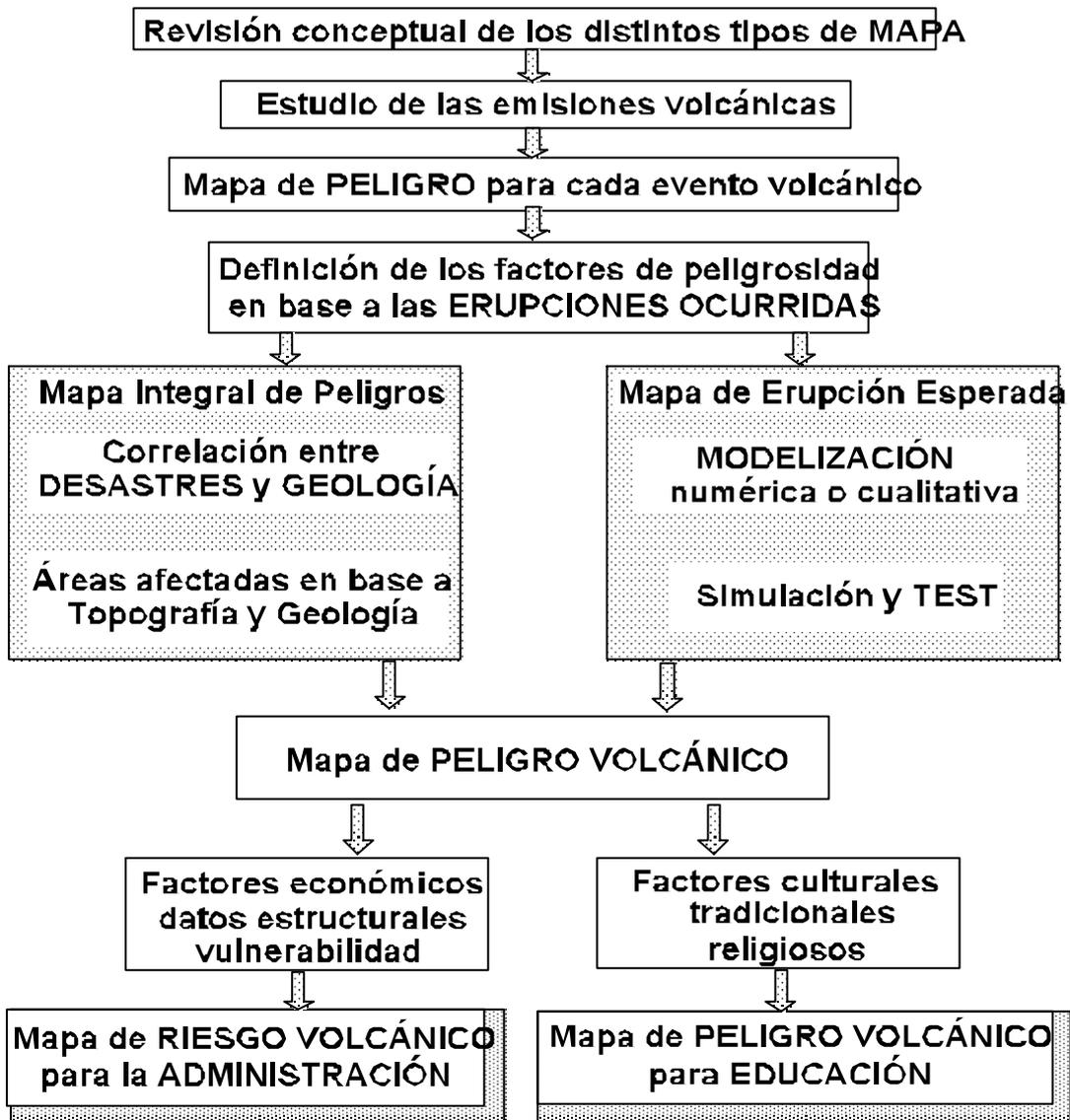


Figura 3-3 Preparación de los mapas de peligrosidad volcánica.

La preparación del Mapa de Peligros Volcánicos requiere una importante inversión en tiempo y dinero para hacerla recopilación completa de datos. Por ello se suele proceder estudiando cada peligro por separado y después integrándolos todos en las bases de datos del Sistema de Información Geográfica. Es importante planificar adecuadamente cómo se realizará el trabajo de adquisición de datos, a fin de evitar por una parte repeticiones y por otra conseguir que el conjunto de datos final sea representativo (Alexander, 1993).

Es necesario destacar la importancia que tiene establecer una buena base cronológica de los eventos con el fin de poder determinar con la menor incertidumbre posible los períodos de retorno de cada uno de los eventos.

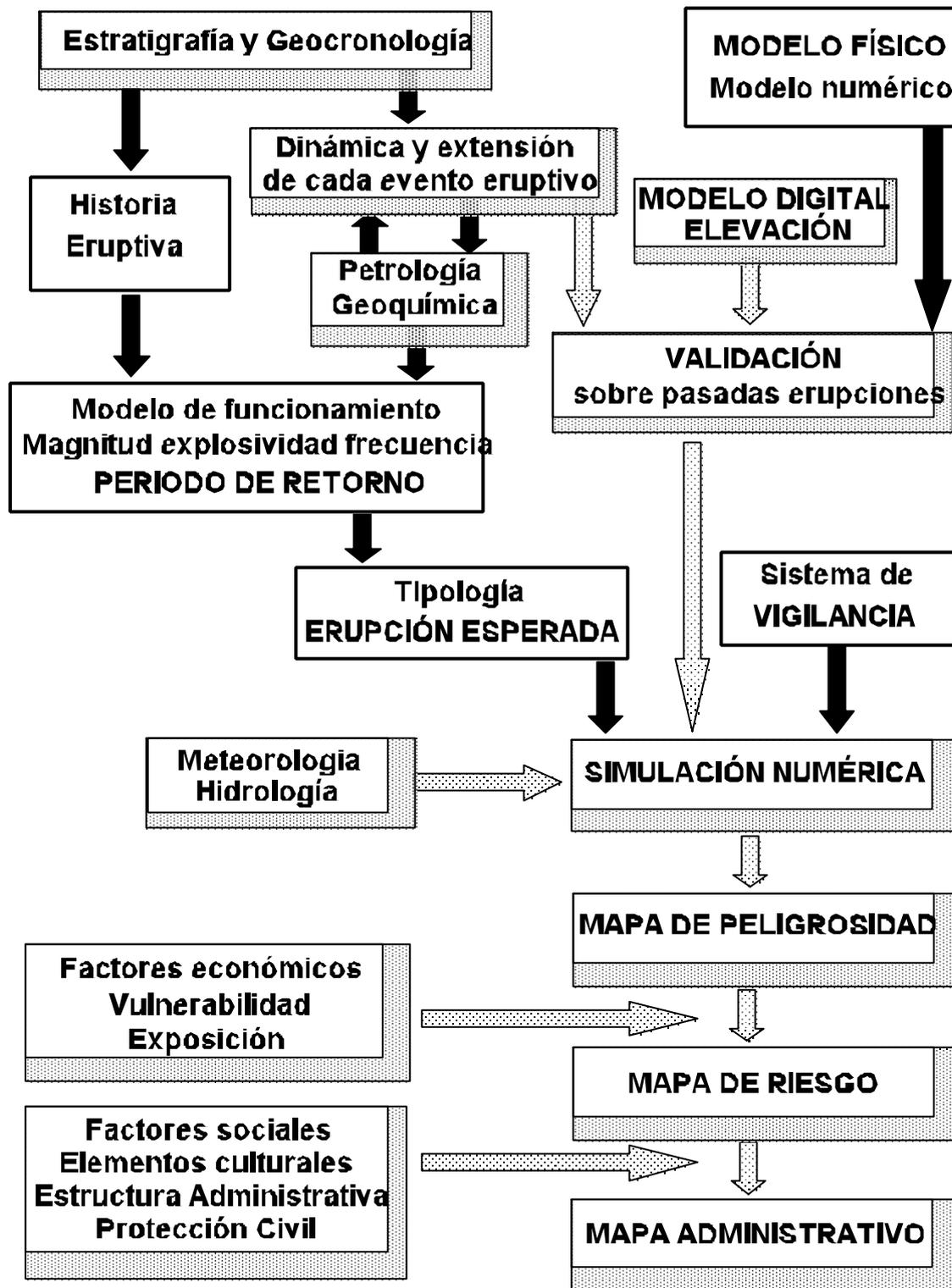
Los mapas correspondientes se establecen definiendo un efecto (caída de piroclastos superior a 20 kg/m<sup>2</sup>, coladas de lava, gases, etc) y considerando su densidad de probabilidad. Como el mapa debe integrar todos los posible eventos ocurridos en el área se suman todas las densidades de probabilidad, resultando:

$$P(x, y, z, \Delta t) = \sum_i p_i(\Delta t) P_i(x, y, z, \Delta t)$$

donde  $p_i(\Delta t)$  es la densidad de probabilidad de que ocurra el evento en el tiempo  $\Delta t$ . Este mapa es el que los volcanólogos deben construir y que transformado por los especialistas correspondientes incluyendo la población, estructuras y comunicaciones, constituye el mapa de riesgo volcánico.

La metodología para la realización del mapa de riesgo volcánico pasa por la necesaria coordinación de un equipo multidisciplinar (Araña, 1996), necesario para la realización de los estudios geológicos encaminados a la reconstrucción individualizada de cada evento eruptivo, de su modelización física y de su transposición a la realidad social y económica actual de la zona afectada por la posible erupción (Dobran et al., 1990).

Es importante recordar que tanto los datos como los modelos deben utilizarse en una crisis real, lo que implica que mucha de la información requerida puede no estar disponible en ese momento. De poco sirve un sistema muy sofisticado si no es útil en el transcurso de una crisis. En muchos casos la única información de que se dispone en los primeros momentos (horas, días) son las coordenadas del centro de emisión y una vaga idea sobre el tipo de erupción, posteriormente, si la accesibilidad del volcán y las condiciones meteorológicas lo permiten, se podrá empezar a estimar otros parámetros.



**Figura 3-4** Estructura para la realización del Mapa de Riesgo Volcánico. Los elementos en sombreado pertenecen al Sistema de Información Geográfica (Ortiz, 1995).

El primer elemento que debemos introducir en el Sistema de Información Geográfica es el mapa topográfico de la zona. Es importante que este mapa se corresponda exactamente con el modelo digital del terreno utilizado por los modelos numéricos, red viaria, centros urbanos, etc. El material utilizado para los trabajos de campo, foto aérea, foto satélite, cartografía específica, etc, deberá corregirse adecuadamente.

El modelo digital de terreno debe construirse de forma que presente la máxima resolución posible en función de la información topográfica existente de la zona. Difícilmente se puede trabajar con resoluciones de 25 metros partiendo de un mapa básico a 1:100.000. Una resolución de 200m puede resultar insuficiente para el modelado de coladas lávicas, pero resulta más que suficiente para la proyección balística o los flujos piroclásticos. Para la modelización detallada de avalanchas se necesita un modelo topográfico particular que se puede obtener fácilmente transformando el modelo digital de elevación.

Los modelos digitales de terreno contienen numerosos errores, los menos proceden de inexactitudes en la base de datos utilizada para generar el mapa, los más debidos al algoritmo que se ha utilizado para trazar las isolineas en el mapa original y al método seguido para transformarlas en malla regular. Especialmente peligrosos son los *huecos*: un único punto que debido a una oscilación del algoritmo queda por debajo de los puntos que le rodean. En ocasiones, es preferible suavizar el modelo, eliminando los huecos, y después añadir una rugosidad controlada (Dobran, 1995).

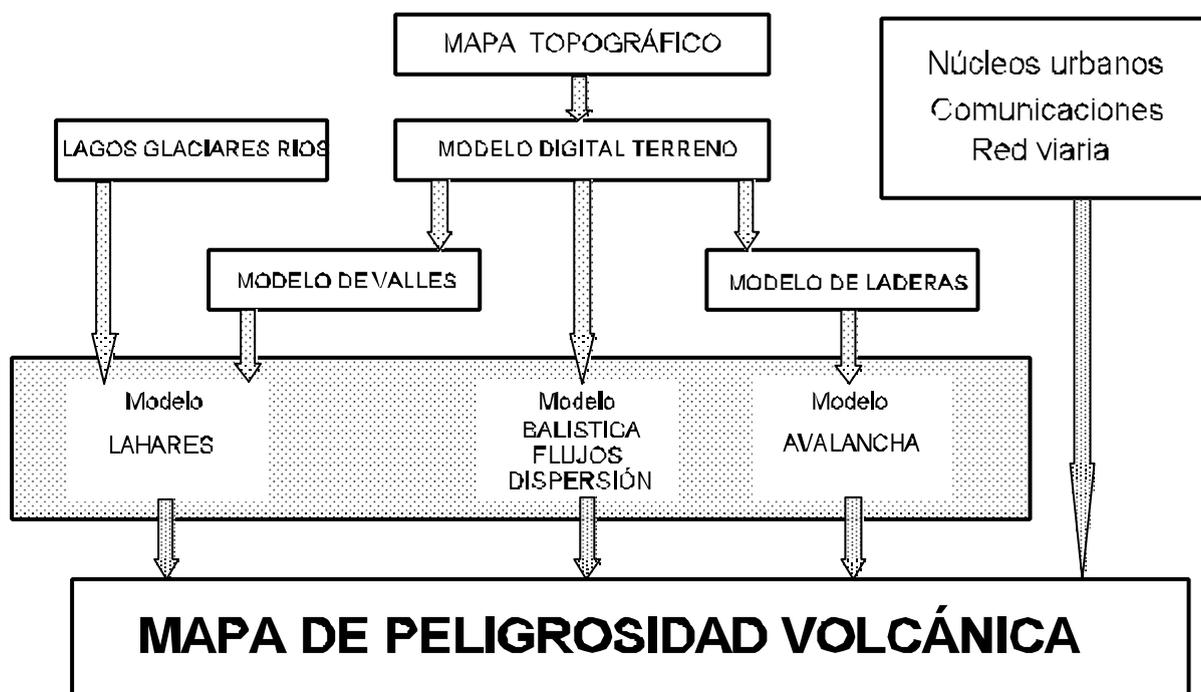
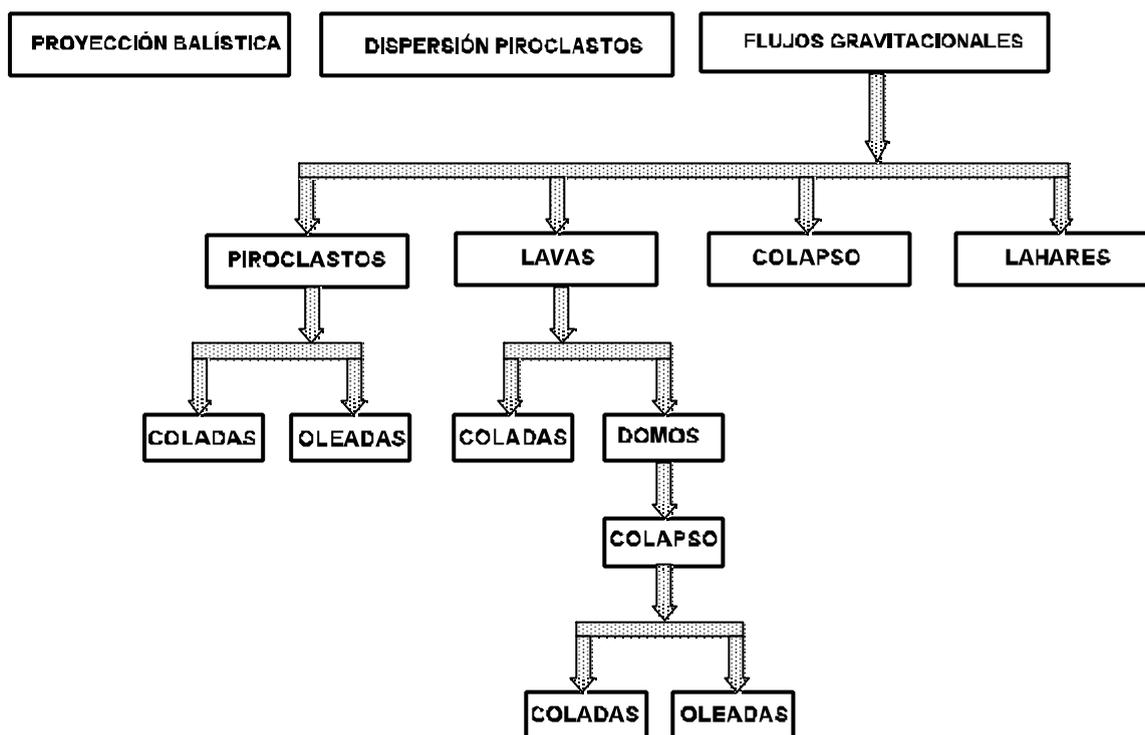


Figura 3-5 Modelo digital del terreno: relaciones y aplicaciones

El modelo digital del terreno es siempre un fichero de dimensiones considerables, por lo que es conveniente disponerlo como una matriz rectangular en enteros y formato binario, empezando por el elemento situado en el extremo Norte-Oeste. Es necesario incluir un pequeño fichero texto en ASCII donde se lean el número de columnas y filas, el espaciado en m y las coordenadas de los extremos. Como información complementaria puede incluirse la referencia del mapa topográfico que ha servido de escala y cualquier información que se considere de utilidad. Para facilidad del usuario es importante que el inicio de la cabecera sea siempre idéntico, es conveniente utilizar para estos datos sólo enteros sin comentarios, para evitar complicar los programas de lectura. Como ejemplo mostramos la cabecera utilizada para los programas de modelización realizados en el Dep. Volcanología del MNCN-CSIC:

```
DEM
4345
5711
25
27 33.25
-3 9.37
*****
Isla de Lanzarote
Mapas Servicio Geográfico del Ejército 1:50.000
Realizado el 12-4-95
```

La modelización de la erupción esperada requiere disponer de un conjunto de programas para la simulación de los distintos peligros volcánicos que pueden presentarse en la zona (Barberi et al., 1989a). Esta modelización debe realizarse a distintos niveles de resolución, pues cuanto más preciso sea el ajuste requerido al modelo mayor será el número de parámetros sobre la erupción que se necesitarán. No hay que olvidar que, a efectos de valoración del riesgo volcánico, se necesita más una valoración global de los efectos de la erupción que el detalle preciso en cada uno de los fenómenos y que está muy lejos de poder ser proporcionado por los modelos actuales. En este aspecto, es interesante organizar los modelos en forma escalonada, entrando cada vez más en el detalle de cada fenómeno mediante modelos más y más elaborados. Así, en primera aproximación, es posible utilizar el mismo modelo gravitacional para todos los fenómenos bajo control topográfico, introduciendo un parámetro que refleje la movilidad de cada evento particular y que se ajusta empíricamente en base a los datos disponibles para cada zona. Procediendo de este modo se puede obtener una buena representación del fenómeno, apta para servir de base al mapa de peligrosidad volcánica para el evento considerado.



**Figura 3-6** Relación entre los Modelos Numéricos de Peligros Volcánicos

Los modelos numéricos de los distintos peligros volcánicos parten de una simplificación del modelo físico del fenómeno y precisan de la entrada de una serie de parámetros característicos de la erupción esperada y utilizan los datos del modelo digital del terreno. En función del tipo de modelo será necesario realizar una transformación de los datos de elevación, generando un modelo local del terreno de menores dimensiones. Este proceder mejora la eficiencia del proceso de cálculo, pues se trabaja con modelos de menores dimensiones. Al finalizar, los resultados de la simulación deben escribirse en un fichero directamente compatible con el Sistema de Información Geográfica.

La transformación del mapa de peligrosidad en mapa de emergencia o en el mapa de riesgo, es un proceso simple que se realiza directamente mediante el uso de las herramientas propias del Sistema de Información Geográfica. Sin embargo, para que esta transformación sea sencilla de realizar es necesario que la salida de los distintos modelos de peligros volcánicos esté adecuadamente escalada, de modo que la aplicación de las tablas de vulnerabilidad sea inmediata. Evidentemente, la utilidad del sistema dependerá fundamentalmente de la correcta actualización de los datos que constituyen la base del Sistema de Información Geográfica. Este tipo de proceso requiere la utilización sistemática de funciones del tipo AND, OR, EXOR y de escala, actuando sobre las vulnerabilidades definidas para todos los elementos. Por consiguiente, es conveniente que desde un principio se introduzcan las distintas capas que constituyen el Sistema de Información Geográfica con este criterio. Esto también debe aplicarse al formato de salida de los distintos modelos.

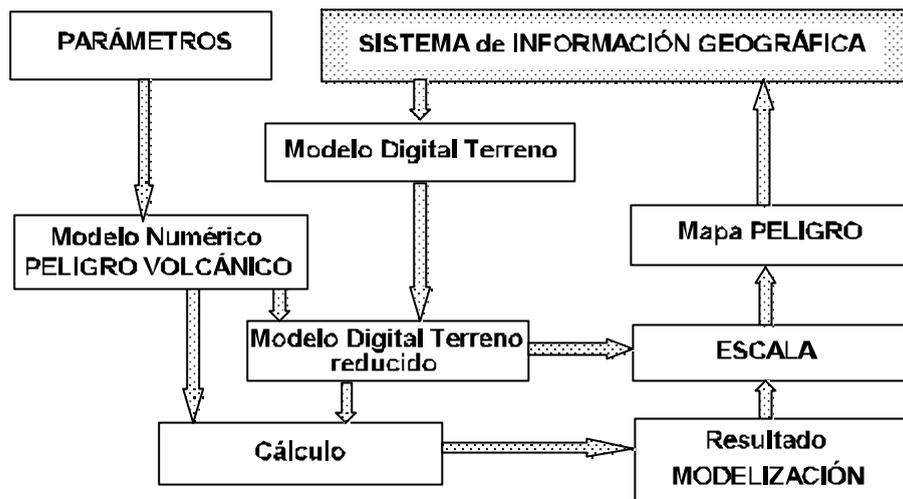


Figura 3-7 Transformaciones de escala del modelo digital del terreno

Los mapas de riesgo y gestión de la emergencia deben actualizarse continuamente en caso de crisis, en función de como vaya evolucionando la actividad del volcán o como los datos procedentes del seguimiento de la crisis vayan permitiendo optimizar el ajuste de los modelos. Para que este proceso pueda realizarse de forma adecuada, el sistema debe poder operar de un modo sencillo sin necesidad de tener que realizar operaciones manuales.

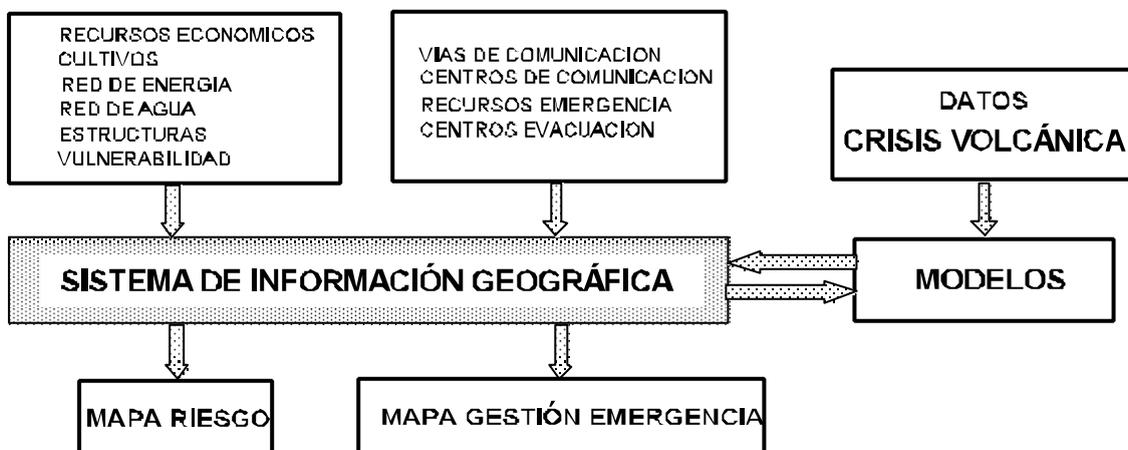


Figura 3-8 Obtención de mapas de riesgo volcánico y gestión de emergencias

Finalmente, los mapas de tipo educativo o informativo deben realizarse manualmente, en colaboración con un equipo de pedagogos, ya que los criterios de tipo cultural y tradicional afectan al contenido de estos mapas, los cuales requieren además un cierto tratamiento artístico con el fin de que resulten atractivos.

### 3.2. MODELIZACIÓN NUMÉRICA EN MAPAS DE PELIGROSIDAD VOLCANICA

El empleo de modelos físicos para describir los procesos volcánicos es una materia relativamente reciente pero que ha supuesto un cambio radical en la Volcanología en los últimos años. Sin embargo, el objetivo último de la Volcanología sigue siendo el mismo: saber dónde, cómo y cuándo tendrá lugar una erupción. Dentro de la búsqueda de las respuestas a éstas preguntas se encuentra el desarrollo de *modelos físicos de procesos volcánicos*, fruto de la investigación interdisciplinar de especialistas en termodinámica de fluidos, físicos, matemáticos, geólogos, ... etc. Los modelos que aquí se describen son aquellos que responden al "cómo" será la erupción y por tanto pueden ser empleados para estimar los efectos de ésta en cada punto del área de estudio, siendo así una herramienta básica para la generación de mapas de peligrosidad. En general, para que un modelo sea aplicable para la generación de mapas de peligrosidad, debe describir los fenómenos físicos básicos que intervienen en el proceso eruptivo, empleando para ello aquellos parámetros que sean necesarios. En principio, parece lógico suponer que un modelo en el que intervengan gran cantidad de parámetros describirá mejor el proceso. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que a la hora de plantearse un mapa de peligrosidad volcánica, son pocos los parámetros que pueden acotarse de forma fiable. Por ello, la aplicación de modelos muy complejos puede implicar que varios de los parámetros que intervienen en el mismo no puedan ser bien definidos, de forma que el resultado final puede no ser representativo. Así, en un mapa de peligrosidad debe estar claramente indicado tanto cuál es el modelo empleado para su generación como los valores de los parámetros de entrada. De este modo, nuevos datos procedentes de estudios posteriores que modifiquen los valores de los parámetros de entrada, podrán ser introducidos en los modelos generando nuevos mapas de peligrosidad.

#### 3.2.1 Coladas lávicas

El desarrollo de un flujo de lava depende de múltiples factores. Entre ellos, los principales son el ritmo de emisión, las características reológicas del magma y la topografía (Hulme, 1974; Dobran et al., 1990). En el comportamiento de estos flujos pueden observarse varios aspectos:

- a) Comportamiento no newtoniano del fluido.
- b) Pérdida de calor por conducción, radiación y convección.
- c) Transiciones entre diferentes regímenes de flujo (pahoehoe, aa, ...).
- d) Solidificación de la parte superior del flujo y formación de labios y túneles.
- e) Cambios en la topografía original durante el flujo.
- f) Bifurcaciones del flujo.

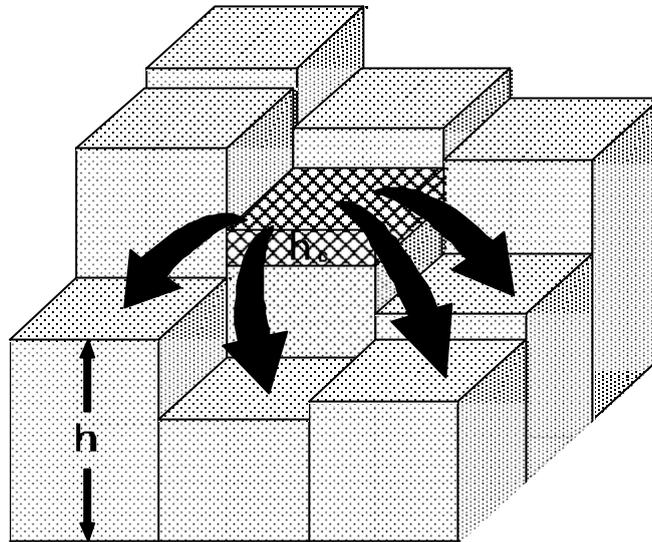
Hoy en día no existe un modelo físico que englobe todos estos aspectos. Los modelos actuales describen conjuntamente como mucho tres de estos fenómenos observables. Estos modelos son de muy diversa índole según el modo de aproximación al problema. Así existen desde modelos en los que se resuelven las ecuaciones de transporte a probabilísticos, desde analíticos a empíricos. En general, los modelos analíticos basados en la resolución de las

ecuaciones de transporte (conservación de masa y balance energético y de momento) no tienen en cuenta la usualmente complicada topografía de los volcanes sino que describen el flujo sobre un plano inclinado (Dragoni et al., 1986; Dragoni, 1989; Baloga y Pieri, 1986), por lo que no son aplicables a la generación de mapas de riesgo.

Un modelo que tiene en cuenta la conservación de masa, el intercambio de calor con la atmósfera por radiación, variaciones de viscosidad con la temperatura y el comportamiento no-newtoniano del magma es el de Ishihara et al. (1989). En él se asume que la lava se comporta como un fluido Bingham y que su viscosidad y cizalla umbral dependen de la temperatura. El dominio de cálculo se divide en celdas cuadradas. En cada intervalo de tiempo se calcula la variación de volumen de lava en cada celda como la suma de los flujos de masa a través de los límites de la celda. Estos flujos son calculados en función del espesor, temperatura y propiedades reológicas de la lava en cada celda. Un planteamiento similar es el de Barca et al. (1994) que emplean la técnica de autómatas celulares. Una de las características más sobresalientes del modelo es que permite variar el ritmo de efusión e introducir diversos centros de emisión. Este modelo tiene en cuenta los cambios sobre la topografía original que produce la solidificación de la lava considerando como parámetro de entrada global la temperatura de solidificación de la lava. En el momento en que la temperatura media de la colada en una de las celdas alcanza el valor de solidificación, la altura topográfica de dicha celda se incrementa en un valor igual al espesor de lava. Recientemente Wadge et al. (1994) han presentado un modelo para evaluación de riesgo debido a flujos lávicos empleando un modelo tanto determinista como probabilístico. La característica más sobresaliente de este modelo (descrito en Young et al. (1990) y Wadge y Wadge (1994)), es su rapidez de cálculo, conseguida al simular únicamente el comportamiento del frente de la colada, asumiendo implícitamente la llegada de lava al frente. Considerando que la lava se comporta como un fluido Bingham, en cada iteración toda celda cuyo volumen de lava supera un volumen crítico distribuye la diferencia entre ambos volúmenes entre las ocho celdas vecinas y permanece inactiva en la siguiente iteración. El modelo no considera variaciones en la reología de la lava por cambios de temperatura, pero permite variar el ritmo de efusión y la cizalla umbral. Los mejores resultados se obtienen cuando se emplea una aproximación probabilística basada en una simulación de Monte Carlo, de forma que los parámetros de entrada varían aleatoriamente de acuerdo con probabilidades previamente calculadas a partir de análisis de datos de coladas anteriores.

Considerando la aplicación de estos modelos a la generación de mapas de peligrosidad para una zona volcánica activa específica o para el seguimiento en tiempo real de una crisis volcánica es preciso tener en cuenta varias limitaciones. En el caso de los mapas de peligrosidad es muy difícil determinar la mayor parte de los parámetros de entrada necesarios para el modelo: ritmo de descarga, características físicas de las lavas,... e incluso determinar con precisión el centro (o centros) de emisión. Únicamente, basándose en el conocimiento mayor o menor de la actividad anterior del volcán pueden "acotarse" mejor o peor alguno de estos parámetros aunque, especialmente en los modelos que resuelven las ecuaciones de Navier-Stokes, muchos de ellos deben ser extrapolados o inferidos a partir de los datos disponibles. En el seguimiento del desarrollo de una crisis, a estas limitaciones se añaden el

tiempo de cálculo requerido y las dificultades inherentes a la medida de parámetros como temperatura de emisión, densidad y viscosidad de la lava, ritmo de efusión, ...etc.

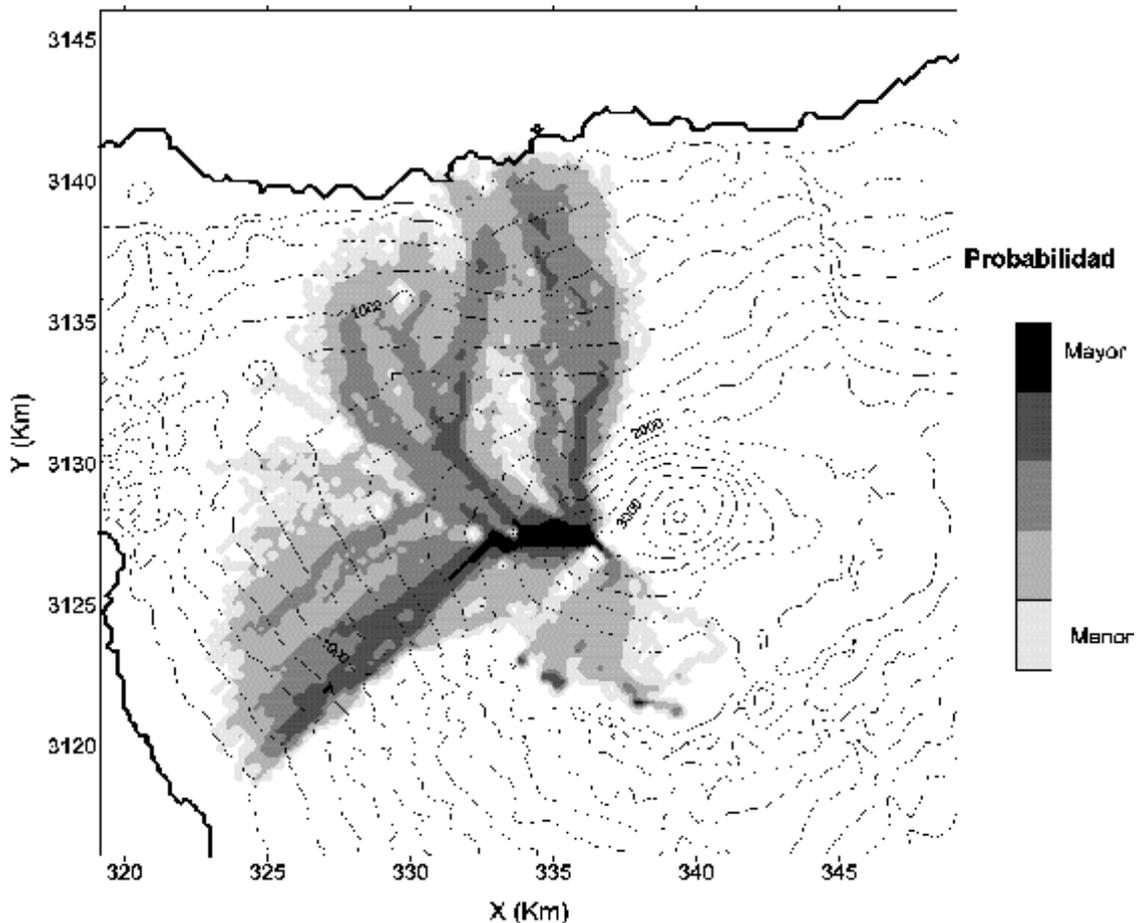


**Figura 3-9** Modelización de un flujo lávico por el método de Montecarlo: la probabilidad de que se alcance una celda es proporcional a la diferencia de alturas menos la altura crítica de la colada.

Por los motivos citados, los modelos más empleados en riesgo volcánico son los probabilísticos que, hoy en día, representan una potente herramienta tanto para la generación de mapas de riesgo y peligrosidad como para el seguimiento y actuación en caso de erupción (Barberi et al., 1993). Un modelo sencillo que puede emplearse para la generación de mapas de peligrosidad para erupciones efusivas es el *modelo de máxima pendiente*. En él se asume que la topografía juega el papel principal en la determinación del camino seguido por la colada. El modelo parte de un modelo digital de elevación (Digital Elevation Model, DEM) de la zona de estudio, es decir, la superficie se divide en celdas cuadradas cada una de las cuales tiene asignada una altura (Fig. 3-9). Se selecciona entonces un punto como emisor del flujo y a partir de él se considera que el flujo puede dirigirse a una de las ocho celdas circundantes. La probabilidad de que el flujo se desplace a una celda determinada es proporcional a la diferencia de alturas entre la celda considerada y aquella donde se encuentra el flujo, teniendo en cuenta que si esa diferencia es negativa la probabilidad será cero (es decir, el flujo no puede propagarse "hacia arriba"). Aplicando un algoritmo de MonteCarlo se calcula un posible camino de la colada. Este proceso se repite iterativamente un gran número de veces y finalmente se hace un recuento de cuántas veces ha sido atravesada por un flujo cada celda. Las celdas que han sido atravesadas muchas veces serán las que tienen una mayor probabilidad de ser invadidas por la colada, mientras que las que han sido atravesadas un menor número de veces tienen una probabilidad menor.

Este esquema general presenta un problema de fácil solución: la longitud de la colada es indefinida, por lo que si entra en una zona llana permanece retenido indefinidamente en ella y, en caso contrario, la longitud sería infinita. Para evitar este efecto es práctico introducir

un parámetro denominado "longitud máxima del flujo" ( $l_{max}$ ). Su función es detener la colada cuando ésta ha recorrido una determinada distancia (es decir, un número determinado de celdas). Otro parámetro que debe introducirse es la "altura crítica" ( $h_c$ ), entendida como un término que se suma a la altura de cada una de las celdas que recorre la colada. Este parámetro simula el efecto de la altura de la colada lávica u otros efectos como la rugosidad del terreno. En la figura 3-10 puede verse un ejemplo de salida de un modelo de este tipo.



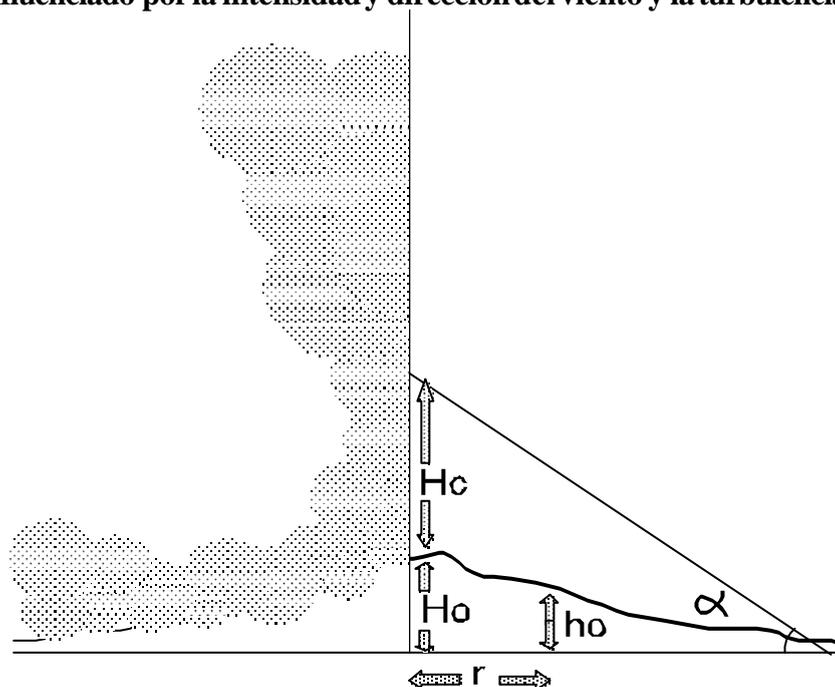
**Figura 3-9** Ejemplo de mapa obtenido mediante el modelo de máxima pendiente sobre la topografía de la isla de Tenerife. El centro de emisión se ha situado en el volcán Pico Viejo y los valores de los parámetros  $l_{max}$  y  $h_c$  son respectivamente 14km y 3m.

Modelos similares se han aplicado tanto a la generación de mapas de riesgo para el Etna basándose en la distribución espacial de cráteres de erupciones históricas como durante la erupción del Monte Etna 1991-1993 (Barberi et al., 1993). Un planteamiento parecido se emplea en un modelo aún más sencillo que podría denominarse *modelo de extensión máxima*. En este modelo se determinarían no los caminos más probables sino todos los caminos probables. El proceso consiste en que una vez definida cuál o cuáles son las celdas del DEM correspondientes al centro de emisión, se determina cuáles de las celdas vecinas presentan una altura inferior y por tanto son susceptibles de ser invadidas por la lava. De cada una de

éstas se determina cuáles de sus vecinas pueden ser invadidas por el flujo y así sucesivamente. De esta forma se define el área máxima que puede ser cubierta por la lava.

### 3.2.2 Coladas piroclásticas

En una erupción explosiva, del cráter sale expulsado a gran velocidad un jet de gases volcánicos y piroclastos a elevada temperatura (Sparks, 1986). Durante su ascenso (típicamente de cientos de metros) pierde su energía cinética hasta que se alcanza un mínimo. En este punto, si la densidad de la mezcla es mayor que la de la atmósfera circundante, la columna colapsa formando coladas piroclásticas (Kieffer y Sturtevant, 1984; Dobran et al., 1993). Si, por el contrario, la densidad es menor, la columna entra en una región denominada convectiva caracterizada por la entrada de aire frío y ascenso por flotación. La parte superior de esta región convectiva está definida por el nivel en el que la densidad media de la columna es igual a la de la atmósfera circundante. A partir de aquí la columna se expande horizontalmente adquiriendo la típica forma de hongo. El transporte en esta región está fuertemente influenciado por la intensidad y dirección del viento y la turbulencia atmosférica.



**Figura 3-12** Ejemplo de aplicación del modelo de línea de energía sobre la topografía de Isla Decepción (Antártida). La línea de trazo grueso muestra el área potencial alcanzada por flujos piroclásticos cuyo centro de emisión está señalado por un pequeño círculo.  $H_c = 300\text{m}$  y  $\alpha = 17^\circ$ .

Desde hace diez años el estudio del comportamiento físico de columnas volcánicas y flujos piroclásticos ha experimentado un gran avance empleando modelos numéricos bidimensionales de flujo no estacionario y bifásico. Fundamentalmente estos modelos son: el del Laboratorio de Los Alamos (Wholetz et al., 1984; Valentine et al., 1991) y el del Grupo Nacional de Volcanología de Pisa (Dobran et al., 1993). Sin embargo, ambos modelos

presentan simetría cilíndrica con respecto a un eje vertical centrado en el centro de emisión, por lo que la inclusión de efectos de topografía implica considerar que la topografía del volcán presenta también simetría cilíndrica (hecho que evidentemente no se verifica en la mayoría de los volcanes). Por ello, su aplicación a temas de peligrosidad se hace considerando únicamente una dirección concreta y la topografía del perfil correspondiente.

La aproximación a la modelización del comportamiento de coladas y oleadas piroclásticas que más se emplea en mapas de peligrosidad es la basada en el concepto de *línea de energía* (Sheridan, 1979; Malin y Sheridan, 1982). Este modelo considera que el flujo piroclástico se mueve a lo largo de las laderas del volcán disipando su energía de forma lineal con la distancia, de acuerdo con un factor que se asocia a un ángulo denominado *ángulo de colapso* ( $\alpha$ ) (Fig. 3-10). La energía en cada punto viene dada por la expresión:

$$E(r) = (H_0 + H_c - h) g - \tan(\alpha) r$$

donde  $r$  es la distancia al centro de emisión,  $H_0$  la altura topográfica del centro de emisión,  $H_c$  la altura equivalente de colapso,  $h_0$  la altura topográfica del punto  $r$  considerado,  $g$  la gravedad y  $\alpha$  el ángulo del cono.

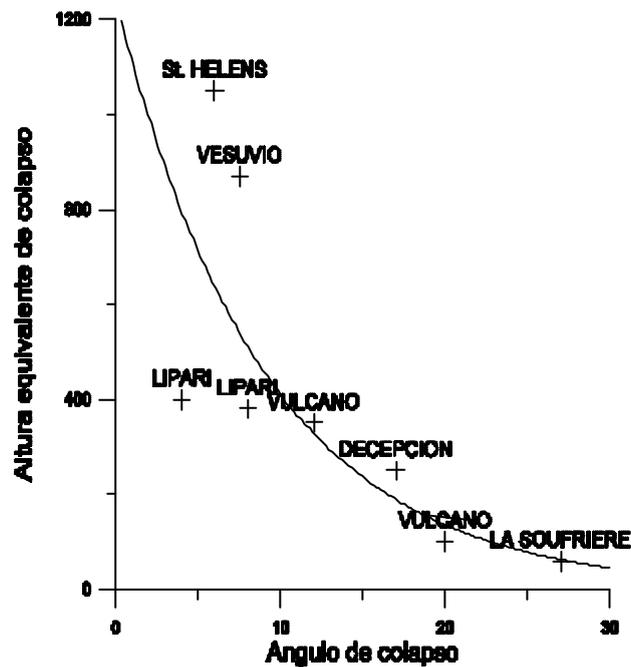
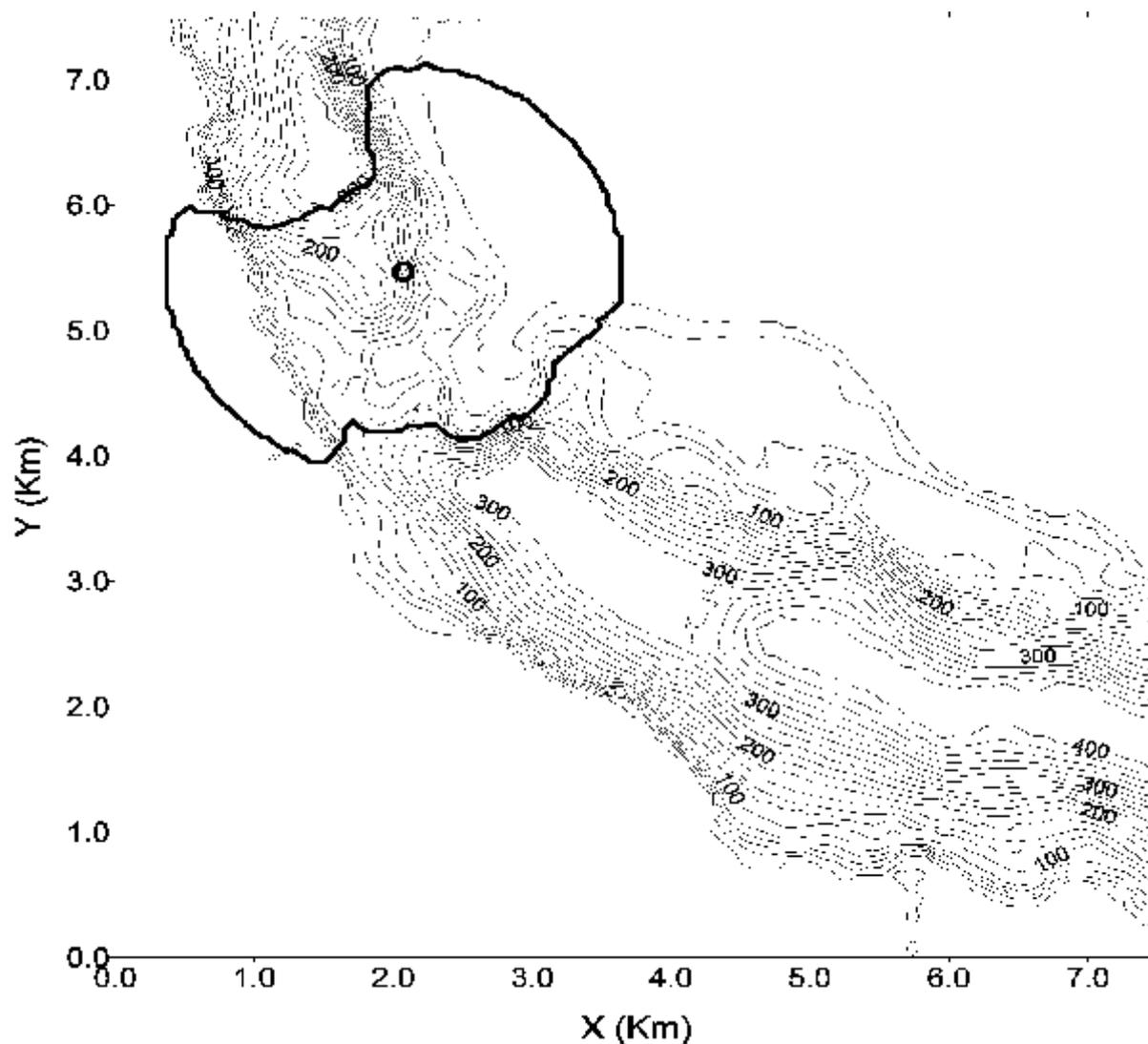


Figura 3-11 Relación entre altura y ángulo de colapso en el modelo de línea de energía



**Figura 3.12** Ejemplo de aplicación del modelo de línea de energía sobre la topografía de Isla Decepción (Antártida). La línea de trazo grueso muestra el área potencial alcanzada por flujos piroclásticos cuyo centro de emisión está señalado por un pequeño círculo.  $H_c = 300$  m y  $\alpha = 17^\circ$ .

Por tanto, este modelo sólo necesita, además de la topografía del área, dos parámetros: la altura de colapso de la columna y el ángulo de colapso. Basándose en erupciones bien estudiadas se ha establecido una relación empírica (Fig. 3-11) entre ambos parámetros:

$$H_c(\alpha) = 1300 e^{-0.116\alpha}$$

donde la altura está expresada en metros y el ángulo en grados.

Con este modelo se estima el área potencial que puede alcanzar el flujo (Fig. 3-12), mostrando los efectos producidos por la topografía, como son efectos de sombra y capacidad de

remonte. Sin embargo debe tenerse en cuenta que no se consideran otros efectos como la nube acompañante, la formación de columnas fénix, ... etc.

### 3.2.3. Caída de cenizas

En los últimos años se han publicado numerosos trabajos sobre modelización física de diversos aspectos de columnas plinianas. Sin embargo, sólo un pequeño número tiene aplicación directa a la generación de mapas de peligrosidad volcánica para caída de cenizas, especialmente porque la mayoría de los modelos no tienen en cuenta la acción del viento, que es un factor fundamental a la hora de definir el área que será cubierta por los piroclastos. Los modelos más empleados son los denominados de advección-difusión. Estos modelos consideran que la expansión de la nube de cenizas lejos del centro de emisión es debida únicamente a la turbulencia atmosférica (difusión) y a la acción del viento (advección), mientras que la deposición de las partículas está controlada por su velocidad límite de caída.

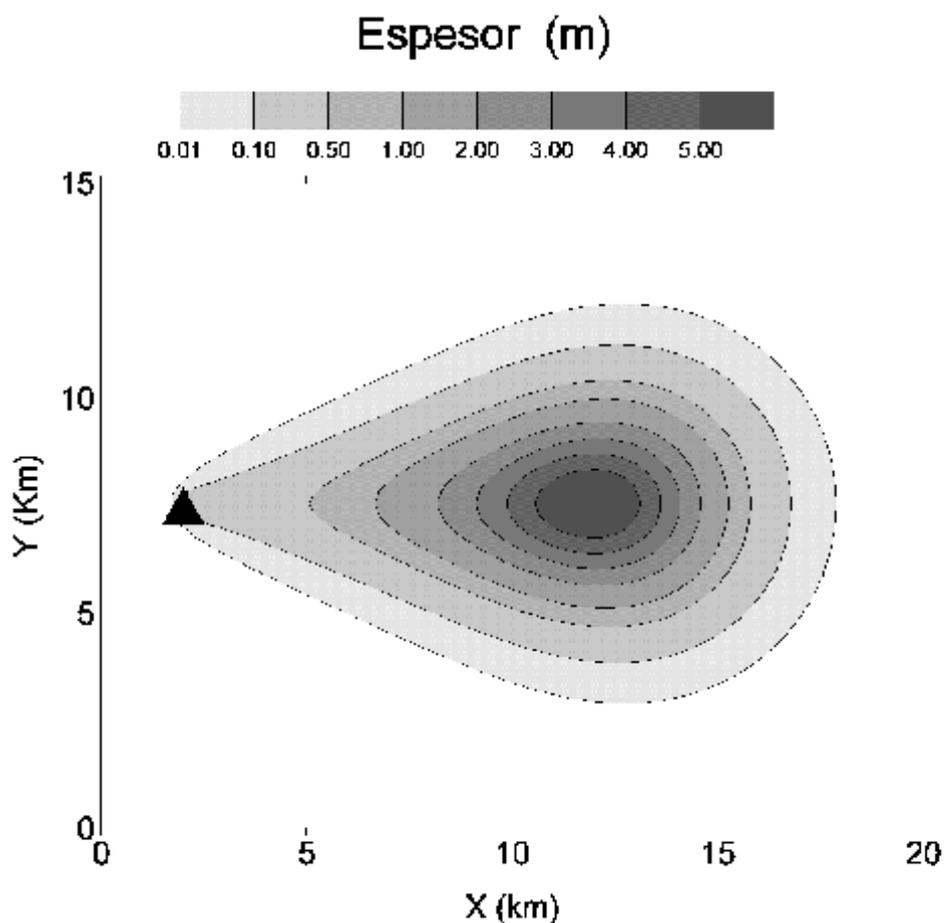
La ecuación básica que describe este proceso es (Armienti et al., 1988):

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (V_v C) - \frac{\partial v_{lim} C}{\partial z} = \nabla \cdot (K \cdot \nabla C)$$

donde  $C$  representa la concentración de partículas en cada instante y cada punto del espacio,  $V_v$  es el campo de velocidad del viento,  $v_{lim}$  la velocidad límite de caída de las partículas,  $K$  el tensor de difusividad y  $S$  es la función fuente que representa la entrada de partículas en el sistema, es decir, la columna eruptiva.

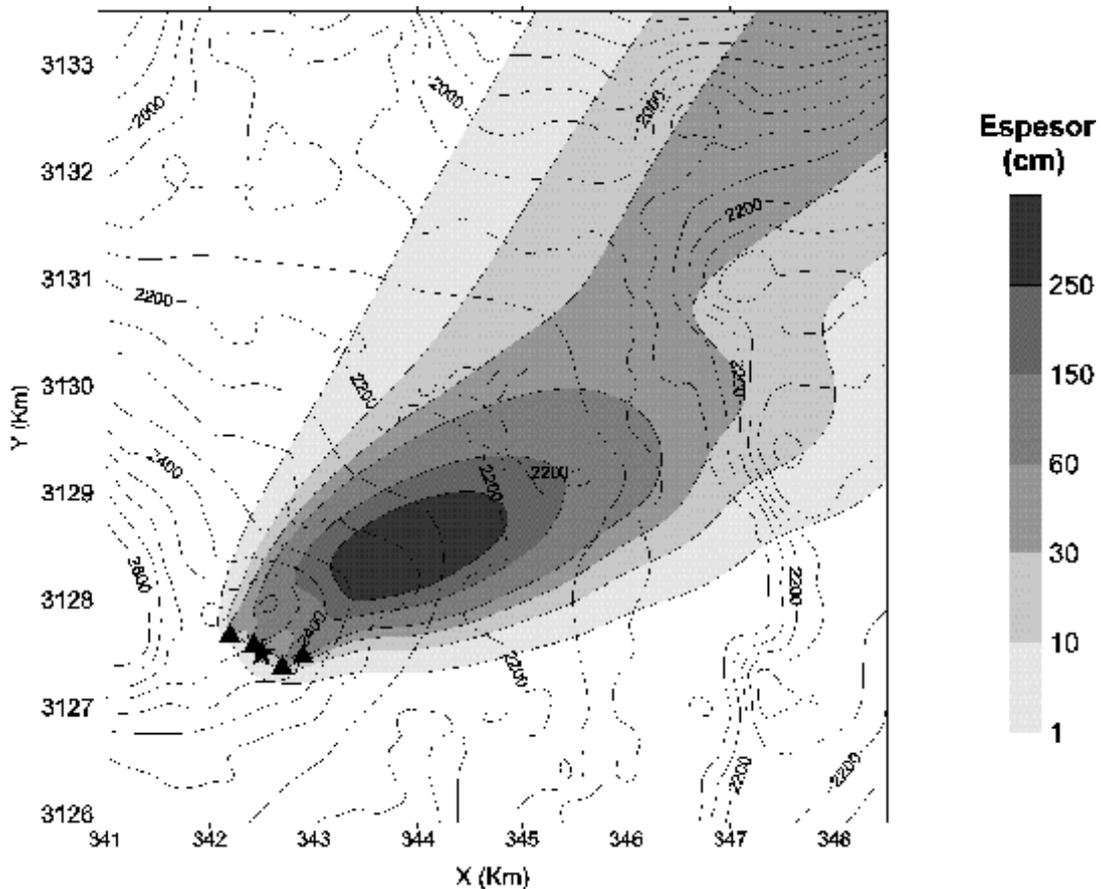
Esta ecuación es válida únicamente para partículas con velocidad límite  $v_{lim}$ , por lo que para simular el efecto de una erupción pliniana tiene que ser aplicada a las distintas partículas que constituyen la columna, obteniéndose el depósito final como la suma de las contribuciones de los distintos tipos de partículas consideradas.

Aún con las mayores simplificaciones admisibles, estos modelos necesitan múltiples parámetros de entrada. Así, es preciso introducir el volumen o masa total emitida, la distribución de tamaños de partícula y sus correspondientes densidades y parámetros de frenado, altura máxima alcanzada por la columna y parámetros que definan la distribución de masa dentro de la misma, ritmo de emisión y duración de la erupción e incluso la topografía de la zona, si ésta presenta grandes desniveles. Además de estos parámetros "volcanológicos" es preciso contar con datos de dirección e intensidad de viento a diversas alturas, valores de difusividad y un modelo de atmósfera que determine la variación con la altura de la densidad y viscosidad del aire.



**Figura 3-13** Salida del modelo de advección difusión para los siguientes parámetros: volumen total emitido  $0.1\text{km}^3$ , altura de la columna  $6\text{km}$ , parámetro de forma 6, tamaño de partículas  $\phi = -1$ , densidad  $0.8\text{g/cm}^3$ , viento constante  $5\text{m/s}$  con dirección W,  $K_x=K_y= 400\text{m/s}^2$

**Evidentemente, la mayoría de estos parámetros debe ser definida basándose en el estudio de la historia eruptiva del volcán, aunque muchos de ellos (como por ejemplo la forma de la columna) son muy difíciles de determinar en erupciones que no sean muy recientes y muy bien estudiadas. En lo referente a los parámetros meteorológicos, para elaborar un mapa de peligrosidad sería necesario disponer de los datos de vientos medios medidos en un observatorio meteorológico cercano, aunque para el seguimiento de una crisis que pueda desembocar en una erupción pliniana sería preciso contar con los datos de viento medidos en tiempo real o bien los proporcionados por un modelo predictivo a plazo medio.**

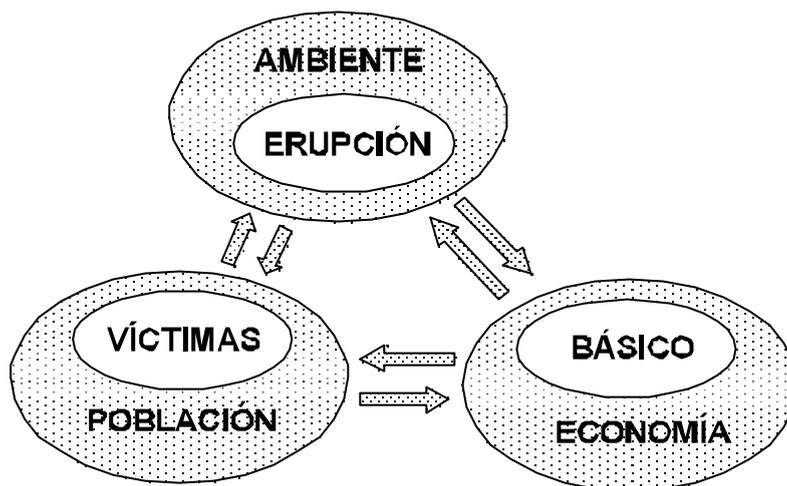


**Figura 3-14** Ejemplo de aplicación del modelo de advección difusión a un proceso eruptivo complejo: la erupción de Montaña Blanca (Tenerife). En la simulación numérica se consideran cuatro centros de emisión secundarios (triángulos) y uno principal (estrella) con altura de columna de 8km. El volumen total emitido es de  $0.05\text{km}^3$ , las partículas consideradas son únicamente pómez con una distribución de tamaños deducida de datos de campo. El viento de intensidad 5m/s y dirección W hasta 1.5km sobre el centro de emisión y SW para alturas superiores.

**Ejemplos de la aplicación de un modelo de este tipo a la reconstrucción de erupciones históricas como la de Mount St. Helens y la del Vesuvio en 79 son respectivamente los trabajos de Armienti et al. (1988) y Macedonio et al. (1988) mientras que un ejemplo de aplicación a la generación de mapas de peligrosidad es el de Macedonio et al. (1990). Las figuras 3-13 y 3-14 muestran ejemplos de salida de un modelo de este tipo aplicado a la reconstrucción de la erupción subplinaea de Montaña Blanca (Tenerife) ocurrida hace 2000 años.**

### 3.4. MODELO DE DESARROLLO Y MAPA DE RIESGO

La realización del mapa de riesgo para ordenación del territorio a largo plazo requiere estudiar el impacto que provoca la erupción en el medio social, económico y ambiental y ensayar diversas planificaciones que permitan reducir el impacto o facilitar la recuperación. Con este fin, se procede a acoplar los modelos de peligros volcánicos con los utilizados para el seguimiento a largo plazo de los movimientos socioeconómicos.



**Figura 3-15** Los efectos de una erupción se manifiestan como una alteración en el medio ambiente, provoca un número mas o menos grande de víctimas y unas importantes pérdidas económicas. Para la modelización del impacto se considera un modelo lineal entre todos estos elementos (Cole 1996).

Un modelo sencillo (Fig. 3-15) considera la dependencia lineal entre todos los elementos:  $E$ (economía),  $P$ (población),  $B$ (medio ambiente) y la ocurrencia de la erupción  $D$ :

$$E(t+1) = E(t) + \alpha_{1,2}P(t) + \alpha_{1,3}B(t) + \alpha_{1,4}D(t)$$

$$P(t+1) = \alpha_{2,1}E(t) + P(t) + \alpha_{2,3}B(t) + \alpha_{2,4}D(t)$$

$$B(t+1) = \alpha_{3,1}E(t) + \alpha_{3,2}P(t) + B(t) + \alpha_{3,4}D(t)$$

La *calidad de vida*  $Q$  se puede obtener como cociente entre la economía y la población:

$$Q(t) = \frac{E(t)}{P(t)}$$

Sin embargo, para aplicar este modelo a un caso real se deben considerar las relaciones existente entre todos los estamentos la sociedad. En la tabla siguiente recoge los elementos

**básicos para modelizar una isla dedicada al turismo:**

<b>VARIABLES MONETARIAS</b>		<b>VARIABLES AMBIENTALES</b>	
<b>BÁSICO</b>	Aeropuerto Terminal de carga Puerto Refinería Central eléctrica Telecomunicaciones Sistema de Agua Sistema sanitario	<b>SUELO</b>	Residencial Comercial Red viaria Espacios públicos Playas Paisajes: fauna y flora Espacios naturales protegidos
<b>TURISMO</b>	Transporte Hoteles Lujo Hoteles Tiendas turismo Bares/Restaurantes Agencias turismo Casino Coches alquiler/Taxis Cruceros	<b>RESIDUOS</b>	Residuos tóxicos sólido líquido gaseoso Residuos no tóxicos sólido líquido gaseoso Vandalismo Suciedad
<b>TRABAJO</b>	Agricultura Industria Construcción Comercio Servicios	<b>EMPLEO</b>	Ocupación Lugar de residencia Lugar de trabajo
<b>FACTORES</b>	Educación superior Educación media Educación básica Depreciación Plusvalía		
<b>VIVIENDA</b>	Tradicional Urbana Marginal		
<b>INSTITUCIONES CAPITAL</b>	Gobierno local Gobierno estatal Inmobiliario Empresarial		
<b>EXTERIOR</b>	Operadores Turismo Importación Exportación Inversioes extranjeras		

basado en Cole, 1996

Los coeficientes que relacionan las distintas variables entre sí se establecen basándose en el estudio socioeconómico de la región, estimando su variación con la erupción a partir del análisis de vulnerabilidades y exposiciones a los distintos peligros.

Difícilmente se puede caracterizar la actividad de una sociedad con menos de 50 factores, lo que supone considerar matrices de 50x50 elementos (2.500). Pero para obtener un modelo realista deberemos considerar las relaciones existentes entre los distintos municipios, pues no todos ellos evolucionan de la misma manera ni van a sufrir el impacto del mismo modo. Si consideramos sólo una comunidad con 10 municipios la matriz será de  $(50 \times 10)^2$  es decir 250.000 elementos que ya es una matriz difícilmente manejable, incluso con grandes computadores. Si queremos aplicar el modelo a nivel de estado nos encontraremos con matrices del orden de  $10^8$  elementos, tamaño que supera todos los medios disponibles. La única solución es utilizar algoritmos *orientados a objetos* que permiten trabajar simultáneamente con diferentes escalas. Esta información deberá introducirse en el Sistema de Información Geográfica (GIS) para poder evaluar adecuadamente el impacto de la erupción. Esto exige que sea el sistema escogido permita trabajar con dichos algoritmos. Es importante que al introducir cada dato se calculen automáticamente las propiedades de los objetos a las distintas escalas, pues es imposible recalcular toda la base de datos en el momento en el que se inicia la crisis volcánica y se debe empezar a establecer los mapas de riesgo volcánico. Estos modelos, desarrollados inicialmente para el estudio del desarrollo sostenible, se utilizan actualmente para el análisis de los efectos de los grandes desastres y la planificación de la recuperación (Cole, 1993).

## 4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO. SIMULACIONES

M. M. Astiz; A. García y R. Ortiz (2)

La aproximación estadística es a veces la única herramienta que tenemos para describir un fenómeno, a ella acudimos cuando sólo disponemos de datos experimentales y no de un modelo determinista, por ello algunos la definen como *la formalización de la ignorancia*. La estadística nunca nos va a poder contestar las preguntas básicas de la gestión de desastres: el *donde, cuando y como*. Sin embargo, dado el escaso conocimiento que tenemos del comportamiento de la mayoría de los volcanes, muchas veces sólo "jugamos con ellos a los dados" y la única manera que tenemos de estimar lo que vamos a perder en la partida es haciendo estadística (Araña y Ortiz, 1993). No olvidemos tampoco que en la sociedad actual la estructura económica se basa en invertir, ganar o perder y todo ello en un tiempo lo más breve posible. Por ello, el saber lo que nos va a costar el volcán en los próximos años tiene cada vez más interés y a ello se dedican intensivamente las grandes compañías de seguros. En este capítulo tratamos algunos aspectos de esta aproximación al análisis del riesgo volcánico. Una introducción amplia sobre estadística puede encontrarse en Rios, 1977.

Durante siglos se estudiaron científicamente fenómenos que daban origen a situaciones deterministas o causales en que las condiciones o causas determinan perfectamente los resultados o efectos. Para el estudio científico de los fenómenos deterministas se hace preciso el registro y constatación de ciertas permanencias. En el caso de fenómenos aleatorios estas permanencias o regularidades aparecen al considerar un gran número de pruebas. La noción de probabilidad como valor límite ideal de estas regularidades es la base del modelo apropiado para el estudio de éstos fenómenos. Por tanto, el cálculo de probabilidades, puede definirse como el modelo matemático de las regularidades que se observan en las series de frecuencias correspondientes a fenómenos aleatorios. Uno de los objetivos del cálculo de probabilidades es determinar distribuciones que puedan servir de modelos a los variadísimos fenómenos aleatorios que se presentan en las ciencias experimentales. El estudio de un volcán puede considerarse un fenómeno de este tipo si se trata de predecir cuando va a entrar en erupción o se trata de evaluar la zona en la que se va a producir un determinado daño. Dicho estudio se puede iniciar suponiendo que el comportamiento estadístico de un volcán sigue una distribución binomial. Sea un experimento aleatorio  $S$  y consideremos en relación con él un suceso  $A$  (éxito) y el contrario  $nA$  (fracaso). Supongamos que

$$P(A) = p, \quad P(nA) = q = 1 - p$$

Si se hace un cierto número  $n$  de pruebas sucesivas, independientes y en las mismas condiciones, se define un espacio de probabilidad en el que se puede definir la variable aleatoria binomial:

$$\xi = \text{Número de éxitos en el suceso considerado}$$

Un suceso con  $r$  éxitos y  $n - r$  fracasos tiene como probabilidad:

$$p^r q^{n-r}$$

Ahora bien, las ordenaciones posibles de las  $n$  posibilidades son las permutaciones  $n$ -arias con repetición de ambas, luego la probabilidad buscada será:

$$P(\xi=r) = \frac{n!}{r!(n-r)!} p^r q^{n-r}$$

Esta es la llamada distribución binomial o de las pruebas repetidas, cuyo nombre proviene de que estas probabilidades son los términos del desarrollo binómico:

$$(p+q)^n = \sum_{r=0}^n \binom{n}{r} p^r q^{n-r}$$

La función de distribución será:

$$F(x) = \sum_{r=x}^n \binom{n}{r} p^r q^{n-r}$$

Sin embargo, es frecuente que se presenten en la práctica situaciones en que se aplica la distribución binomial con  $p$  muy pequeño y  $n$  (número de pruebas o extensión de la muestra) grande. Entonces la probabilidad se obtiene con el paso al límite cuando  $n$  tiende a infinito, de la distribución binomial. Así, se obtiene la distribución de Poisson, que también es susceptible de representar con buena aproximación el fenómeno real considerado. Llamando  $\lambda = np$ , tenemos entonces que la probabilidad es

$$P(\xi=r) = \frac{\lambda^r}{r!} e^{-\lambda}$$

Esta distribución se aplica frecuentemente cuando se trata de un fenómeno de probabilidad muy pequeña en cada observación y tratamos de obtener probabilidades  $P_k$  de que ocurra un suceso un número  $k$  de veces en un conjunto de un número grande de observaciones. Si consideramos una sucesión en el tiempo de sucesos aleatorios que tienen lugar en instantes iguales de tiempo, tenemos que considerar la ley de probabilidad de una variable aleatoria que da el número de sucesos al variar  $t$ . La probabilidad  $P_k(t)$  de  $k$  sucesos en el intervalo de tiempo  $t$  viene dada por

$$P_k(t) = e^{-\lambda t} \frac{\lambda^k t^k}{k!}$$

Esta es la llamada ley de Poisson de parámetro  $t$ .

Supongamos que un experimento físico se repite un número  $N$  de veces y que cada vez contamos el número de sucesos en un intervalo de longitud  $t$ . Sea  $N_k$  el número de veces en que se han observado  $k$  sucesos

$$N = N_0 + N_1 + \dots + N_k + \dots$$

El número total de sucesos en los  $N$  experimentos es

$$N_1 + 2N_2 + 3N_3 + \dots = T$$

y  $T/N$  es el promedio. Si  $N$  es grande

$$N_k \sim NP_k$$

y por tanto

$$T \sim N\lambda t$$

de donde

$$\lambda \sim \frac{T}{Nt}$$

Esto permite obtener, aproximadamente,  $\lambda$  de las observaciones, es decir, estimar y calcular luego las probabilidades con este  $\lambda$  y comparar con los posteriores experimentos.

#### 4.1. HISTORIA ERUPTIVA

El saber cuando será la próxima erupción es la primera pregunta que se nos hace cuando se nos pregunta por un volcán. Sin embargo, aunque a corto plazo las técnicas de seguimiento nos permitan conocer si el volcán está en un periodo tranquilo o no, a largo plazo sólo podemos utilizar una aproximación estadística, basada en el conocimiento de sus erupciones históricas, y en muchos casos sólo a partir de los datos aportados por las técnicas geocronológicas<sup>1</sup>. Sin embargo, el error que presentan los datos geocronológicos hace que estos sean difícilmente compatibles con las dataciones históricas de las erupciones. Pero son muy pocos los volcanes en los que podamos disponer de un catálogo de erupciones históricas

---

<sup>1</sup> Un análisis más completo del comportamiento estadístico de los volcanes se puede encontrar en Riesgo Volcánico de Araña y Ortiz recogido en el libro Nuevas Tendencias en Volcanología editado por el CSIC en 1993. También en Elementos de Volcanología, editado por la Casa de los Volcanes del Cabildo de Lanzarote (Diez Gil 1992) se recogen varios artículos que tratan el tema.

que superen los pocos miles de años. En general, nos encontraremos con sólo unos pocos centenares de años de historia.

La mayoría de los volcanes entran en erupción de forma irregular. El intervalo de tiempo transcurrido entre dos erupciones se conoce como tiempo de reposo y análogamente el tiempo de erupción corresponde a la duración de la misma. Cuando se trabaja con volcanes que presentan erupciones frecuentes, seguramente dispondremos de más de una docena de ellas perfectamente datadas. En tal caso, podemos aplicar el siguiente método para tratar de reconstruir la historia eruptiva del volcán: se construye una tabla con las fechas de las erupciones y se calcula el tiempo de reposo (ejemplo tomado de Kovach, 1995, datos en De la Cruz-Reyna y Sanchez, 1994):

<b>HISTORIA ERUPTIVA DEL POPOCATÉPETL</b>	
<b>Año erupción</b>	<b>Tiempo de reposo</b>
1519	-
1530	11
1539	9
1542	3
1548	6
1571	23
1592	21
1642	50
1664-67	22-25
1697	30-33
1720	23
1802-04	82-84
1920	118-116
1995	75

Seguidamente podemos construir una segunda tabla, calculando el número de veces que el volcán ha permanecido más de un determinado tiempo sin entrar en erupción. Esta distribución en muchos volcanes responde a una forma del tipo (distribución de Poisson):

$$\log(N) = \alpha - \beta t$$

Esta expresión es equivalente a la ley de Gutenberg-Richter que nos da la distribución de las magnitudes de los sismos que se producen en una determinada región. Debemos recordar que este tipo de distribuciones parte de la hipótesis de que el fenómeno no tiene memoria, es decir es independiente del tiempo. La ocurrencia de una erupción es independiente de cuando ocurrió la anterior y está idénticamente distribuida.

HISTORIA ERUPTIVA DEL POPOCATÉPETL	
N	$\Delta T$
13	3
12	6
10	9
9	11
8	21
7	22
6	23
5	30
4	50
3	75
2	82
1	118

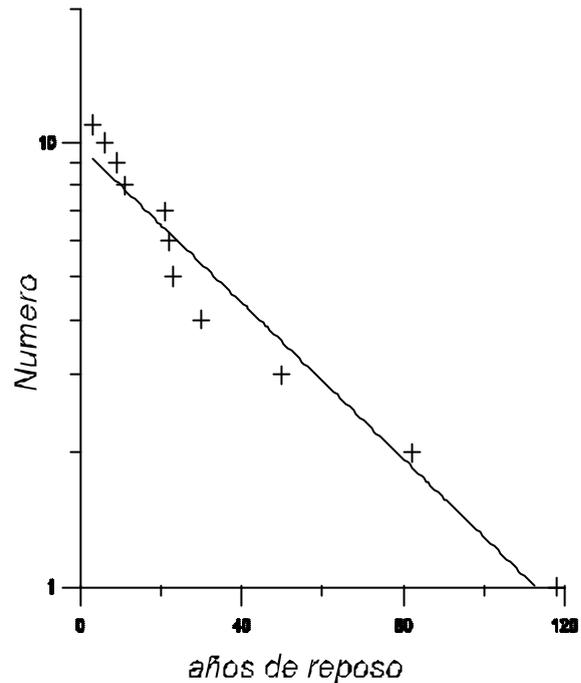


Figura 4-1 Número de veces que el periodo de reposo ha superado un tiempo dado

En el ejemplo que estamos considerando obtenemos un valor para  $\beta$  de  $0.0202 \text{ años}^{-1}$ . Si un volcán responde bien a una distribución de este tipo, podemos utilizar la expresión de la distribución de Poisson para obtener la probabilidad de que ocurran  $n$  erupciones en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ :

$$P(n) = \frac{(\beta \Delta t)^n}{n!} \exp(-\beta \Delta t)$$

con el valor de  $\beta$  podemos calcular cuales son las probabilidades de que en veinte años no ocurra erupción  $P(0)$ , una  $P(1)$  o dos erupciones  $P(2)$ :

$$P(0) = 0.66 \quad P(1) = 0.27 \quad P(2) = 0.05$$

Valores pequeños para  $\beta$  corresponden a probabilidades muy altas de que no ocurra ninguna erupción en un inmediato futuro. La probabilidad de que no ocurra una erupción en el intervalo de tiempo  $\Delta t$  viene dada por:

$$\exp(-\beta \Delta t)$$

y la probabilidad de que ocurra es:

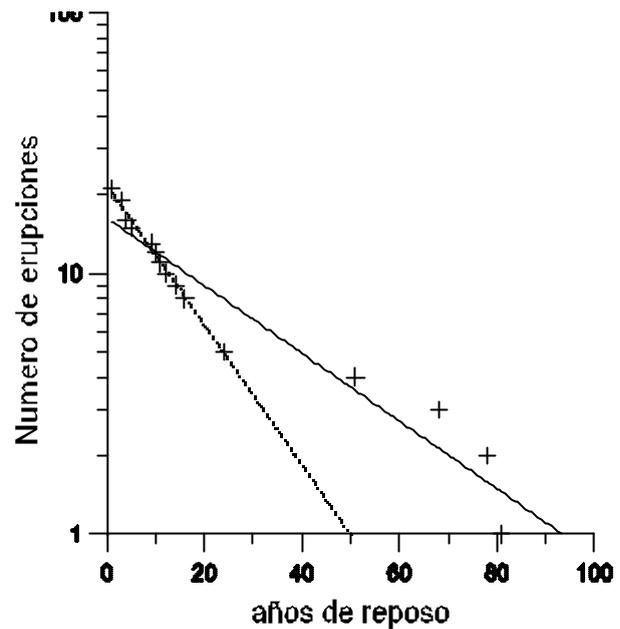
$$1 - \exp(-\beta \Delta t)$$

Lamentablemente, la mayor parte de los volcanes y especialmente los más peligrosos entran en erupción muy pocas veces, por lo que no es posible conocer exactamente los años en que ocurrieron un número suficiente de erupciones para que el valor  $\beta$  obtenido sea significativo. Además, los volcanes son sistemas deterministas, que presentan sus ciclos eruptivos, condicionados por los procesos de alimentación y de evolución magmática. Como ejemplo vamos a repetir el mismo análisis pero ahora con el Colima, volcán caracterizado por emplazarse en su cráter y cuya evolución origina diversas fases explosivas (datos en De la Cruz-Reyna y Sanchez 1994)

HISTORIA ERUPTIVA DEL COLIMA	
Año erupción	Tiempo de reposo
1560	-
1576	16
1585	9
1590	5
1606	16
1622	16
1690	68
1771	81
1795	24
1806	11
1818	12
1869	51
1872	3
1886	14
1889	3

1890	1
1893	3
1903	10
1908	5
1909	1
1913	4
1991	78

HISTORIA ERUPTIVA DEL COLIMA	
N	$\Delta t$
1	21
3	19
4	16
5	15
9	13
10	12
11	11
12	10
14	9
16	8
24	5
51	4
68	3
78	2
81	1



**Figura 4-2** El análisis gráfico de la distribución de los intervalos de reposo del volcán Colima muestra dos ajustes distintos según se consideren todos los datos o sólo los intervalos de reposo menores de 20 años. Este comportamiento es muy frecuente en muchos volcanes, dificultando, cuando no imposibilitando, el tratamiento estadístico de la actividad volcánica.

Considerando como válidos dos ajustes, uno que incluya todos los intervalos de reposo disponibles (de 1 a 81 años) y otro sólo los menores de 20 años, obtenemos valores de  $\beta$  de 0.0298 y 0.0628. Las probabilidades de tener una erupción en 20 años varían entre 0.45 y 0.71 según sea el valor de  $\beta$  elegido.

El período de retorno, que se define como el período medio entre eventos idénticos, se determina fácilmente a partir del número de erupciones de un mismo tipo y el tiempo transcurrido:

$$Pr = \frac{m}{n}$$

donde  $m$  es el número de muestras y  $n$  el número de observaciones, en nuestro caso  $m$  el número de erupciones de un determinado tipo y  $n$  los años transcurridos. Pero en general  $m$  y  $n$  no son lo bastante grandes para que la muestra pueda considerarse estadísticamente representativa. Para el ejemplo del Popocatépetl obtendríamos:

$Pr = 30$  años

Si admitimos que el sistema responde a una distribución de Poisson, podemos conocer entre que límites puede estar comprendido el periodo de retorno para un intervalo de confianza  $\lambda$  dado mediante la expresión (Tiedemann, 1992):

$$\frac{1}{n+\lambda} \left( m + \frac{\lambda}{2} - \left( m \left( 1 - \frac{m}{n} \right) + \frac{\lambda^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \leq \frac{1}{P} \leq \frac{1}{n+\lambda} \left( m + \frac{\lambda}{2} + \left( m \left( 1 - \frac{m}{n} \right) + \frac{\lambda^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

donde  $\lambda$  es la integral de Gauss para el valor de confianza deseado y que usualmente se toma de una tabla (Abranowitz y Stegun, 1965):

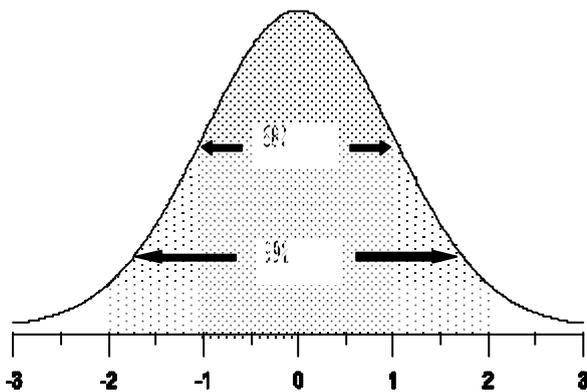


Figura 4-3 Integral de Gauss

TABLA III	
Margen de confianza	$\lambda$
80%	1.282
90%	1.645
95%	1.960
97.5%	2.2415
99%	2.5757
99.5%	2.8075
99.9%	3.29054
99.95%	3.48077
99.99%	3.89059

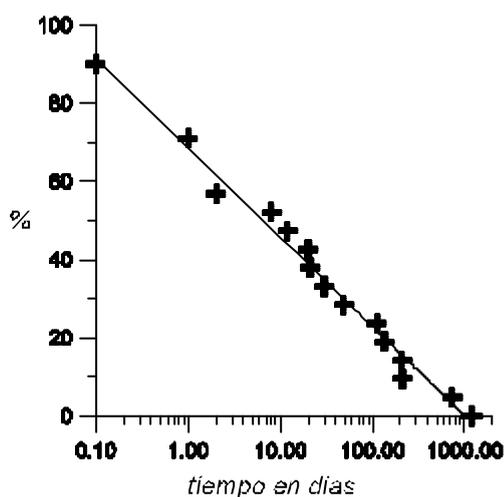
El cálculo directo del período de retorno en el ejemplo nos da 30 años, ahora bien si calculamos  $P$  para  $m = 14$ ,  $n = 1950 - 1519$  y una confianza del 95% para la cual  $\lambda = 1.960$ , obtenemos que  $1/P$  varía entre 0.023 y 0.039, que corresponde a períodos comprendidos entre 25 y 43 años, si tomamos el extremo más desfavorable reduce el periodo de retorno en 1.68 veces el obtenido directamente. Si queremos asegurar una confianza del 99% tendremos que  $\lambda = 2.5757$ , obteniendo una horquilla entre 42 y 25 años.

Supongamos un volcán explosivo del cual sólo sabemos que ha producido una violenta erupción hace 2000 años, para una confianza del 99% obtenemos un período de retorno mínimo de 235 años y de sólo 118 años si queremos asegurar el 99.9%. Los valores superiores corresponderían a períodos de retorno de 17000 y 34000 años respectivamente.

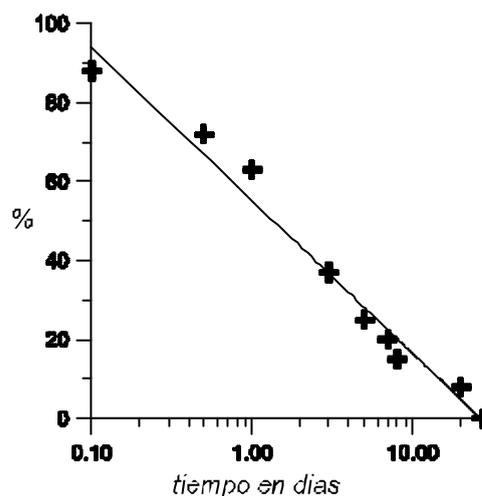
Para un volcán del que no se conoce ninguna erupción en 10000 años obtendríamos valores de 1500 años para un 99% y de sólo 660 años para 99.99%. El valor mayor que no está definido (infinito) corresponde al caso de que el volcán no vuelva a entrar en erupción.

El mismo procedimiento se puede utilizar para estimar las probabilidades de que se desencadenen en el volcán determinados fenómenos. Como ejemplo se muestran las distribuciones correspondiente al tiempo transcurrido desde el momento en que se inicia la erupción hasta que se produce el primer flujo piroclástico y el tiempo transcurrido desde que en un volcán en erupción se produce un incremento apreciable de la actividad observable hasta que se desencadena un flujo piroclástico. Estas distribuciones se han obtenido estudiando 43 erupciones con emisión de flujos piroclásticos (Tomblin y Michael, 1978). En ambos casos el mejor ajuste consigue con distribuciones de la forma:

$$\log(N) = -bt - a$$



**Figura 4-4** Distribución del número de erupciones cuyo tiempo transcurrido entre el inicio de la erupción y el desencadenamiento del primer flujo piroclástico ha superado cada intervalo temporal.

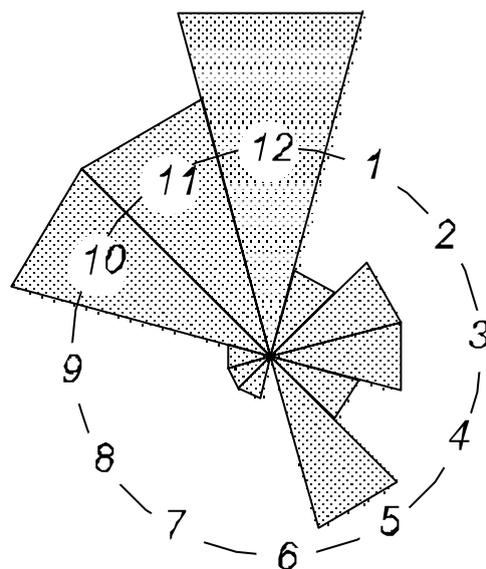


**Figura 4-5** Distribución correspondiente al número de erupciones cuyo tiempo transcurrido entre el incremento apreciable de la actividad y la emisión de un flujo piroclástico ha superado cada intervalo temporal.

Ambas distribuciones muestran como más del 70% de los flujos piroclásticos aparecen después de 24 horas de iniciarse la erupción y van precedidos en el 90% de los casos de un incremento notable de la actividad observable en el volcán superior a las 2 horas. También pueden construirse las distribuciones correspondientes a la distancia recorrida por el flujo

piroclástico en función del tiempo transcurrido desde el inicio de la erupción. Sin embargo, el conjunto de datos existente no permite generalizar estos análisis. Hay que tener en cuenta que estos datos corresponden en su mayoría a erupciones observadas históricamente en las Antillas. En cada volcán deberán estudiarse las correspondientes distribuciones, en función de los datos disponibles (generalmente escasos), tratando de completarlos con información de otros volcanes que exhiban un comportamiento similar, siendo siempre de utilidad muy relativa utilizar directamente distribuciones establecidas para otros volcanes.

El análisis estadístico también puede poner de manifiesto pautas de comportamiento estacional en determinados volcanes, cuya razón debemos buscarla en la influencia que determinados parámetros externos, como las mareas o la temporada de lluvias, ejerce sobre la actividad volcánica. La figura 4-6 muestra el reparto mensual de la actividad de volcán Villarrica basada en el estudio de 61 erupciones (Petit-Breuilh, 1994).



**Figura 4-6** Actividad mensual del volcán Villarrica. La actividad aumenta en los meses finales del año que corresponden a la llegada del verano austral (21% de erupciones en Diciembre, 16% en Octubre y Noviembre)

#### 4.1.1. Un ejemplo de evaluación del riesgo

Un simple ejercicio permite hacerse con una idea realista de lo que supone el riesgo volcánico: consideraremos una plantación situada a 10 km de un volcán del que se tienen noticias que ha producido una erupción explosiva hace 2000 años, que arrasó toda la zona. La cosecha se pierde si sobre ella se depositan más de 10 cm de cenizas de proyección aérea. En

el ejemplo no se consideran otros tipos de deposición, ni efectos térmicos o de contaminación ni la influencia que pueda presentar el grado de desarrollo de las plantas en el espesor de la capa de cenizas necesaria para su destrucción.

Deberemos en primer lugar estimar el período de retorno para un evento que produzca a 10 km de la fuente un depósito de más de 10 cm. La primera información de la que disponemos es que el volcán ha presentado actividad explosiva hace 2000 años, lo que permite estimar un período de retorno para una erupción similar comprendido entre 235 y 17.000 años. Ya que estamos en una evaluación del riesgo elegimos el valor extremo de 235 años. En realidad se debería determinar que tipo de erupciones podría provocar un depósito de 10 cm de ceniza en la plantación y evaluar para cada una de ellas el período de retorno. Una evaluación de la prima que deberíamos pagar para asegurar la cosecha se puede hacer de forma elemental de acuerdo con Tiedemann, 1992:

$$X_v = \frac{1000 L f u_v f_0 P}{V R_v}$$

donde  $X_v$  es la prima del seguro en ‰;  $L$  son las pérdidas esperadas para la erupción considerada en el cálculo del período de retorno y se expresa en ‰ del valor de la suma asegurada  $V$  (que se toma siempre 100 para dar  $X_v$  en ‰);  $f$  factor de corrección debido la destrucción provocada por fenómenos asociados (tsunamis, incendios, etc);  $u_v$  es un factor debido la incertidumbre en la evaluación de los periodos de retorno y la magnitud de la erupción, en él suelen incluirse otros factores como los vientos dominantes y se suele adoptar un valor comprendido entre 2 y 3;  $f_0$  es un factor que engloba las comisiones de la compañía de seguros (gastos generales);  $P$  es el período de exposición y  $R_v$  es el período de retorno en años.

En nuestro caso podemos suponer que una erupción como la ocurrida hace 2000 años nos provocaría unas pérdidas del 50% ( $L$ ), que podrían agravarse en un factor de 1.5 ( $f$ ) a causa de la falta de agua para el riego después de la erupción; para el factor de incertidumbre elegimos 2.7 ( $u_v$ ); el factor que representa los gastos y comisiones se valora en 2.2 ( $f_0$ ), el período de exposición es de 1 año ( $P$ ) y el período de retorno de 235 años.

$$X_v = \frac{1000 \cdot 50 \cdot 1.5 \cdot 2.7 \cdot 2.2 \cdot 1}{100 \cdot 235} = 18.9‰ / \infty$$

¡El riesgo supone casi el 2% del valor de la cosecha! Como podemos fácilmente observar, la correcta estimación del período de retorno es la clave en la evaluación final de la prima, pues todos los otros factores o son constantes o presentan muy pequeña variación.

#### 4.1.2. Sistemas complejos

En muchos caso no es posible conocer como va a responder el volcán en un futuro inmediato. Sin embargo, si es posible estimar los costos que nos produciría una erupción en las circunstancias actuales y además podremos conocer cual seria el resultado económico de establecer unas determinadas medidas encaminadas a la mitigación del riesgo. Para mostrar la metodología de análisis vamos a considerar un caso sencillo: supongamos un complejo hotelero en una isla en la que existe un volcán activo, debemos saber si es rentable invertir en mantenimiento y desarrollo o no. Consideraremos dos supuestos: en  $nE$  no se produce erupción y en  $E$  si. En caso de erupción se puede producir la pérdida total del complejo  $Dt$  o sólo parcial  $Dp$  (por ejemplo 1/5).

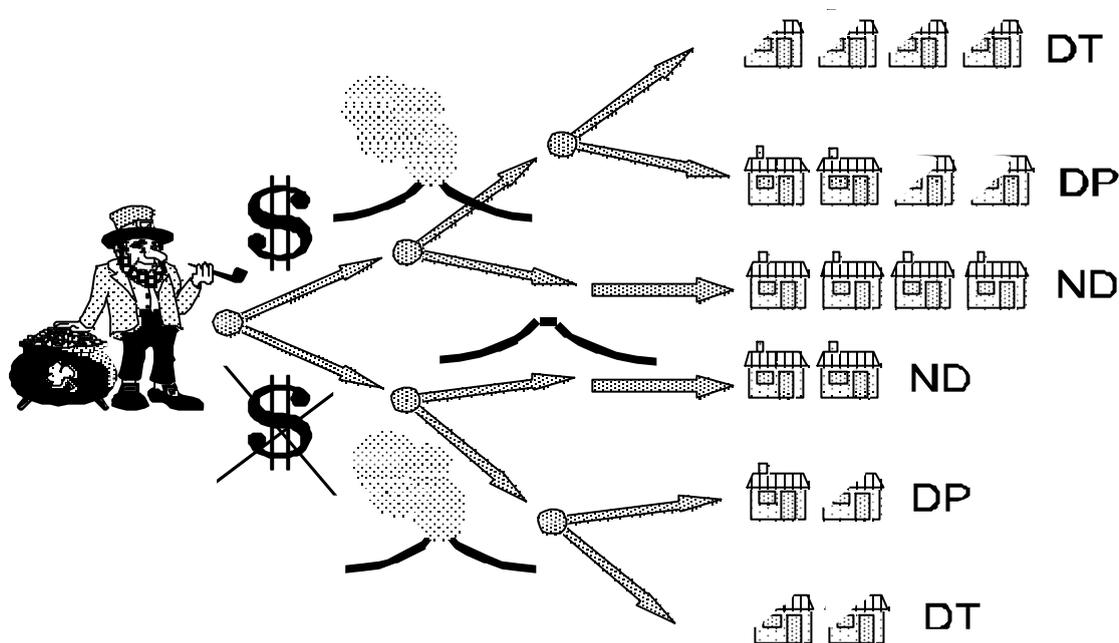


Figura 4-4 Modelo de análisis del riesgo volcánico

Sea  $V$  el valor del complejo (terreno e inversiones) e  $I$  el coste del mantenimiento y desarrollo. Debemos estimar el resultado económico en base a las probabilidades de que ocurra la erupción y de que su efecto sea la destrucción total o parcial del complejo. Para el caso de continuar las inversiones tenemos:

$$E(In) = P(nE) 0 + P(E) \left\{ P(Dt) [ - (V+I) ] + P(Dp) \left[ - \frac{1}{5} (V+I) \right] \right\}$$

Para el caso en el que se decide suspender todas las inversiones:

$$E(I_n) = P(nE) (-I) + P(E) \left\{ P(D_t) [-V] + P(D_p) \left[ -\frac{1}{5} V \right] \right\}$$

Para simplificar los cálculos admitamos que la probabilidad de la destrucción total es igual a la probabilidad de la destrucción parcial (0.5), que la inversión inicial es de 5000 y las inversiones previstas son 2500. La tabla siguiente recoge los resultados obtenidos para varias probabilidades de erupción:

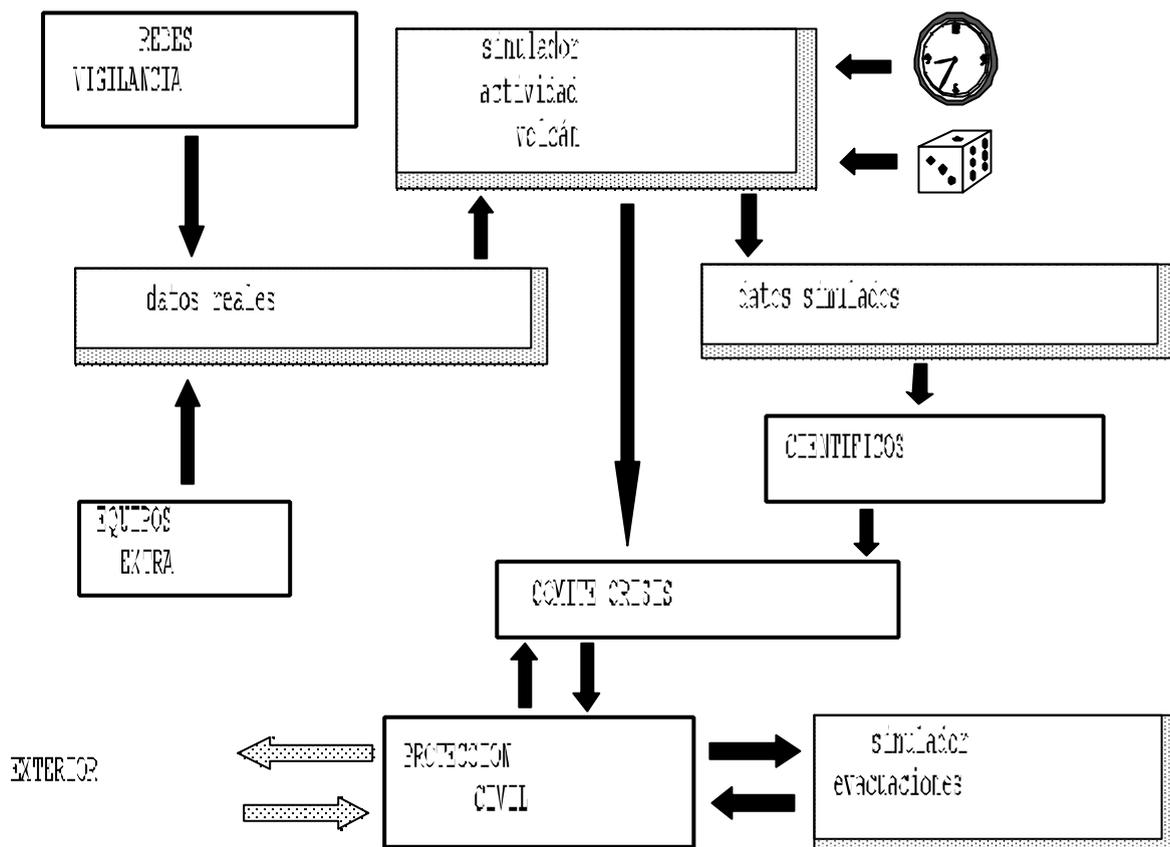
EVALUACIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO			
erupción	no erupción	no inversión	inversión
0.9	0.1	-2950	-4050
0.8	0.2	-2900	-3600
0.7	0.3	-2850	-3150
0.6	0.4	-2850	-2700
0.5	0.5	-2750	-2250
0.1	0.9	-2550	-450

Sólo cuando exista una gran probabilidad de que el volcán va a entrar en erupción se deben limitar las inversiones. Obsérvese que en el ejemplo, incluso con una probabilidad de 0.5 ya es más rentable invertir que no hacerlo. Evidentemente en los supuestos reales el modelo probabilístico se complica considerablemente, pues son muchas las posibilidades de actuación que se nos pueden presentar, pero la metodología de análisis sigue siendo la misma (ver 3.3).

#### 4.2. SIMULACION DE UNA CRISIS VOLCÁNICA

La simulación de una crisis volcánica, por realista que esta se pretenda, exige necesariamente plantear una serie de temas que deberán desarrollarse sobre un computador. Es imposible realizar la evacuación de miles de personas o que los equipos científicos puedan trabajar con datos reales correspondientes al volcán que hoy está en el más absoluto reposo. Por ello, la técnica propuesta consiste en simular mediante computadores los fenómenos que ocurren en el volcán, planteando una serie de cuestiones a los responsables de la Protección Civil y a los científicos del comité de crisis volcánicas. Las medidas que estos toman son introducidas en el computador para poder simular el resultado de las mismas (Fig. 4-5). La construcción de estos simuladores requiere un importante trabajo de programación y codificación, junto con la participación de múltiples especialistas. Sin embargo, es la única aproximación válida para

el entrenamiento del personal que deba actuar en caso de crisis. Este tema se ha introducido en este capítulo debido a que cualquier simulador debe tener una componente aleatoria importante: desde la elección del momento de inicio de la crisis hasta la sucesión de eventos que se producen en el volcán. Igualmente muchas de las actuaciones requerirán la utilización de métodos aleatorios (Montecarlo) para resolverlos.



**Figura 4-5** Diagrama bloque de una simulación de crisis volcánica: Un computador realiza la simulación de la actividad del volcán en base a un reloj de tiempo real y una componente aleatoria. Los datos reales se mezclan con datos simulados y los científicos deben interpretarlos. Los resultados se comunican al comité y éste adopta las medidas oportunas, muchas de las cuales deben también simularse.

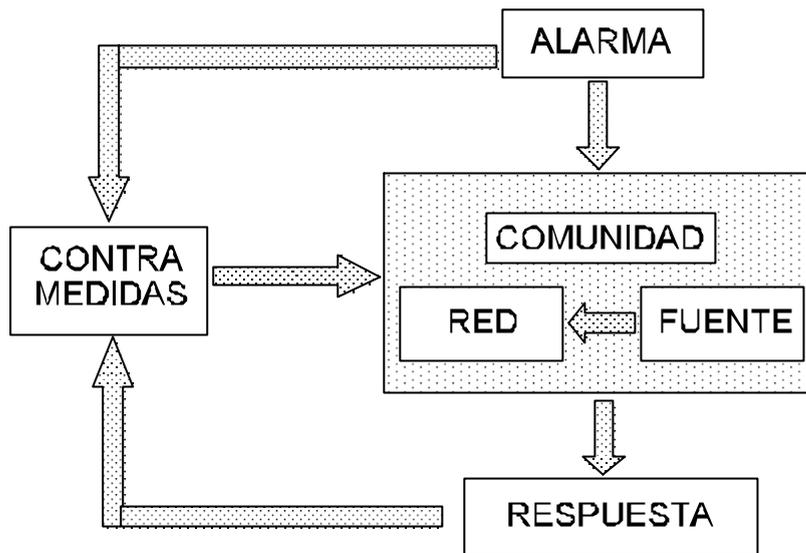
Es importante que en la simulación se trabaje con datos lo más parecidos posible a los datos reales. Para ello se suele proceder de la siguiente forma: se parte de los datos que en tiempo real se están produciendo en la zona como el ruido sísmico, las medidas de deformación obtenidas por los geodestas, el análisis real de gases, etc. A estos datos se les superpone (adecuadamente) los datos simulados (sismogramas sintéticos, análisis anómalos, deformaciones esperadas). De este modo se pone de manifiesto la capacidad del equipo científico

para tratar adecuadamente un elevado número de datos, la capacidad de las redes instrumentales fijas y temporales para discriminar la señal del ruido, el tiempo necesario para obtener una adecuada respuesta y la fiabilidad de la misma. Dada la componente aleatoria del simulador nadie, ni siquiera los especialistas que han desarrollado el sistema pueden saber cual es en cada momento la situación del sistema. Como ejemplo presentamos la simulación de una evacuación, probablemente la parte más conflictiva de cualquier ejercicio de Protección Civil.

#### 4.2.1. Simulación de evacuaciones

En el apartado de simuladores de una emergencia volcánica ocupan un lugar destacado los que hacen referencia al problema de la evacuación. En este capítulo presentamos un simulador muy sencillo, pero que permite representar de modo bastante realista muchos de los problemas que se presentan en la planificación de una evacuación. No hay que insistir en que el objetivo de estos simuladores es servir de entrenamiento para los responsables y técnicos que deben actuar en caso de una crisis y no para resolver los problemas reales que en la crisis se planteen, no tanto porque el modelo no pueda responder adecuadamente, sino porque los datos y parámetros que en él intervienen no están actualizados adecuadamente o simplemente son datos inventados.

El algoritmo que se presenta es de muy sencilla realización, lo que le permite operar correctamente en cualquier ordenador personal. Se trata de un programa realizado en lenguaje C++ producido en el Departamento de Volcanología del CSIC, basado en una idea original que se utilizó en Japón para la gestión de emergencias provocadas por terremotos en ciudades de tipo medio (250.000 habitantes). En Sung Kyun Kim (1981) podemos encontrar su aplicación para la optimización de la evacuación de la ciudad de Shimizu, situada en la costa oeste de la bahía de Suruga, donde se esperaba un importante terremoto que podría dar origen a un tsunami destructor. El modelo permitió establecer los puntos de concentración de la población para su evacuación, el emplazamiento de los puntos de auxilio y los refugios.



**Figura 4-6** Implantación del modelo de evacuación en el simulacro de una emergencia

El simulador (fig. 4.6) considera la comunidad formada por una red de comunicaciones y una serie de fuentes de personas, las cuales tras una alarma se incorporan más o menos pronto a la red viaria para ser evacuadas. El modelo permite simular este proceso y ensayar el efecto de distintas contramedidas. Los resultados de la simulación ponen en evidencia la aparición de puntos de colapso en el proceso de la evacuación y los tiempos necesarios para llevarla a cabo. En caso de evacuaciones a gran escala permite escalonar las alarmas de forma que se obtengan tiempos menores y analizar las posibles vías alternativas.

El modelo de la evacuación se ha realizado adoptando una estructura de autómatas celulares (Freeman y Skapura, 1993). Para simplificar la programación se ha utilizado un algoritmo que considera todas las células idénticas, de modo semejante al utilizado para la modelización de coladas lávicas (Crisci et al., 1993). Cada celda está definida por un conjunto mínimo de parámetros, que representan la capacidad de transporte de la celda y el número de personas residentes en la misma (Fig 4-7). Este modo de proceder permite automatizar la generación de la red de celdas partiendo simplemente de las bases de datos que recogen la distribución de la población y la red de comunicaciones.

La capacidad de transporte de la célula está definida por tres parámetros: sección, longitud y dificultad. La población está representada por dos parámetros: el número de habitantes de la zona y el tiempo medio que tardan en estar listos para iniciar la evacuación. Además, cada celda recibe evacuados de las celdas anteriores y de ella parten hacia las celdas siguientes. A partir de estos parámetros y en función del número de evacuados que hay en cada momento en la celda se calcula la velocidad que se puede desarrollar en esas circunstancias de la evacuación y la densidad de personas, de forma que si se alcanza la densidad límite o aglomeración ya no se pueden acoger más evacuados hasta que la densidad disminuya. Una vía de comunicación viene representada por un conjunto de celdas idénticas, con población residente cero.

**En cada celda se imponen las siguientes hipótesis:**

El número de personas que cabe en una celda es limitado.

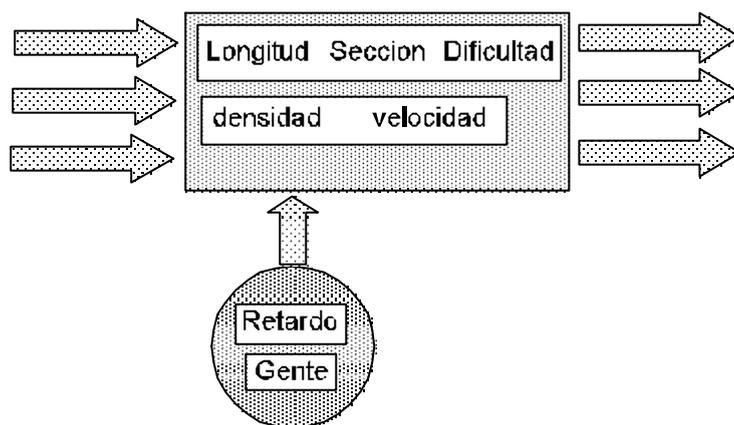
Una celda acepta todos los evacuados que lleguen a la misma, siempre que el número total sea inferior a la capacidad de la celda.

El número de personas que salen de una celda sólo está controlado por la capacidad de las celdas vecinas

La velocidad de tránsito depende sólo de la densidad de personas en la celda

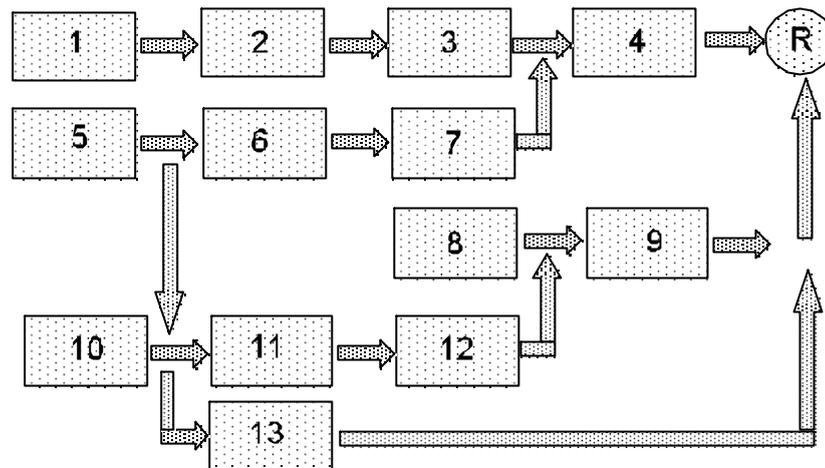
El tiempo de permanencia en la celda depende de la dimensión de la celda y de la velocidad de tránsito.

La dirección de circulación está predeterminada. Cada celda tiene definidas dos entradas y dos salidas.



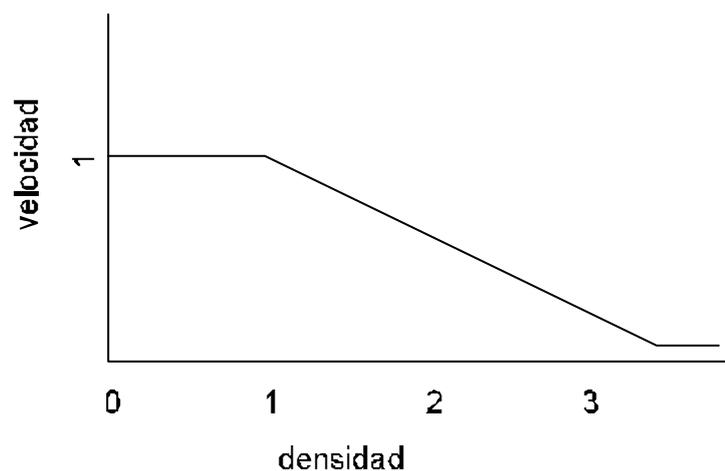
**Figura 4-7** Estructura de la celda en el modelo de evacuación

El modelo se construye disponiendo que las celdas sigan exclusivamente la red de comunicaciones, adoptando el criterio de que todas ellas representen una longitud tal que sea inversamente proporcional a la dificultad del tramo. Dado que cada celda sólo tiene dos entradas y dos salidas, los puntos donde confluyen más de dos caminos deben representarse incluyendo celdas extras o desplazando el punto de unión a la celda anterior o a la celda siguiente (fig 4-8). Seguidamente, se asocia a cada celda el número de habitantes correspondiente a su zona de influencia. Aunque para obtener resultados realistas es necesario construir mallas con un número muy elevado de celdas, con modelos sencillos se obtiene ya una buena indicación de los puntos débiles de la red de evacuación. Los núcleos de acogida se representan mediante celdas de gran capacidad sin salida.



**Figura 4-8** Ejemplo de red compleja en el sistema de evacuación.

El elevado número de celdas requerido por este simulador hace que sea muy importante simplificar al máximo las funciones matemáticas que intervengan en el cálculo para evitar que el tiempo de cálculo sea excesivo. La velocidad de evacuación se calcula de la misma forma para todas las celdas, la velocidad máxima está definida por el factor de dificultad del tramo. Para simplificar el cálculo se ha optado por mantener la velocidad constante mientras la densidad de evacuados sea inferior a un determinado valor y disminuir linealmente la velocidad a medida que aumente la densidad, hasta alcanzar la densidad máxima donde la velocidad vuelve a tomar un valor constante aunque muy pequeño (fig. 4-9).



**Figura 4-9** Función de velocidad de desplazamiento en función de la densidad de la celda en el simulador de evacuación

La expresión analítica de la velocidad de evacuación es:

$$\begin{aligned}
 V &= V_1 & \rho < \rho_1 \\
 V &= V_1 - \alpha (\rho - \rho_1) & \rho > \rho_1 \\
 V &= V_1 - \alpha (\rho_2 - \rho_1) & \rho > \rho_2
 \end{aligned}$$

Donde  $V$  es la velocidad y  $\rho$  la densidad.  $V_1$  y  $\alpha$  son los dos parámetros que definen el modelo. Para una evacuación a pie se utiliza la fórmula práctica:

$$\begin{aligned}
 V &= 1.0 & \rho < 1 \\
 V &= 1.4 - 0.4 \rho & \rho > 1 \\
 V &= 0.1 & \rho > 3.2
 \end{aligned}$$

donde la densidad es en personas/m<sup>2</sup> y la velocidad en m/s. Estos valores pueden resultar un poco elevados para poblaciones no habituadas a moverse colectivamente, por lo que deberán ajustarse con experiencias en la zona.

De acuerdo con la expresión de la velocidad es fácil calcular el flujo que puede obtenerse con cada densidad. En la figura 4-10 se muestra la curva obtenida a partir de valores anteriores. Para una densidad de 1.5 personas/m<sup>2</sup> se obtiene el flujo máximo, disminuyendo de forma rápida hasta la densidad límite de 3.2 personas/m<sup>2</sup>.

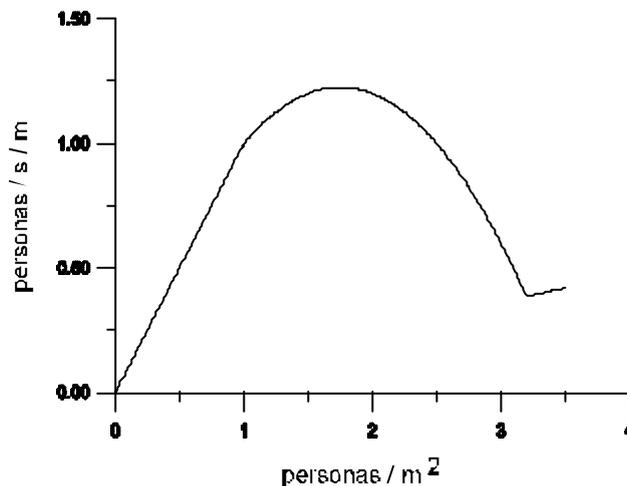


Figura 4-10 Flujo de personas en función de la densidad.

La función fuente, que expresa como se van incorporando personas a la evacuación se representa mediante una distribución normal, que es fácilmente calculable y refleja bastante bien el comportamiento real. El valor medio y la desviación estándar son dos parámetros que

se ajustan de forma independiente para cada una de las celdas. El número de personas que se incorporan a la evacuación en el tiempo  $t$  viene dado por:

$$P(t) = Q e^{-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)^2}$$

donde  $Q$  es el número total de habitantes de la zona,  $t_0$  el tiempo medio para incorporarse y  $\tau$  la desviación estándar. Valores válidos para poblaciones habituadas se sitúan entorno a una hora para  $t_0$  y 30 minutos para  $\tau$ . Estos valores dependen fuertemente de cuando se decreta la evacuación, habiéndose comprobado que son de muy pocos minutos cuando se trata de evacuar un lugar de trabajo. Por el contrario, se incrementan tremendamente cuando el personal decide volver a su casa. Igual se aprecian importantes diferencias si la evacuación se realiza en horario laboral, en fin de semana, de día, de noche, etc. En cada caso, hay que estimar los parámetros en función de cada experiencia particular. En la realización práctica se ha sustituido el cálculo de la exponencial por una tabla que se calcula al inicio. De esta forma se obtiene una reducción considerable del tiempo de cálculo.

Hay que tener presente que el modelo admite que el tiempo necesario para recorrer una celda es igual al elemento de tiempo utilizado en el discretizado. Ello obliga a que las dimensiones de las celdas sean del orden de la velocidad media en la celda por el elemento de tiempo (tantas más celdas cuanto más dificultoso sea el paso). Esto exige que en el análisis de casos reales sea necesario utilizar siempre un gran número de celdas, lo que significa disponer de un ordenador de elevadas prestaciones. En aplicaciones de tipo educativo se suelen utilizar modelos con un número reducido de celdas.

#### 4.2.2. Ejemplos de aplicación

El primer ejemplo es muy simple, pero permite familiarizarse con el manejo de los distintos parámetros. Se trata de evacuar una población a través de un único camino que atraviesa zonas de distinta dificultad (Fig 4-11).

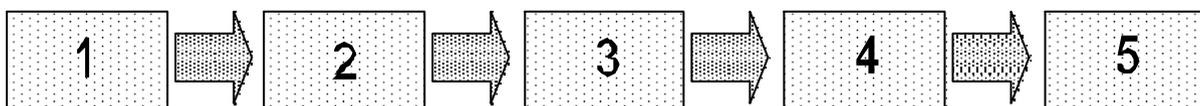


Figura 4-11 Ejemplo elemental de evacuación a través de una sola vía.

Este ejemplo se ha calculado dos veces, habiéndose variado sólo la sección de la celda 3 para poder evaluar la influencia que tiene el circular por una vía de mitad de sección. Los parámetros de las distintas celdas se recogen en la siguiente tabla:

N	Población	tiempo		camino		enlaces	
		medio	desviación	longitud	sección	principal	secundario
1	2000	200	60	1000	1000	2	0
2	0	0	0	1000	1	3	0
3	0	0	0	1000	1   .5	4	0
4	0	0	0	1000	1	5	0
5	0	0	0	1000	1000	0	0

Los resultados obtenidos (fig. 4-12) muestran en el primer modelo (A) que la evacuación se termina en 2500 pasos y que se produce una retención en la celda 2, pues el camino no puede acoger a todos los evacuados que van llegando procedentes de 1. En el segundo caso (B) continúa la retención en 2 pero la restricción del paso por 3, debida a la reducción de la sección, provoca un retraso en toda la operación que casi necesita doble tiempo para finalizar, apareciendo también una acumulación de evacuados en la celda 3.

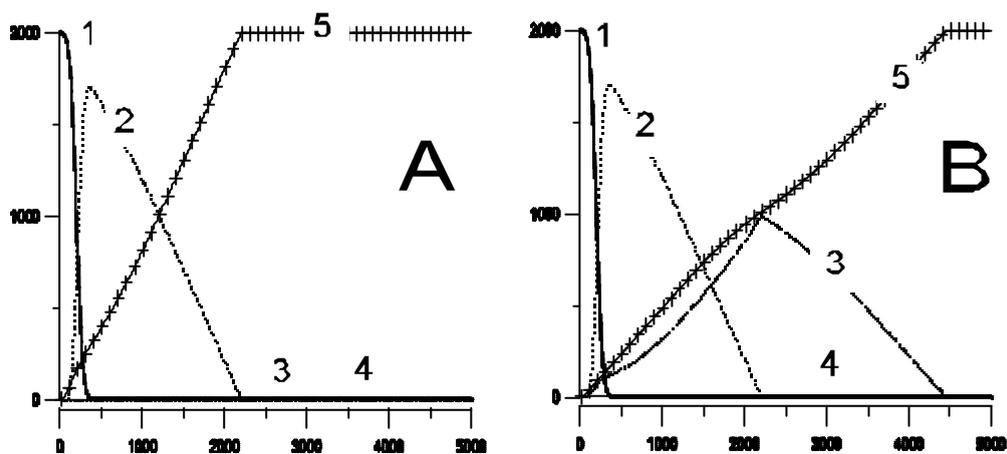
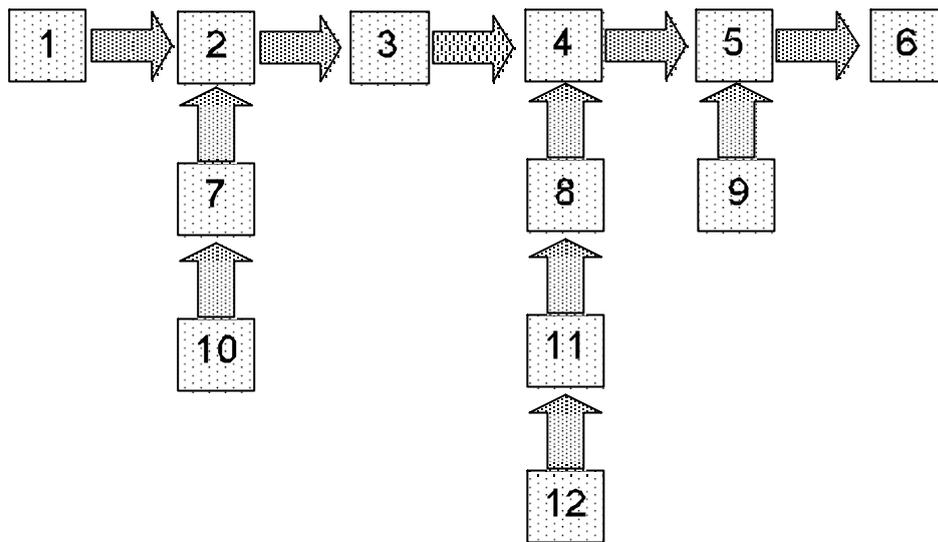


Figura 4-12 Evolución temporal de la población durante la evacuación.

El segundo ejemplo (fig. 4-13) considera una vía principal a la que confluyen varias vías secundarias. Los valores para los parámetros de las distintas celdas se presentan en la tabla:



**Figura 4-13** Modelo de evacuación de una serie de poblaciones unidas mediante vías secundarias a una vía principal

N	Población	tiempo		camino		enlaces	
		medio	desviación	longitud	sección	principal	secundario
1	2000	200	60	1000	1000	2	0
2	0	0	0	1000	1	3	0
3	0	0	0	1000	1	4	0
4	0	0	0	1000	1	5	0
5	0	0	0	1000	1	6	0
6	0	0	0	1000	1000	0	0
7	0	0	0	1000	1	2	0
8	0	0	0	1000	1	4	0
9	1000	200	60	1000	1000	5	0
10	1000	200	60	1000	1000	7	0
11	0	0	0	1000	1	8	0
12	1000	200	60	1000	1000	11	0

Los resultados presentan mayor complejidad que en el ejemplo anterior, en la figura 4-14 sólo

se ha representado la evolución temporal del número de evacuados para las celdas pertenecientes a la vía principal de evacuación. Se puede observar la aparición de varios picos correspondientes a la incorporación a la vía principal de los evacuados procedentes de las poblaciones situadas sobre las vías secundarias.

El estudio de casos reales con este tipo de simuladores exige la utilización de un elevado número de celdas, requiriéndose el soporte de un Sistema de Información Geográfica para la adecuada interpretación de la información aportada por el modelo. Para su aplicación práctica es necesario acoplar el modelo a un sistema de información geográfica de forma que los parámetros requeridos por el sistema neuronal puedan generarse directamente a partir de las bases de datos existentes. Para ello, es necesario realizar una serie de funciones auxiliares que permitan generar de un modo automático los ficheros que contienen los parámetros de definición de las respectivas celdas. La utilización de un Sistema de Información Geográfica de tipo abierto, permite incorporar el programa de simulación sobre el núcleo del sistema y obtener así directamente las salidas en forma de mapas de fácil interpretación. También deberá realizarse el módulo que convierta los ficheros de salida al formato requerido por el Sistema de Información Geográfica.

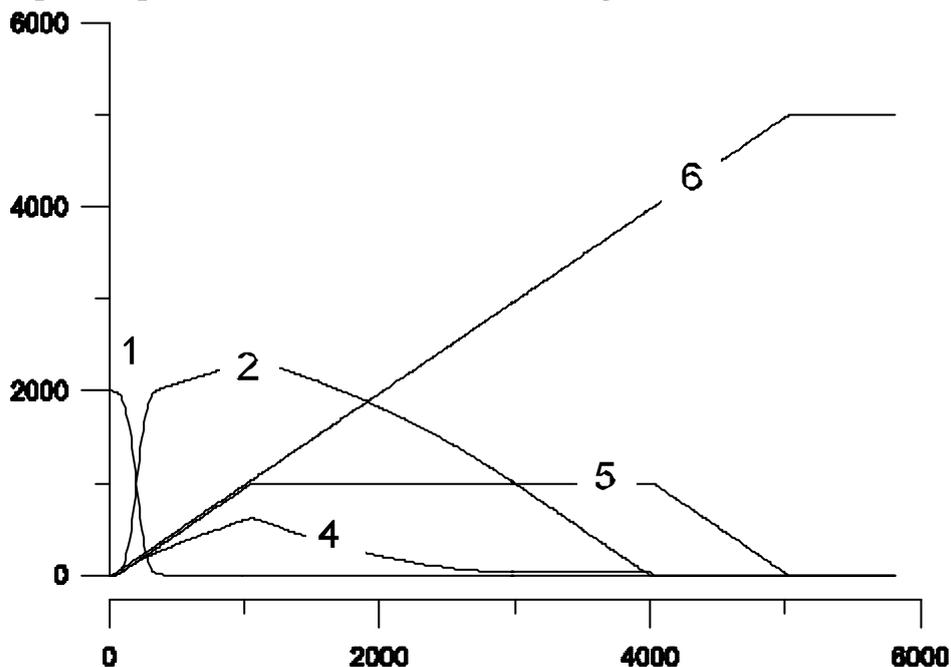


Figura 4-14 Evolución temporal del número de evacuados correspondiente al modelo de la figura 4-13

## **5 LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA EVALUACIÓN DE RIESGO VOLCÁNICO**

**F. Gómez**

**En zonas volcánicas activas, el estudio del riesgo volcánico es un elemento a incluir en la elaboración de planes territoriales, de usos de suelo o planes de prevención frente a desastres naturales. Sin embargo, la complejidad del fenómeno volcánico, hace del análisis del riesgo una tarea difícil que sólo es posible abordar desde un punto de vista multidisciplinar.**

**En los enfoques estrictamente científicos, se hace énfasis en la obtención de la probabilidad y características de los posibles fenómenos volcánicos, es decir, en la determinación de la peligrosidad de futuros eventos. Por ello, los estudios se centran en:**

- el análisis del registro geológico**
- la caracterización de los mecanismos eruptivos**
- el conocimiento de los sistemas eruptivos y los parámetros de erupción**
- la determinación y análisis de precursores**
- la elaboración de modelos de erupción**
- la instalación y puesta en marcha de sistemas de vigilancia**

**Por otra parte, desde el punto de vista de la Protección Civil, el interés se centra básicamente en el conocimiento de:**

- la identificación y evaluación de precursores**
- la localización de los posibles focos eruptivos**
- el tipo de erupción más probable y el más destructivo**
- la evolución y duración de la crisis**
- el área afectada por determinados eventos**
- los daños previsibles a la propiedad y la población**
- la distribución de los recursos y los medios de apoyo**

**Tradicionalmente, los estudios de riesgo tienen su expresión final en forma de mapas de peligros o riesgos potenciales. Estos documentos, aunque sin duda de utilidad, tienen varias desventajas:**

- se trata de documentos "estáticos", es decir, no pueden ser modificados o actualizados fácilmente una vez que se han elaborado.**
- resulta difícil que estén preparados para las particularidades de erupciones futuras y no se pueden adaptar con rapidez a las mismas una vez que los fenómenos se han detectado.**

- Si la complejidad del fenómeno es elevada, resulta muy difícil expresar en ellos todos los parámetros que tienen lugar en el cálculo y a menudo se necesita de una simplificación extrema.
- La base de elaboración de estos mapas tiene como fuente el conocimiento de la localización probable del futuro centro eruptivo, caso que frecuentemente resulta difícil de establecer, si bien es posible definir áreas preferentes.

Por el contrario, los Sistemas de Información Geográfica (GIS) proporcionan una plataforma en la que se facilita el manejo, actualización y modificación de los datos de partida. De esta forma, los mapas finales adquieren un sentido "*dinámico*", puesto que es posible su actualización en función de los nuevos datos de que se disponga. Además, al trabajar con áreas volcánicas en lugar de focos "*puntuales*", se hace necesario utilizar técnicas de análisis espacial y generar "*escenarios*" de riesgo para los distintos tipos de fenómenos potenciales en la zona de estudio, técnicas todas ellas disponibles en los GIS.

### 5.1. APLICACIÓN A LA ISLA DE TENERIFE

El diseño y desarrollo de un GIS no puede desligarse de las características específicas de la zona en la que va a ser utilizado. En este sentido, nos ha parecido mucho más práctico desarrollar este capítulo sobre un caso real como es la isla de Tenerife, en el Archipiélago Canario.

Resulta evidente que sólo es posible evaluar apropiadamente el riesgo si se tiene un conocimiento adecuado de los factores volcanológicos, ya que éstos constituyen el punto de partida para la obtención de la información que se utilizará en usos administrativos. En nuestro caso, el aspecto científico viene proporcionado por el estudio de un amplio rango de parámetros volcanológicos en el marco del *Proyecto Teide*. En aquellas zonas en las que no se dispone de datos procedentes del proyecto, se ha recurrido a información complementaria en forma de mapas geológicos editados, estudios de detalle, documentación sobre las erupciones históricas, etc.

La información resultante del análisis de la peligrosidad en la isla de Tenerife, se utiliza como entrada para el cálculo del riesgo volcánico desde el punto de vista de Protección Civil. Para ello, se ha buscado el apoyo de las Autoridades con competencias en esta materia, las cuales han proporcionado información sobre el tipo de datos y herramientas que necesitan en la toma de decisiones, así como el estado de desarrollo en el que se encuentra actualmente el estudio del riesgo volcánico en la isla.

Debido a la gran cantidad de datos de distinta procedencia que es necesario manejar, se ha adoptado la inclusión de todos ellos en un Sistema de Información Geográfica, donde el tratamiento e integración de los mismos presenta considerables ventajas en comparación con los métodos tradicionales, como por ejemplo:

- Los datos con los que se trabaja están georreferenciados, es decir, que es posible

obtener la localización precisa de los mismos a través de sus coordenadas (x,y,z).

- La gran capacidad de manejo de datos que proporciona un GIS hace posible trabajar simultáneamente a nivel de toda la isla o seleccionar áreas concretas en las que tengamos preferencia en centrar algún estudio (por ejemplo: términos municipales).
- El análisis espacial y estadístico de los datos y la creación de salidas en forma de gráficos, tablas, etc., se puede llevar a cabo en un mismo ordenador.
- Permiten la implementación de modelos que hayan sido desarrollados externamente para la simulación de fenómenos eruptivos.
- Proporcionan herramientas para la representación de resultados que permiten la fácil interpretación de los mismos a usuarios no experimentados en la materia.

#### 5.1.1. Desarrollo metodológico

La mayor parte de estudios relacionados con el riesgo volcánico están centrados en volcanes de tipo central o en campos volcánicos. Sin embargo, en Tenerife se trabaja con dos tipos de fenómenos volcánicos: el volcanismo asociado al complejo Teide-Pico Viejo y el volcanismo del resto de la isla asociado principalmente con las cordilleras dorsales. El primer tipo es el potencialmente más destructivo al estar relacionado con manifestaciones de tipo explosivo, mientras que el segundo lo está con tipos efusivos. Además, la dispersión de centros eruptivos y las complejas relaciones en el espacio y tiempo entre ambos tipos, hacen imposible su estudio de forma independiente.

Por otra parte, los estudios existentes se centran en zonas en las que el registro histórico es amplio y los patrones de comportamiento se han definido en muchos casos. Este no es el caso de la isla de Tenerife. Los registros históricos/prehistóricos son escasos y no son representativos de la totalidad de manifestaciones volcánicas que existen en la isla.

En el estudio del riesgo volcánico potencial para la isla de Tenerife, nos hemos centrado en el análisis de las áreas preferentes de erupción donde, una vez analizadas las características de los eventos precedentes, se han determinado los posibles mecanismos eruptivos y su área fuente, así como los factores de peligro (fenómenos asociados), lo que ha permitido aplicar modelos matemáticos para obtener "mapas" (escenarios de riesgo) de áreas con riesgo potencial de ser afectadas en el caso de eventos futuros.

Para llevar a cabo el proceso de los datos de forma coherente, se ha considerado la isla de Tenerife en su conjunto como un sistema volcánico. Este enfoque simplificaría en exceso el tratamiento de datos desde el punto de vista volcanológico si el objetivo fuese llevar a cabo un estudio de detalle, pero resulta óptimo al considerar globalmente el fenómeno, puesto que la escala de trabajo se ve considerablemente reducida (1:100.000 a 1:200.000) y a su vez proporciona una buena base para llevar a cabo el estudio de

riesgo desde el punto de vista de la administración.

Para el desarrollo de la metodología de riesgo, se ha tomado como base la metodología de trabajo desarrollada por la UNESCO (1972):

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Exposición}$$

sobre la cual se han debido realizar adaptaciones en la componente del *Peligro* que permitan su aplicación al caso de Tenerife y al tratamiento de datos en un Sistema de Información Geográfica.

Así, el *peligro*, de acuerdo con su definición por la UNESCO, es una función de la probabilidad de ocurrencia de una erupción de cierta intensidad por la probabilidad de que un área se vea afectada por los productos generados en esa erupción. Se han considerado algunas modificaciones en los componentes del *peligro* en esta fórmula:

1. Se ha añadido la componente espacial, no contemplada en la ecuación, la cual viene determinada por la distribución de centros eruptivos en la isla. En relación con ella, se ha realizado un análisis de las áreas preferentes de erupción.
2. La mayoría de estudios volcanológicos clasifican la intensidad de las erupciones de acuerdo con el Índice de Explosividad Volcánica (VEI) propuesto por Newhall y Self (1982) entre otros métodos, y basan la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos en cálculos más o menos complejos.

En la isla de Tenerife, la obtención de datos que permitan asignar la intensidad de las erupciones ocurridas y la identificación de periodos de retorno para cada una de ellas es muy difícil debido al reducido número de eventos documentados. Por ello, se ha preferido seguir un método de clasificación cualitativo inspirado en Miller (1989) y adaptado a la metodología de trabajo en GIS, para llevar a cabo la discriminación de los mecanismos eruptivos más probables así como su localización preferente y los factores de peligro asociados.

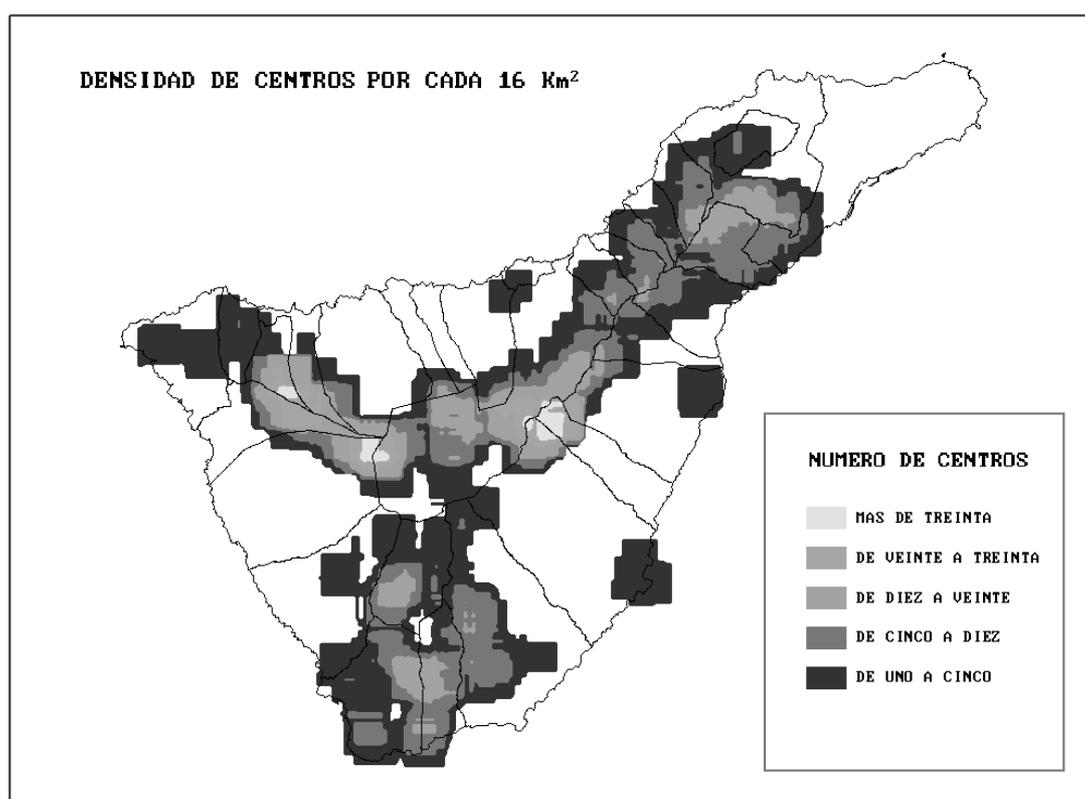
Esta clasificación se ha llevado a cabo mediante el análisis de aquellas características que ha sido posible reconocer en los eventos visibles del Cuaternario, utilizando las fuentes del proyecto *Teide Volcán Laboratorio Europeo* entre otras y haciendo uso de la capacidad de los GIS de asociar datos tabulares a datos gráficos.

3. El cálculo del área afectada por determinados productos de la erupción, introduce la componente "estática" a la ecuación. Esta se ha sustituido por la incorporación al sistema de modelos que simulan el desarrollo de los diversos fenómenos eruptivos. Su aplicación proporciona como resultado la simulación de las áreas que presentan una mayor probabilidad de ser afectadas por los productos volcánicos (escenarios de riesgo).

Las tres componentes consideradas constituyen globalmente lo que tradicionalmente se

ha identificado como cálculo de la peligrosidad volcánica. Resulta obvio que al introducir una componente de simulación no se obtiene como resultado del cálculo un "mapa de peligrosidad volcánica" en el sentido tradicional, sino que éste queda sustituido por la generación de escenarios independientes dependiendo de las variables introducidas en la simulación.

Las componentes de vulnerabilidad y exposición para cada elemento de riesgo considerado, se han definido de acuerdo con referencias bibliográficas y con la recopilación de los datos socioeconómicos de la isla mediante el análisis de los efectos que cada fenómeno considerado es susceptible de producir.



**Figura 5-1** Estudio de la densidad de centros eruptivos (número de centros por cada 16 km<sup>2</sup>) en Tenerife.

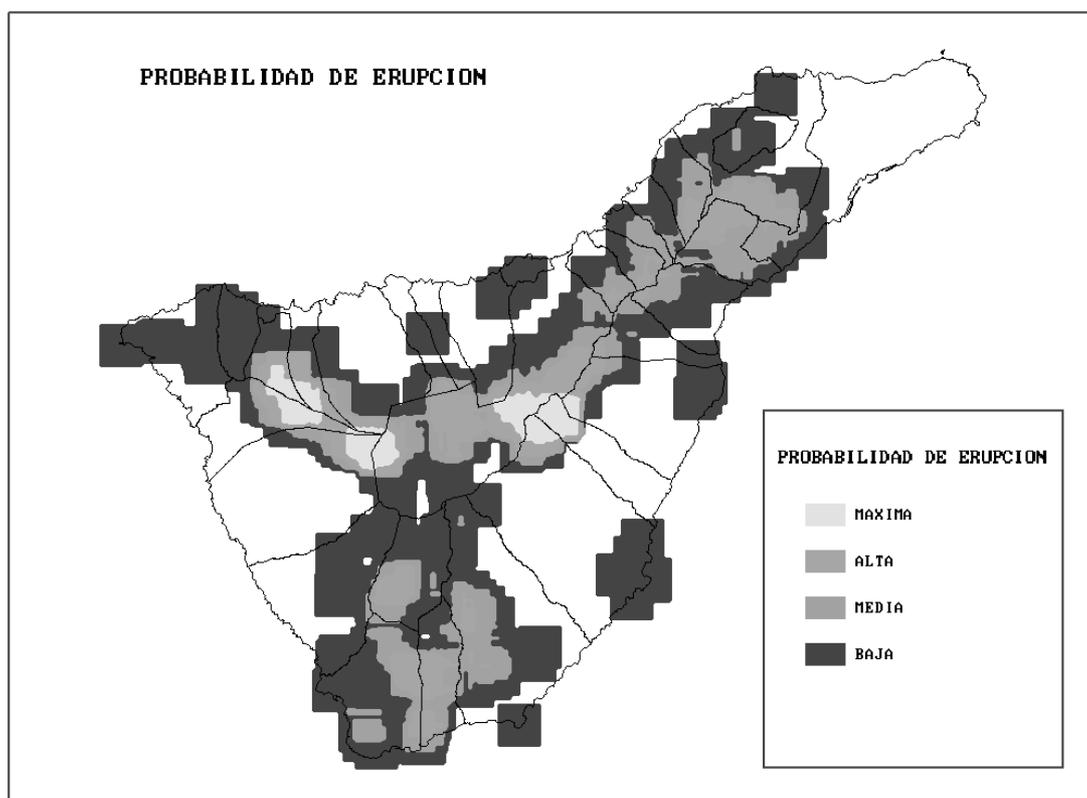
### 5.1.2. Análisis del área probable de erupción

Se acepta genéricamente que las áreas preferentes de erupción son aquellas en las que existe la mayor concentración de centros (mayor debilidad cortical). Sobre esta base se ha hecho un estudio de la densidad de centros visibles con una malla de 16 km<sup>2</sup>. La unidad elegida se debe a la amplia dispersión de centros que hace difícil su estudio en unidades inferiores (Fig. 5-1). Para calcular la probabilidad de erupción por áreas se ha hecho el cálculo de porcentaje de centros por cada celda de la malla que se ha creado

(Fig. 5-2).

Para determinar el significado de los mapas obtenidos, resulta adecuado analizar si la disposición de los centros obedece a alguna distribución determinada (búsqueda de alineaciones preferentes), e.d. si existe control tectónico sobre la misma o si ésta es aleatoria.

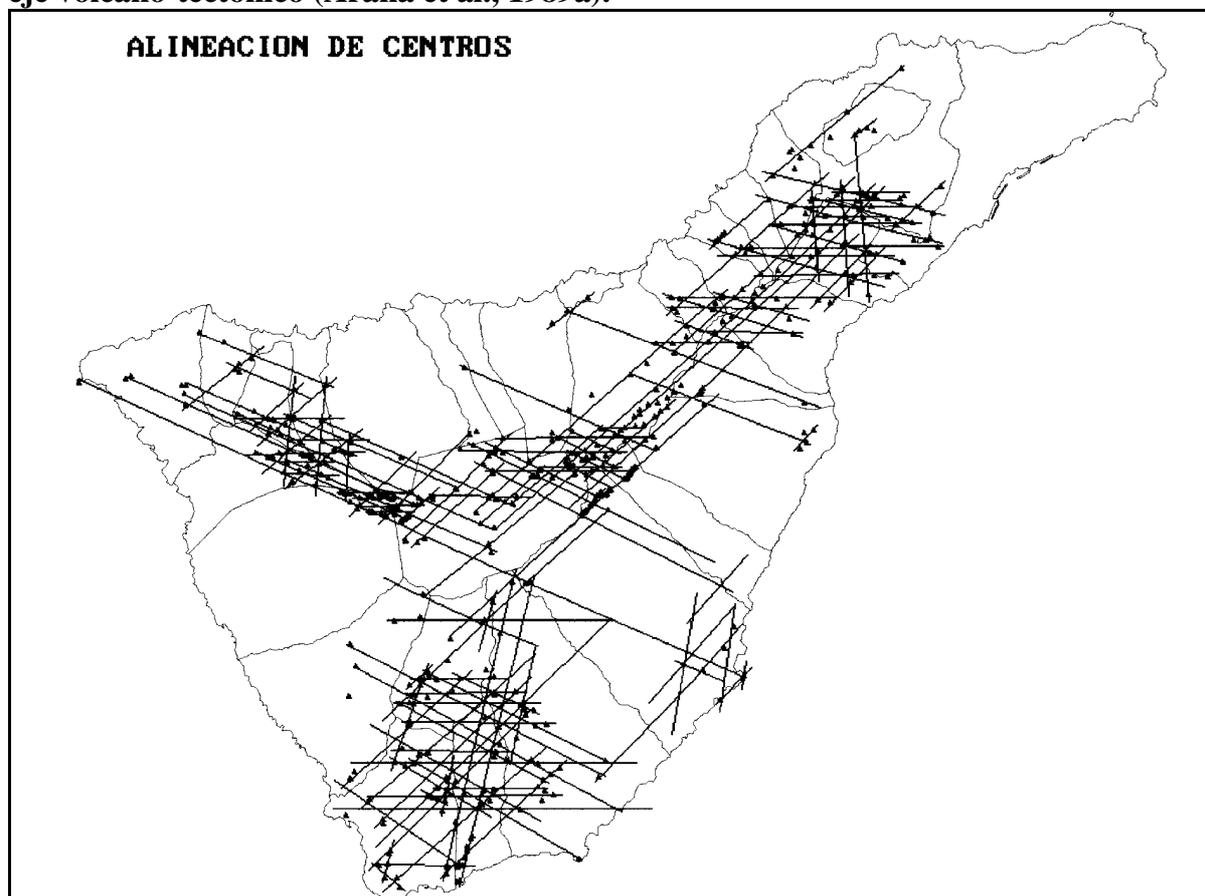
Al analizar las alineaciones en las que aparentemente se disponen los centros, se observa que pertenecen a dos grupos básicos: el primero (NE-SW y NW-SE) parece ser el dominante, mientras que el segundo grupo (aprox. N-S y E-W) es menos frecuente pero claro en algunas zonas (Fig. 5-3).



**Figura 5-2** Probabilidad de erupción en función del porcentaje de centros eruptivos por cada 16 km<sup>2</sup>.

Aun teniendo en cuenta la buena concordancia de las máximas concentraciones de alineaciones halladas con las zonas identificadas como de alta probabilidad, no existe documentación detallada (mapas geotectónicos, etc.) que nos permita determinar si se corresponden con fracturas de tipo regional o local, aunque existen numerosas citas en la bibliografía que hacen referencia a la existencia de estas direcciones predominantes, e incluso que identifican lineaciones o fracturas para las erupciones históricas (que son

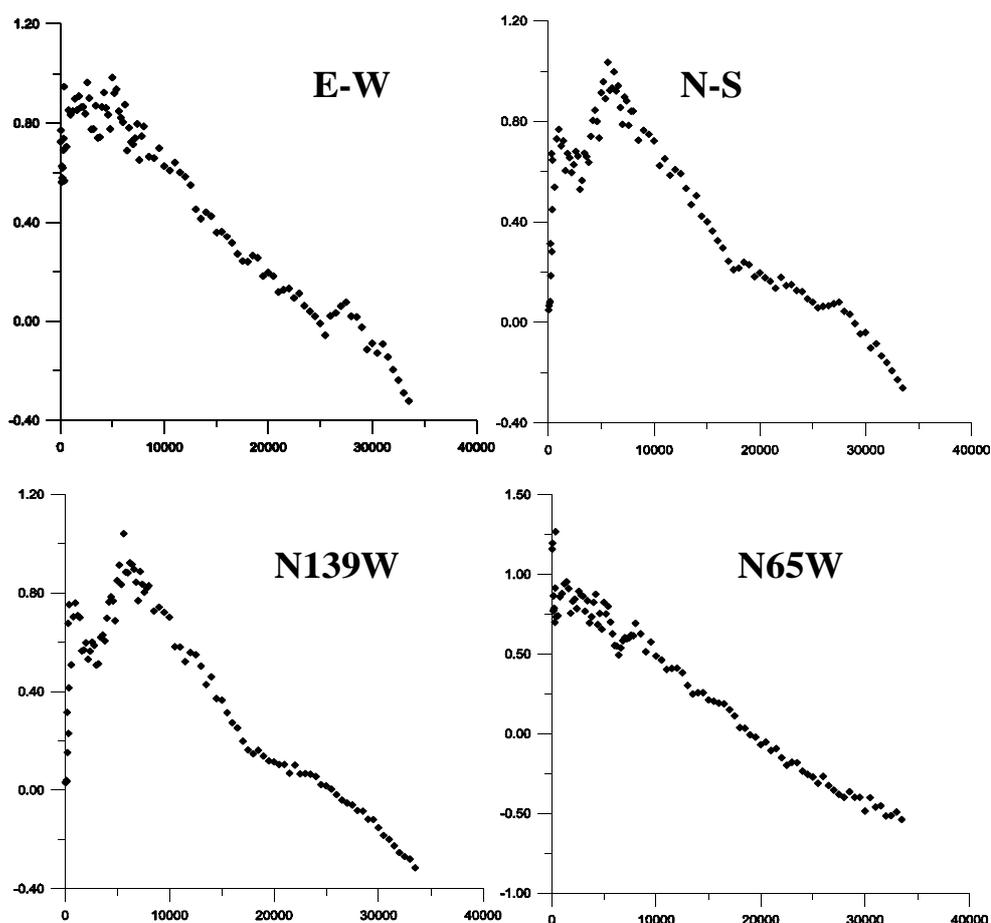
concordantes con las alineaciones observadas). En cualquier caso, la coincidencia de las máximas concentraciones de conos visibles con las cimas de las cordilleras dorsales de Tenerife, permite suponer que en la vertical se encuentra asimismo la máxima concentración de centros de emisión enterrados por erupciones sucesivas en el mismo eje volcano-tectónico (Araña et al., 1989a).



**Figura 5-3** Distribución de las alineaciones preferentes de centros eruptivos.

A falta de otra evidencia mayor, se ha realizado un estudio estadístico de autocorrelación espacial de centros de acuerdo con las direcciones en las que se disponen las alineaciones identificadas. Los resultados con una correlación más elevada fueron aquellos en los que las direcciones analizadas estaban comprendidas entre los N45W y E-W (0.98 en valores absolutos), mientras que las directrices N-S a N45E resultaron ser secundarias (con una correlación del orden de 0.77 en valores absolutos).

En todos los casos, las funciones de correlación resultantes presentan una forma escalonada (Fig. 5-4) lo que indica que, localmente, la correlación aumenta. Este hecho, que apunta a que la distribución de centros sigue un patrón agrupado, se ha visto confirmado al hacer un análisis de patrones espaciales. Se puede por tanto concluir que los centros visibles tienden a acumularse en torno a zonas en las que hay predominio de las alineaciones observadas.



**Figura 5-4** Funciones de correlación espacial de centros de emisión.

Como excepción a esta regla, hay que mencionar la existencia del complejo Teide-Pico Viejo, el cual representa la fase más reciente de volcanismo central en Tenerife, con actividad durante los últimos 150.000 años. Sus productos rellenan parcialmente la Caldera de Las Cañadas (principal elemento representante del volcanismo central previo a la construcción del complejo Teide-Pico Viejo) y se extienden hacia el norte y el oeste, donde no aflora la pared de la Caldera. Su localización espacial restringida, junto a la actividad simultánea de múltiples centros emisores enterrados por sucesivas erupciones, motiva que la densidad observada sea inferior. Por su magnitud y significado en términos de riesgo, se ha decidido llevar a cabo un tratamiento independiente para el volcanismo central de Tenerife. El complejo de Mña. Blanca, perteneciente al grupo de centros satélites que circundan el Teide, ha adquirido recientemente un carácter lo bastante representativo como para destacarlo junto a Pico Viejo y al Pico del Teide como representantes de los centros emisores relacionados con el volcanismo central (Ably y Martí, 1995).

### 5.1.3. Identificación de mecanismos eruptivos y factores de peligro

Para la identificación de mecanismos eruptivos en la isla de Tenerife se ha considerado la información disponible para aquellos eventos ocurridos desde el comienzo del Cuaternario. Los elementos utilizados para la identificación son: la composición química de los materiales emitidos, la distribución espacial que presentan los centros de emisión, la posible intervención de agua en la erupción y el tipo dominante de fenómenos volcánicos asociados con los eventos.

Como un primer paso, se ha obtenido un mapa de "*patrones eruptivos*" para la isla considerando la composición química y la distribución espacial de centros. Para ello se ha elaborado una base de datos en la que a cada evento puntual se ha asociado esta información. Sobre esta clasificación se ha llevado a cabo un proceso de interpolación para identificar los patrones a nivel de toda la isla (Fig. 5-5).

Por lo que respecta a la composición química, se han separado tres grupos de litologías: básicas, intermedias-básicas y sálicas. Se clasifican como *básicas* rocas tipo basaltos y basanitas; *intermedias*, los traquibasaltos y tefritas. Se consideran *sálicas* rocas tipo fonolitas y traquitas. Esta agrupación ha resultado ser la más adecuada después de haber llevado a cabo diversos ensayos, aunque en la bibliografía no siempre se utiliza uniformemente esta nomenclatura petrológica.

En cuanto al tipo de distribución espacial, la mayoría de centros se dispone de acuerdo con las alineaciones observadas en el apartado anterior. De éstas, se ha denominado regionales a aquellas con continuidad espacial a nivel de la isla y locales, a aquellas que sólo afectan a un entorno restringido. Las primeras, coinciden en orientación con las directrices tectónicas regionales para el archipiélago canario.

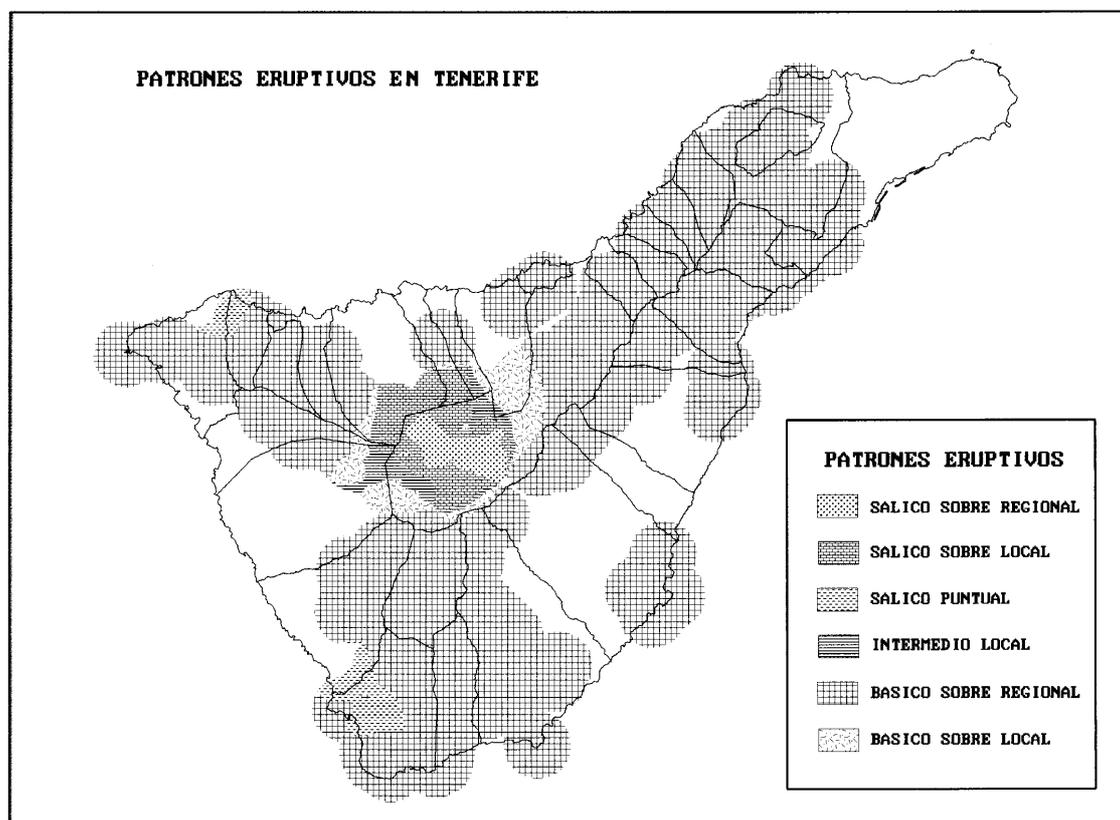
Se clasifican entonces los eventos como: de carácter *regional* cuando los centros emisores identificados se disponen en relación con las alineaciones regionales. El carácter *local* se asigna a eventos que se distribuyen sobre alineaciones locales. Por último, se contempla un caso que es el carácter *puntual*, para eventos sin relación aparente con las alineaciones identificadas y claramente desconectados de los eventos de su entorno.

Los patrones identificados son los siguientes:

- a) Manifestaciones básicas:
  - 1.- Sobre alineaciones regionales.
  - 2.- Sobre alineaciones locales.
  
- b) Manifestaciones intermedias:
  - 1.- Sobre alineaciones locales.
  
- c) Manifestaciones sálicas:
  - 1.- Sobre alineaciones regionales.
  - 2.- Sobre alineaciones locales.

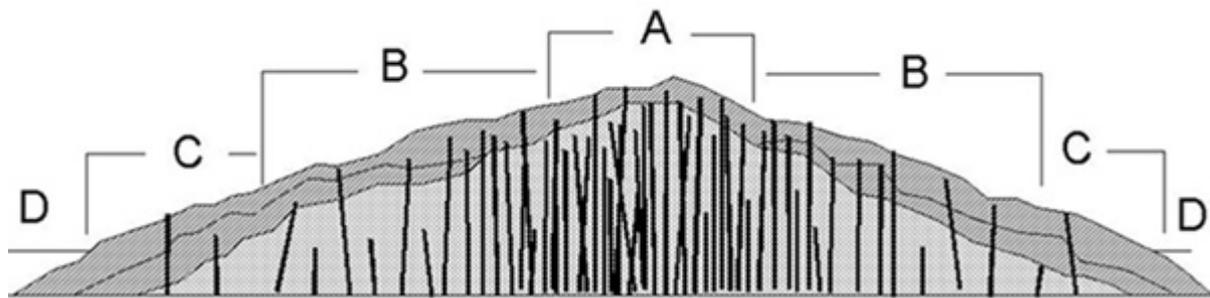
3.- Con carácter puntual.

De éstas, las manifestaciones sálicas con carácter regional y local se encuentran relacionadas con el complejo Teide-Pico Viejo.



**Figura 5-5** Distribución de los patrones eruptivos identificados en la isla.

La posibilidad de intervención de agua en la erupción con un posible aumento de la explosividad, hace necesario conocer las áreas susceptibles a este fenómeno. Para ello, se ha considerado el Plan Hidrológico Insular (Cabildo de Tenerife, 1989), del cual se ha tomado la zonación hidrogeológica que establece. (Fig. 5-6)



**Figura 5-6** Zonación hidrogeológica simplificada para la isla de Tenerife (a partir de los datos del Plan Hidrológico Insular)

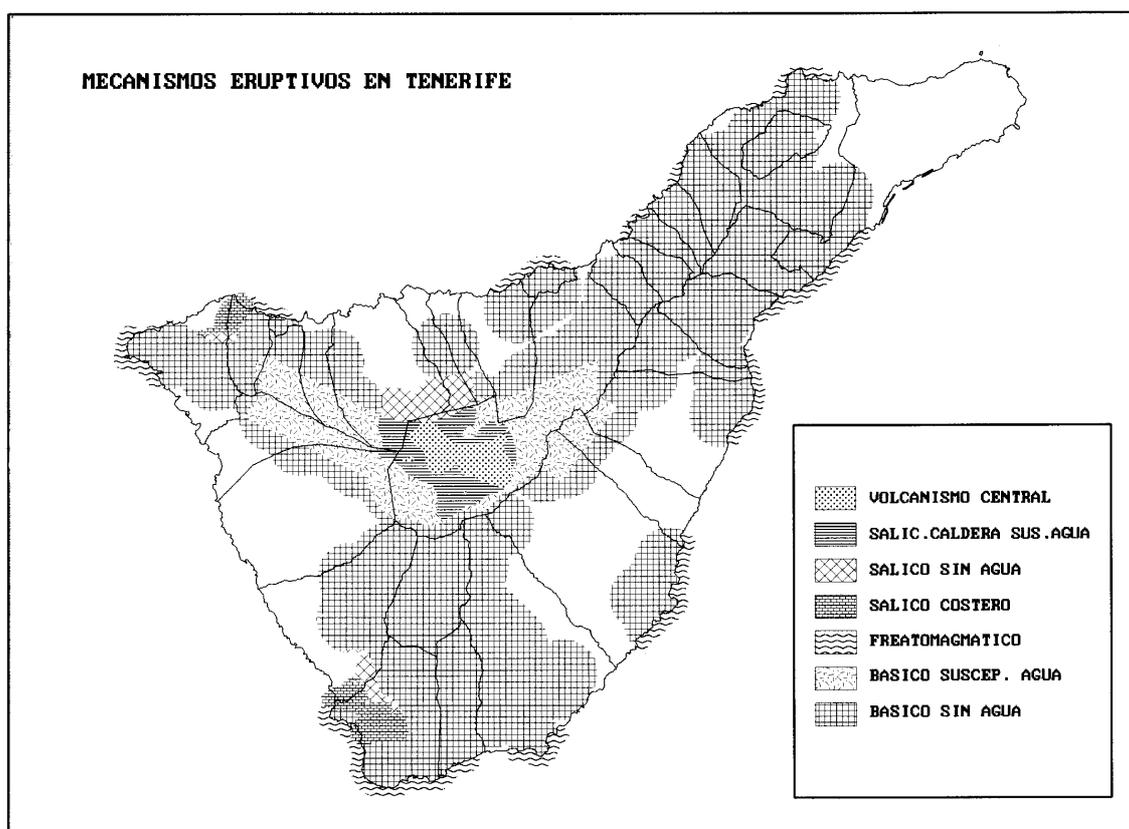
- A.- Núcleo de los ejes estructurales: la permeabilidad está vinculada a diques y a una microfracturación generalizada, que tiene repercusión en el aumento del coeficiente de almacenamiento. La superficie freática está sobreelevada y la zona saturada se sitúa muy próxima a la superficie topográfica.
- B.- Areas con agotamiento paulatino acusado de los acuíferos: corresponde al macizo de Tigaiga, grandes áreas de la vertiente sur y la mayor parte de las vertientes de las dorsales.
- C.- Areas próximas a la costa: donde el nivel de la superficie freática está a poca profundidad o bien, en la desembocadura de amplios valles, no está controlado por el nivel del mar, lo que permite una mayor acumulación en la franja litoral.
- D.- Límite exterior a la isla de 1000 m. (erupciones en el mar).

**El mapa de patrones eruptivos se ha reclasificado teniendo en cuenta las zonas de susceptibilidad a la intervención de agua que se han establecido en coincidencia con la citada zonación hidrogeológica. Como resultado, se han obtenido los mecanismos eruptivos que se pueden presentar en Tenerife (Fig. 5-7).**

**Para llevar a cabo este proceso, se han considerado globalmente los patrones de tipo básico e intermedio, cuyo comportamiento eruptivo resulta muy similar. Sin embargo, los patrones de tipo sálico se han mantenido separados, ya que los de tipo regional se corresponden con el volcanismo central en Tenerife y los puntuales carecen de relación geográfica alguna entre ellos (Tabla 1 y fig. 5-7).**

**Tabla 1. Esquema de los mecanismos eruptivos identificados en la Isla de Tenerife.**

	<b>Erupciones básicas</b>	<b>Erupciones sálicas</b>	
<b>Zona A</b>	<p><b>a-2)</b></p> <p><b>Volcanes monogenéticos en Edificio Central y Cumbres Dorsales</b></p> <p>(susceptibles a la intervención de agua)</p>	<p><b>c-2)</b></p> <p><b>Domos con Coladas y Piroclastos próximos al Edificio Central</b></p> <p>(susceptibles a la intervención de agua)</p> <p>- Roques Blancos</p>	<p><b>d)</b></p> <p><b>Complejo Central</b></p> <p>(susceptibles a la intervención de agua)</p> <p>- Pico Teide, Pico Viejo, Mña. Blanca</p>
<b>Zona B</b>	<p><b>a-1)</b></p> <p><b>Volcanes monogenéticos en Escudos Basálticos Antiguos, Laderas Bajas del Edificio Central y Dorsales</b></p> <p>(sin intervención de agua)</p>	<p><b>c-1)</b></p> <p><b>Domos satélites del Edificio Central</b></p> <p>(sin intervención de agua)</p> <p>- Pico Cabras, Mña. Abejera</p>	
<b>Zonas C/D</b>	<p><b>a-3)</b></p> <p><b>Anillos de Tobas en línea de costa (Freatomagmáticas)</b></p> <p>- Mña. Amarilla - Mña. Escachada</p>		<p><b>b)</b></p> <p><b>Conos, Domos y Maares próximos a la costa</b></p> <p>(Freatomagmáticos o susceptibles a la intervención de agua)</p> <p>- Caldera del Rey - Mña. Guaza - Volcán del Taco</p>



**Figura 5-7** Distribución de mecanismos eruptivos identificados en la isla.

De acuerdo con los resultados obtenidos, y analizando la tipología de productos emitidos por los eventos correspondientes con cada mecanismo, podemos establecer los factores de peligro. Los mecanismos identificados para la isla de Tenerife se relacionan a continuación junto a sus factores de peligro.

**a) Erupciones Básicas:**

1. *Sin intervención de agua:* caracterizadas por series de conos monogénéticos de pequeña envergadura con coladas lávicas asociados. Los centros de este grupo pertenecen prácticamente en su totalidad a eventos pleistocenos. Sus materiales cubren gran parte de la superficie de la isla, pero su antigüedad y su grado de recubrimiento por vegetación hacen difícil individualizar eventos y estimar volúmenes lávicos, aunque se puede apreciar que gran cantidad de coladas llegaron desde sus zonas de emisión (generalmente en relación con las Dorsales) hasta la costa ganando en casos terreno al mar.
2. *Susceptibles a la intervención de agua:* dentro de este grupo quedan enmarcadas casi todas las erupciones históricas. Su tipología es idéntica a las anteriores. Esto es debido a que los límites de la zona freática se han visto restringidos de forma considerable en los últimos decenios debido a la explotación continuada de los

acuíferos y, a que la intervención de agua en estas erupciones no afectaría de forma significativa a su magnitud y características eruptivas.

Los fenómenos asociados son básicamente la emisión de lavas y la producción de conos de materiales piroclásticos tipo lapilli y escorias (Chinyero, Garachico) que pueden llegar a representar un volumen importante en el total de materiales emitidos (Chahorra).

3. *Freátomagnéticas*: Típicamente en zonas próximas a la costa. Mña. Amarilla es el único evento de la serie reciente que se puede clasificar en este grupo. Sin embargo, se tiene constancia de eventos pre-Cuaternarios con la misma tipología, como Mña. Escachada y Mña. Erales.

**b) Erupciones Sálidas en la proximidad de la costa:**

1. *Susceptibles a la intervención de agua*: corresponden a un grupo muy escaso de eventos aislados pero que pueden llegar a alcanzar una explosividad muy importante. La variabilidad de factores asociados es grande teniendo en cuenta su escasa representación. Se han distinguido desde generación de domos con emisión de coladas que pueden llegar a ganar terreno al mar debido a su proximidad a la línea de costa (Mña. Guaza), pasando por la producción de una cantidad limitada de materiales piroclásticos (volcán de Taco) hasta la generación de maares con depósitos asociados de caída y oleadas piroclásticas (Caldera del Rey).

**c) Erupciones Sálidas en relación con el complejo Teide-Pico Viejo-Mña. Blanca:**

1. *Sin intervención de agua*: emisión de coladas. Los eventos pertenecientes a este grupo corresponden a emisiones de domos satélites en el flanco norte del Teide con emisión de coladas de extensión reducida (Pico Cabras, Mña. Abejera).
2. *Susceptibles a la intervención de agua*: la característica dominante de estos eventos es la emisión de coladas de lava con la formación ocasional de conos de piroclastos de dimensiones reducidas. También es posible encontrar depósitos de caída (pomez) relacionados con actividad explosiva y domos con emisión de bombas en trayectorias balísticas. Ocasionalmente, los productos lávicos pueden alcanzar la línea de costa (Roques Blancos).

**d) Volcanismo Central:**

Relacionado con los centros emisores de Teide, Pico Viejo y Montaña Blanca (Ablay y Martí, 1995), cuyas emisiones son susceptibles a la intervención de agua.

Entre los depósitos asociados con el cráter de Pico Viejo, aparecen coladas lávicas y escorias de gran potencia en los flancos, depósitos de oleadas piroclásticas, depósitos de caída soldados y no soldados y lavas clastogénicas.

En el Teide, los productos aflorantes más antiguos son lavas de composición tefrítico-fonolítica. Sobre ellas se disponen lavas y tefra fonolíticas. Montaña Blanca-Montaña Rajada representa a un complejo de centros eruptivos situado sobre el flanco oriental del Teide. Los magmas emitidos tienen fuertes afinidades con los productos presentes en Pico Viejo y produjeron la única erupción reciente, substancialmente explosiva del sistema Teide-Pico Viejo. Sus productos comprenden coladas, materiales de tipos ceniza gruesa a lapilli pumítico (depósitos de caída) y emplazamiento de domos.

En lo que al volcanismo central explosivo se refiere, es necesario tener en cuenta la existencia del Edificio Cañadas, cuya formación comprendió varios ciclos de larga duración (100-300 Ka) de actividad fonolítica explosiva, cada uno de los cuales culminó con un evento de colapso de caldera, separados por períodos importantes de actividad no explosiva. Este tipo de actividad, aunque no está representada de forma importante en los depósitos más recientes, no debe olvidarse a la hora de considerar las posibles manifestaciones futuras en el complejo Teide - Pico Viejo - Montaña Blanca.

#### 5.1.4. Generación de Escenarios de Riesgo

Conocidos los mecanismos eruptivos, los factores de peligro asociados (a partir del análisis del registro geológico), y las áreas fuente probables como origen de cada uno de ellos, resulta posible aplicar modelos matemáticos para simular los efectos que un evento-tipo podría llegar a producir.

Los modelos para simulación de erupciones, constituyen una herramienta de trabajo que no se encuentra implementada en los Sistemas de Información Geográfica convencionales. Su trabajo se realiza de forma independiente, siendo el único requisito que deben cumplir el de que la entrada y salida de datos en el modelo sea compatible en formato con los que utilice el GIS con el que se trabaja o bien un estándar de fácil conversión. De esta forma se evita incompatibilidades o complejos trabajos de conversión de ficheros de lo que se deriva un retraso innecesario en la producción de resultados. Una vez obtenidos los resultados de la simulación, el GIS permite realizar en su entorno toda una serie de operaciones que nos proporcionan información sobre las áreas afectadas. Como ejemplo, se presentan dos casos de simulación: uno correspondiente a coladas lávicas y otro para depósitos piroclásticos de caída.

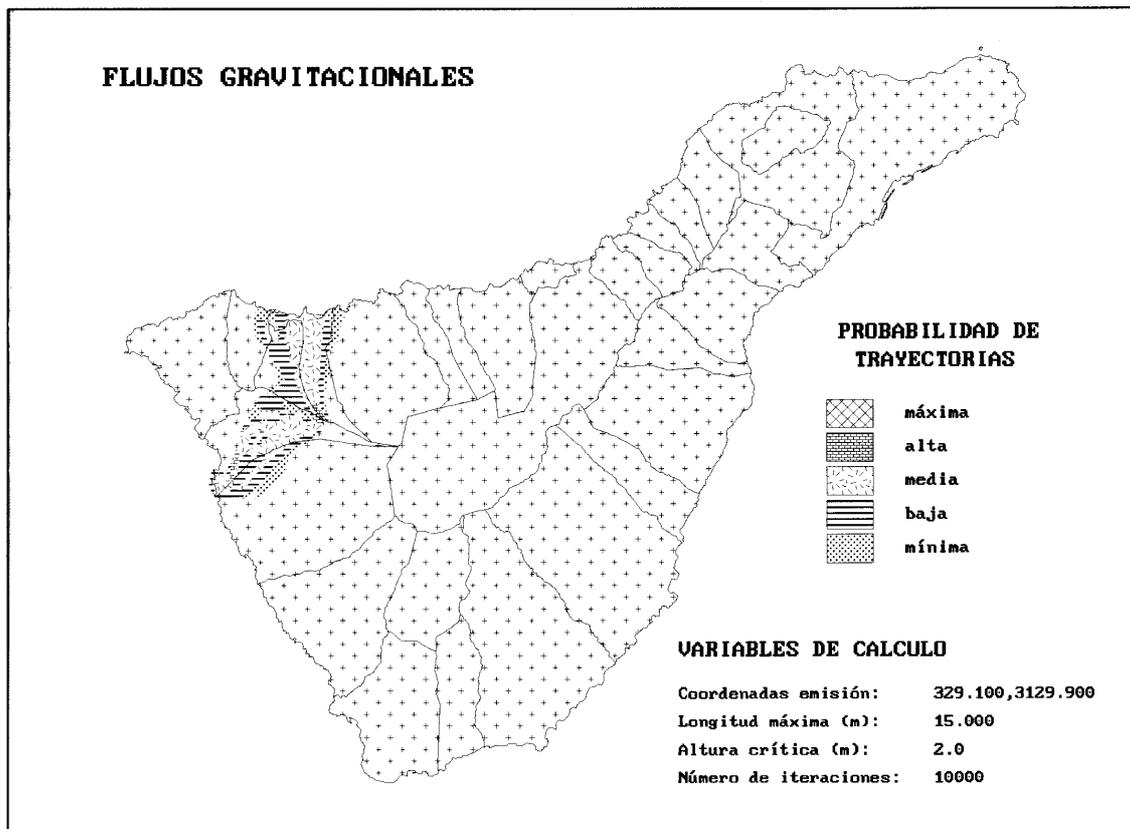
##### a) Evaluación del riesgo potencial para coladas lávicas.

Para mostrar el tipo de información que es posible obtener con un GIS de las áreas afectadas por un flujo lávico concreto, se ha elegido un centro eruptivo dentro del área de mayor probabilidad de erupción, correspondiente con el mecanismo definido como *erupciones básicas susceptibles a la intervención de agua*, y se ha simulado la trayectoria de lavas desde ese punto con el modelo de flujos gravitacionales desarrollado para el *proyecto Teide* (Ortiz et al., 1994). Los resultados proporcionados por el modelo (cálculo de probabilidad de trayectorias) se han integrado en el GIS con el fin de obtener toda la

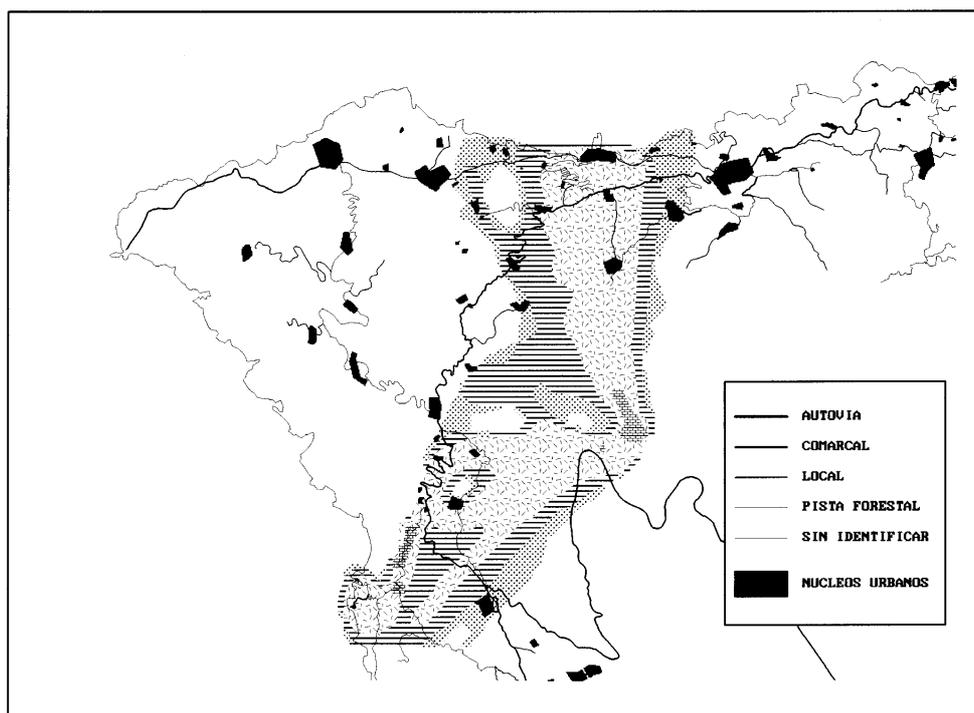
**información disponible en las bases de datos almacenadas de la isla de Tenerife.**

**Como primer resultado, es posible visualizar las zonas potencialmente afectadas en relación con el entorno geográfico en el que se enmarcan (Fig. 5-8). Como base para la representación se puede utilizar cualquier tipo de datos que proporcionen información de la isla en conjunto. Simultáneamente, es posible proporcionar las variables de cálculo que se han utilizado en la simulación. Sin embargo, este tipo de información resulta bastante poco efectiva para la obtención de datos del territorio afectado.**

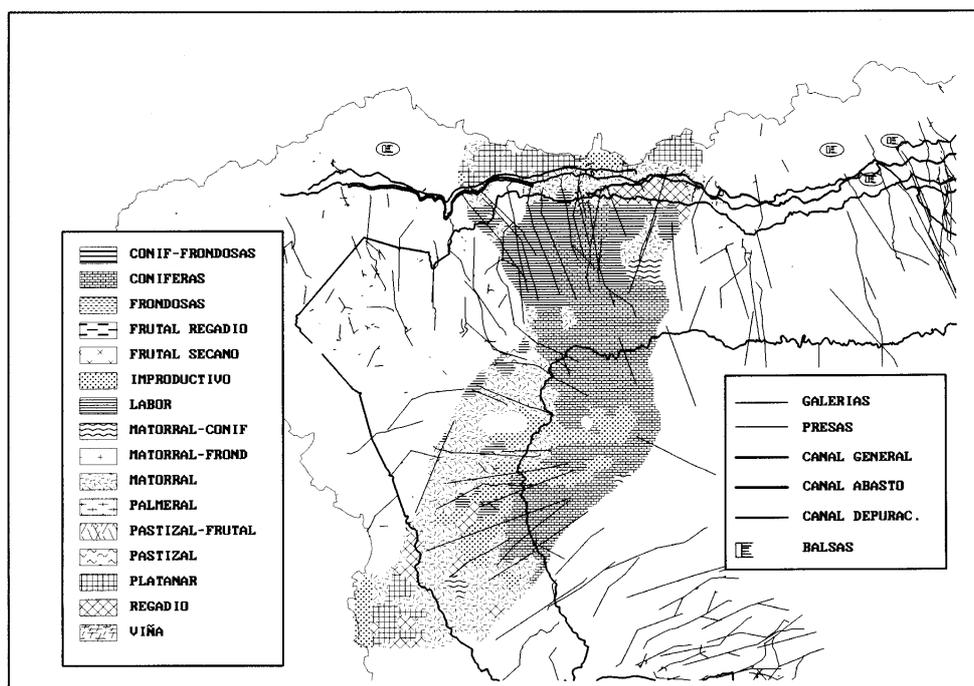
**Mediante la llamada a las bases de datos de las que se dispone, se han realizado representaciones gráficas de detalle de las áreas afectadas. De esta forma se pueden visualizar las carreteras, núcleos urbanos, tipos de usos de suelo, canales de distribución de agua, etc., de la zona afectada y las adyacentes (Fig.s 5-9 y 5-10). Por el tipo de almacenamiento de datos que se realiza en un GIS, los datos gráficos están íntimamente relacionados con datos tabulares en los que se puede almacenar cualquier tipo de atributo que queramos asociarles. Así es posible, no sólo tener la representación gráfica de las vías de comunicación, sino también su identificación, categoría, valor económico por km. de cada categoría, etc. En el caso de los núcleos urbanos, al fichero gráfico es posible asociar un fichero de datos en el que se incluyan datos socioeconómicos, estadísticas de población, información sobre el número y características de vehículos, hospitales, etc. El nivel o calidad de vida es un parámetro que también suele considerarse en este capítulo, especialmente por las compañías de seguros.**



**Figura 5-8** Localización geográfica de las áreas con probabilidad de ser afectadas por las trayectorias de coladas lávicas de acuerdo con los resultados de la simulación según los parámetros que aparecen en la figura



**Figura 5-9** Vías de comunicación y núcleos urbanos potencialmente afectados por los flujos lávicos.



**Figura 5-10** Usos de suelo y canales de distribución de agua en las áreas potencialmente afectadas.

**Al tener esta posibilidad, podemos obtener en forma de tablas información más detallada de la zona afectada. En las tablas 2 a 5 se muestran algunos resultados del cálculo. En la tabla 2, se muestran los términos municipales afectados como resultado de la simulación,**

así como el intervalo de probabilidad en el que están incluidos. Para cada caso se presenta la superficie afectada (en ha= $10^4\text{m}^2$ ) y el porcentaje de superficie que representa para la totalidad del municipio. Esta primera tabla sólo tiene una misión informativa general. Para el resto de los casos, se ha realizado una estimación de las pérdidas para los elementos, teniendo en cuenta la probabilidad de que el elemento considerado se vea cubierto por la colada y su vulnerabilidad frente a dicho fenómeno.

En el caso de las coladas, la vulnerabilidad se ha considerado del 100% para todos los elementos, excepto en el caso de la población, cuya vulnerabilidad se estima siempre como prácticamente nula, por lo que sólo se considera la población potencialmente afectada.

**Tabla 2. Términos Municipales afectados por la simulación de coladas.**

MUNICIPIO	PROBABILIDAD	SUP. AFECTADA (ha)	% SUPERFICIE
GARACHICO	Mínima	248	8.52
GARACHICO	Baja	454	15.61
GARACHICO	Media	1515	52.10
GARACHICO	Alta	51	1.75
GUIA DE ISORA	Mínima	449	3.13
GUIA DE ISORA	Baja	749	5.23
GUIA DE ISORA	Media	384	2.68
ICOD DE LOS	Mínima	294	3.05
ICOD DE LOS	Baja	34	0.35
SANTIAGO DEL	Mínima	389	7.47
SANTIAGO DEL	Baja	813	15.62
SANTIAGO DEL	Media	1815	34.89
SANTIAGO DEL	Alta	47	0.90
SILOS (LOS)	Mínima	241	9.87
SILOS (LOS)	Baja	82	3.36
TANQUE (EL)	Mínima	200	8.47
TANQUE (EL)	Baja	987	41.80
TANQUE (EL)	Media	585	24.77
TANQUE (EL)	Alta	10	0.42

En la tabla 3, están identificadas las vías de comunicación afectadas por los distintos intervalos de probabilidad, así como el número de km. que resultarían afectados en

cada caso. La última columna representa la evaluación de las pérdidas (en km) que se producirían teniendo en cuenta la probabilidad de que cada carretera se vea afectada por el paso de las lavas y la vulnerabilidad establecida. Conocido el valor económico que el km de carretera tiene para cada categoría, esta evaluación daría el valor de las pérdidas.

**Tabla 3. Estimación de pérdidas (riesgo específico) en las vías de comunicación.**

CARRETERAS	PROBABILIDAD	KILÓMETROS	PERDIDA POTENCIAL
C-820	Mínima	4.10	0.82
C-820	Baja	9.70	3.88
C-820	Media	12.40	7.44
C-823	Mínima	1.80	0.36
C-823	Baja	1.30	0.52
C-823	Media	2.90	1.74
PISTA FORESTAL	Mínima	0.80	0.16
PISTA FORESTAL	Baja	3.60	1.44
PISTA FORESTAL	Media	0.90	0.54
SIN ID.	Mínima	0.90	0.18
SIN ID.	Media	3.40	2.04
TF-1111	Mínima	3.00	0.60
TF-1111	Baja	1.30	0.52
TF-1111	Media	2.70	1.62
TF-142	Mínima	4.20	0.84
TF-142	Baja	1.50	0.60
TF-142	Media	3.70	2.22
TF-1421	Baja	0.40	0.16
TF-1421	Media	6.60	3.96
TF-1423	Mínima	0.20	0.04
TF-1423	Baja	0.70	0.28
TF-1481	Mínima	0.10	0.02
TF-1481	Baja	0.60	0.24
TF-1481	Media	6.10	3.66
TF-1481	Alta	0.90	0.72
TF-2232	Mínima	1.40	0.28
TF-2232	Baja	3.00	1.20
TF-2232	Media	3.60	2.16
TF-6237	Baja	0.40	0.16
TF-6237	Media	1.50	0.90

La tabla 4, proporciona un listado de los núcleos urbanos afectados por cada intervalo de probabilidad. En cada caso, se identifica el porcentaje de superficie de cada núcleo que se vería incluido en cada intervalo de probabilidad y una evaluación de pérdidas

obtenida siguiendo el mismo procedimiento de cálculo que en el caso anterior. La población afectada se ha calculado en función del porcentaje del núcleo urbano cubierto por las lavas.

**Tabla 4. Núcleos urbanos afectados por la simulación de lavas.**

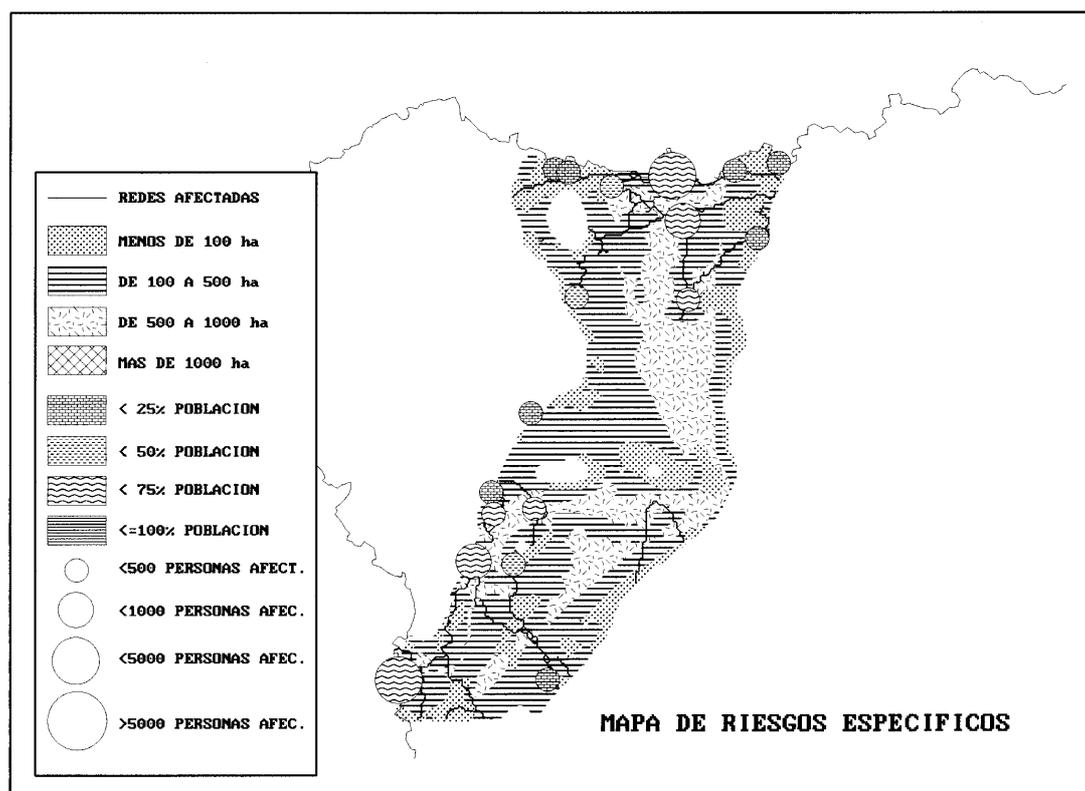
<b>Población</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Porc. Sup. Afectada</b>	<b>Perdida ( 10<sup>4</sup> m<sup>2</sup> )</b>	<b>Población Afectada</b>	<b>Porc. Población</b>
ARGUAYO	Baja	62.50	4.00	136	25.05
ARGUAYO	Media	37.50	3.60	122	22.47
CALETA (LA)	Mínima	100.00	0.60	184	19.97
CAL. DE	Mínima	100.00	0.80	121	20.00
CASCAJO (EL)	Media	100.00	1.20	?	0
CAÑAS (LAS)	Mínima	100.00	0.20	83	20.05
CHIO	Mínima	96.00	4.80	343	19.17
CHIO	Baja	4.00	0.40	29	1.62
CRUZ GRANDE	Baja	55.55	2.00	?	0
CRUZ GRANDE	Media	44.44	2.40	?	0
GARACHICO	Media	100.00	23.40	1453	60.00
GUINCHO (EL)	Mínima	100.00	0.60	76	20.00
LLANOS (LOS)	Mínima	25.00	0.60	?	0
LOMO MORIN	Baja	100.00	0.40	?	0
MANCHAS (LAS)	Media	100.00	3.60	116	60.10
MOLLEDO (EL)	Mínima	50.00	0.20	10	10.41
MONTAÑETA	Media	100.00	13.80	112	60.21
PTO. DE	Media	100.00	0.60	1525	60.00
RETAMAR (EL)	Media	100.00	3.60	32	59.26
RUIGOMEZ	Baja	100.00	4.40	174	39.91
S.JUAN DEL	Media	100.00	3.60	538	59.98
S.PEDRO DE	Baja	100.00	0.40	76	39.80
SIN ID	Mínima	80.00	0.80	?	0
SIN ID	Baja	20.00	0.40	?	0
SIN ID	Media	100.00	0.60	?	0
TAMAIMO	Media	100.00	1.20	771	60.00
VALLE DE	Mínima	12.50	0.20	2	2.08
VEGA (LA)	Mínima	93.10	5.40	348	18.63
VEGA (LA)	Baja	6.89	0.80	52	2.78

Por último, la tabla 5 muestra los usos de suelo afectados por las coladas. Se muestran las superficies afectadas por cada intervalo y la estimación de pérdidas. Al igual que en

el caso de las vías de comunicación, conocidos los valores económicos por hectárea de cada uso de suelo, es posible estimar las pérdidas en pesetas. Es posible obtener representaciones en forma de tablas o gráficos de todos los elementos bajo riesgo que se deseen considerar. La única condición necesaria es que todos ellos estén organizados en forma de bases de datos georeferenciadas. Como muestra se presentan de forma sintética los riesgos específicos asociados a cultivos, carreteras y población (Fig. 5-11).

**Tabla 5. Cultivos afectados por las coladas.**

Usos Del Suelo	Probabilidad	Superficie Afectada	Perdida potencial
CONÍFERAS	Mínima	392	78.40
CONIFERAS	Baja	810	324.00
CONIFERAS	Media	1589	953.40
CONIFERAS	Alta	60	48.00
FRONDOSAS	Mínima	2	0.40
FRUTALES SECANO	Mínima	2	0.40
FRUTALES SECANO	Baja	23	9.20
IMPRODUCTIVO	Mínima	89	17.80
IMPRODUCTIVO	Baja	218	87.20
IMPRODUCTIVO	Media	787	472.20
IMPRODUCTIVO	Alta	18	14.40
LABOR	Mínima	197	39.40
LABOR	Baja	531	212.40
LABOR	Media	492	295.20
MATORRAL	Mínima	663	132.60
MATORRAL	Baja	1144	457.60
MATORRAL	Media	965	579.00
MATORRAL	Alta	4	3.20
MATORRAL-	Mínima	20	4.00
MATORRAL-	Baja	58	23.20
MATORRAL-	Media	53	31.80
PASTIZAL	Mínima	29	5.80
PASTIZAL	Baja	8	3.20
PLÁTANO	Mínima	299	59.80
PLÁTANO	Baja	166	66.40
PLÁTANO	Media	212	127.20
REGADÍO	Mínima	115	23.00
REGADÍO	Baja	146	58.40
REGADÍO	Media	206	123.60
REGADÍO	Alta	26	20.80



**Figura 5-11** Mapa de riesgos específicos para la simulación de coladas, expresado en redes afectadas, pérdidas de usos de suelos y población afectada.

#### b) Estimación del riesgo potencial para depósitos de caída.

Siguiendo las pautas marcadas por el ejemplo anterior, se ha aplicado el modelo de dispersión de piroclastos desarrollado por el *proyecto Teide* para un caso concreto (Figs. 5-12 a 5-15). Para la obtención de valores de pérdida por depósito de piroclastos se ha tenido en cuenta la vulnerabilidad de los distintos elementos bajo riesgo en función del espesor del depósito. La tabla 6 lista, como su equivalente en el caso de coladas, los términos municipales afectados por el depósito, junto a la superficie y porcentaje afectados.

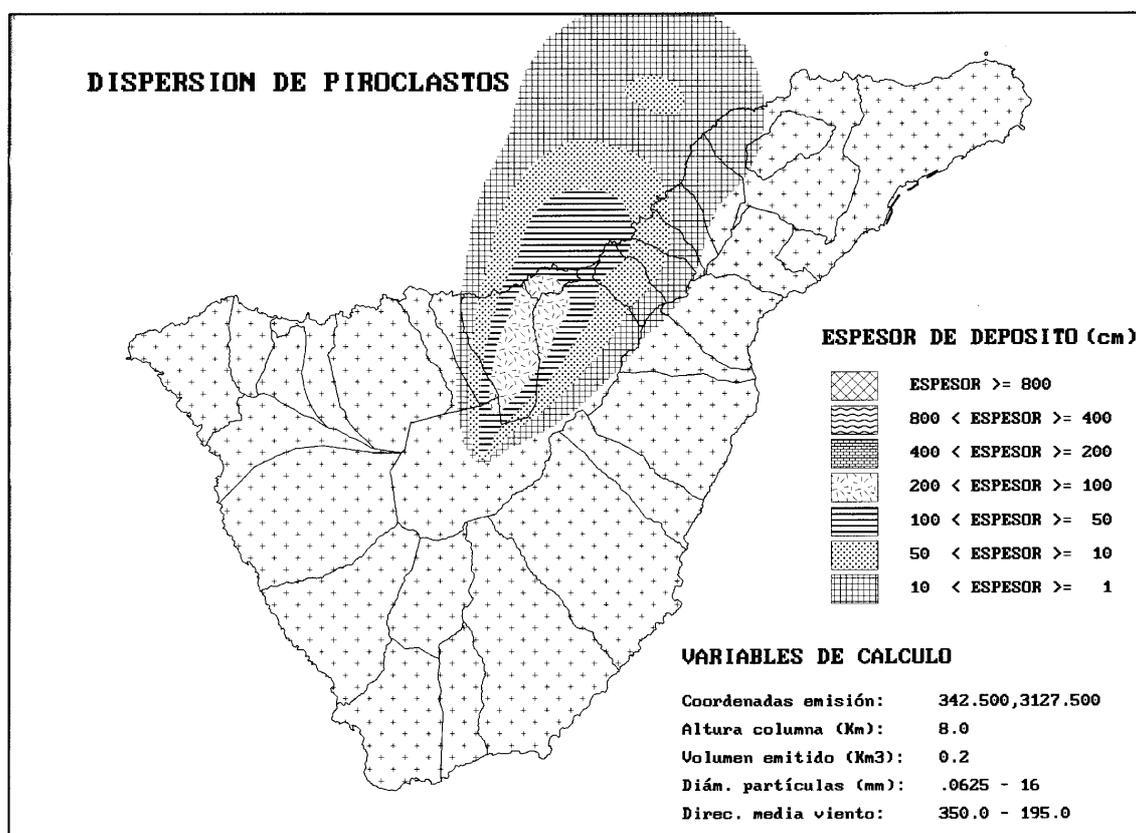
En la tabla 7 se indica el número de kilómetros afectados para cada carretera en función del espesor de piroclastos. La evaluación de pérdidas no se ha llevado a cabo en este caso por carecer de información suficiente sobre el efecto del depósito de grandes espesores de piroclastos sobre las vías de comunicación.

Para la tabla 8, la pérdida de construcciones se ha evaluado considerando los datos disponibles de vulnerabilidad frente al colapso de edificios bajo el peso de los piroclastos. Las pérdidas de vidas humanas se calculan teniendo en cuenta el valor de vulnerabilidad

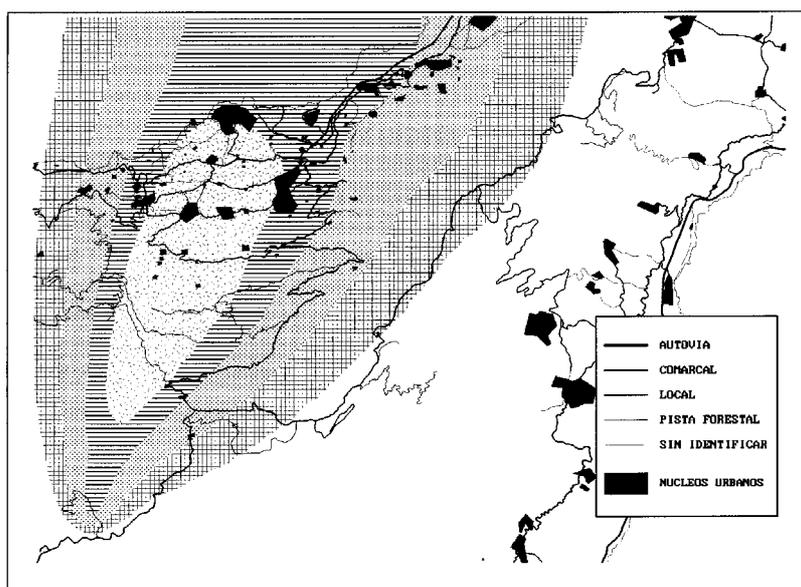
(4 %) según Scandone et al. (1993) y se han corregido teniendo en cuenta el espesor de piroclastos.

Para los usos de suelo (Tabla 9), la estimación de pérdidas se ha realizado considerando la vulnerabilidad de cada uso a los distintos espesores de piroclastos.

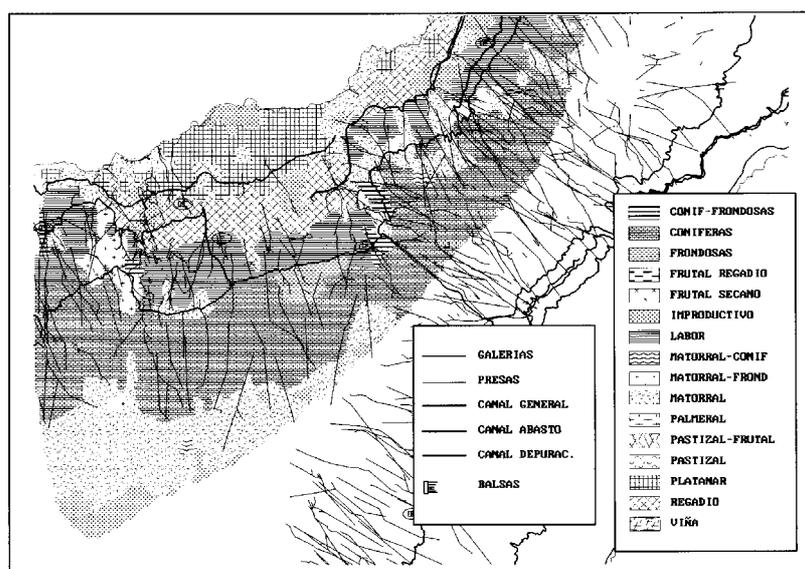
Para obtener una evaluación precisa, habría que aplicar sin embargo un coeficiente de estacionalidad que tuviese en cuenta, la época del año, estado de desarrollo de los cultivos, precipitaciones, etcétera.



**Figura 5-12** Localización geográfica de las áreas con probabilidad de ser afectadas por la caída de piroclastos de acuerdo con los resultados de la simulación.



**Figura 5-13** Vías de comunicación y núcleos urbanos potencialmente afectados por la caída de piroclastos.



**Figura 5-14** Usos de suelo y canales de distribución de agua en las áreas potencialmente afectadas.

**Tabla 6. Términos Municipales afectados por la simulación de dispersión.**

MUNICIPIO	ESPESOR (cm)	SUP. AFECTADA	%
ARAFO	1 - 10	365	10.81
CANDELARIA	1 - 10	147	2.94
GUANCHA (LA)	1 - 10	309	12.97

GUANCHA (LA)	10 - 50	102	4.28
GUANCHA (LA)	50 - 100	2	0.08
LAGUNA (LA)	1 - 10	1937	18.83
MATANZA DE	1 - 10	511	36.26
MATANZA DE	10 - 50	808	57.34
MATANZA DE	50 - 100	10	0.70
OROTAVA (LA)	1 - 10	3387	16.31
OROTAVA (LA)	10 - 50	3441	16.57
OROTAVA (LA)	50 - 100	2538	12.22
OROTAVA (LA)	100 - 200	1378	6.64
PUERTO DE LA CRUZ	50 - 100	344	40.14
PUERTO DE LA CRUZ	100 - 200	522	60.91
REALEJOS (LOS)	1 - 10	504	8.87
REALEJOS (LOS)	10 - 50	1115	19.61
REALEJOS (LOS)	50 - 100	1330	23.39
REALEJOS (LOS)	100 - 200	2742	48.24
S. JUAN DE LA	1 - 10	506	24.41
S. JUAN DE LA	10 - 50	390	18.81
S. JUAN DE LA	50 - 100	186	8.97
S. JUAN DE LA	100 - 200	73	3.52
SANTA URSULA	1 - 10	551	24.39
SANTA URSULA	10 - 50	1229	54.40
SANTA URSULA	50 - 100	493	21.82
SAUZAL	1 - 10	1311	71.33
SAUZAL	10 - 50	273	14.85
TACORONTE	1 - 10	2081	68.61
TEGUESTE	1 - 10	217	8.19
VICTORIA DE	1 - 10	980	54.02
VICTORIA DE	10 - 50	692	38.14
VICTORIA DE	50 - 100	128	7.05

**Tabla 7. Vías de comunicación afectadas por la dispersión de piroclastos.**

Carretera	Espesor (cm)	km Afect.	Carretera	Espesor (cm)	km Afect.
C-820	1 - 10	9.10	TF-123	10 - 50	0.90
C-820	10 - 50	7.70	TF-123	50 - 100	1.10

C-820	50 - 100	10.20	TF-131	50 - 100	6.90
C-820	100 - 200	5.80	TF-132	50 - 100	0.10
C-821	1 - 10	3.70	TF-132	100 - 200	2.70
C-821	10 - 50	20.30	TF-1324	50 - 100	2.50
C-821	50 - 100	16.20	TF-211	50 - 100	0.90
C-821	100 - 200	0.10	TF-2111	50 - 100	0.80
C-824	1 - 10	17.80	TF-2111	100 - 200	3.60
C-824	50 - 100	1.6	TF-2115	50 - 100	2.30
PISTA	1 - 10	12.40	TF-2115	100 - 200	8.30
PISTA	10 - 50	22.60	TF-212	50 - 100	2.10
PISTA	50 - 100	16.70	TF-212	100 - 200	6.60
PISTA	100 - 200	21.10	TF-213	50 - 100	0.20
SIN ID.	1 - 10	19.50	TF-213	100 - 200	3.70
SIN ID.	10 - 50	16.40	TF-214	50 - 100	0.90
SIN ID.	50 - 100	13.00	TF-221	1 - 10	3.20
SIN ID.	100 - 200	11.70	TF-221	10 - 50	2.70
TF-121	1 - 10	2.30	TF-221	50 - 100	3.50
TF-1213	1 - 10	0.90	TF-221	100 - 200	0.10
TF-1214	1 - 10	5.80	TF-3117	1 - 10	0.70
TF-122	1 - 10	10.90	TF-3118	1 - 10	3.30
TF-1221	1 - 10	5.60	TF-4133	1 - 10	1.90
TF-1222	1 - 10	2.00	TF-5	1 - 10	6.10
TF-1223	1 - 10	2.20	TF-5	10 - 50	4.30
TF-1224	1 - 10	3.80	TF-5	50 - 100	5.40

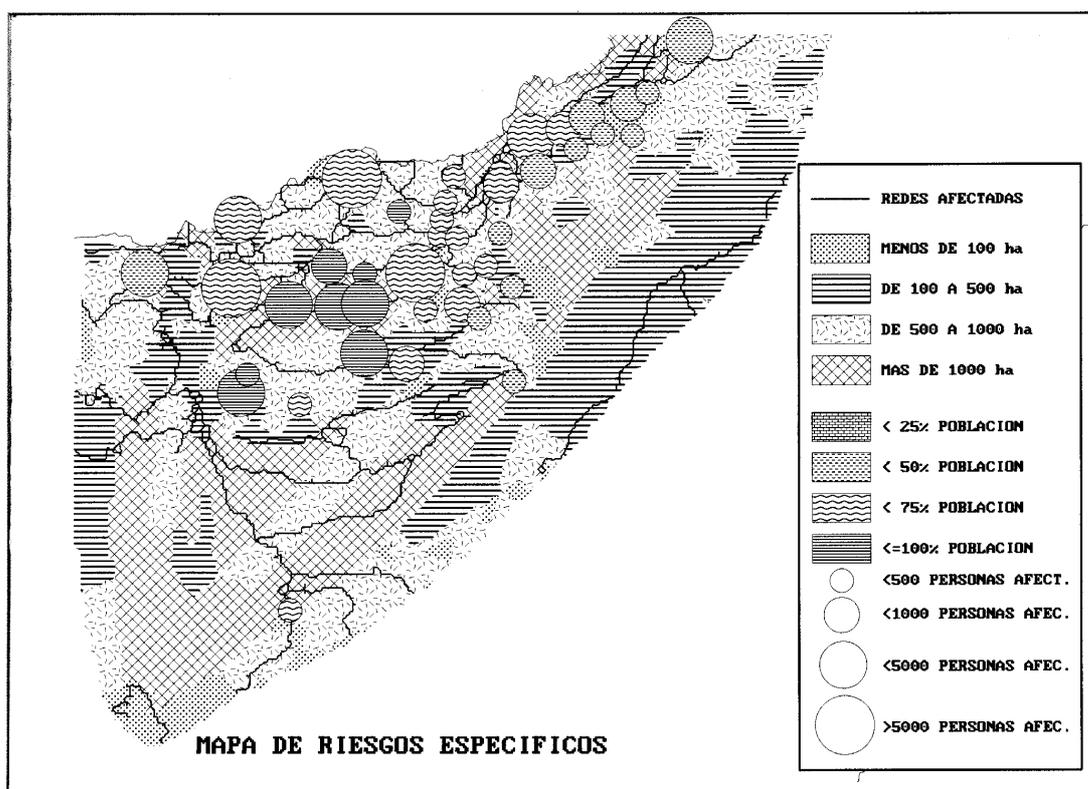
Tabla 8. Pérdidas en construcciones y población afectada

Poblacion	Espesor	% Superficie	Pérdida Potencial	Poblacion	% Poblacion
ADELANTADO	1-10	100	111	128	20
AGUA_GARCIA	1-10	100	91	488	20
AGUAMANSA	10-50	100	750	449	40
ARENAS_(LAS)	100-200	100	8000	SIN_DATO	0
AZADILLA_(LA)	10-50	100	3000	SIN_DATO	0
BAJOS_Y_TAGORO	10-50	75	281	664	30
BAJOS_Y_TAGORO	50-100	25	156	332	15
BEBEDERO_(EL)	10-50	100	3000	368	40
BENIJOS	100-200	100	1333	1057	80
BREZAL	100-200	100	8000	SIN_DATO	0
CAMINO_DE_CHAS	50-100	100	5000	568	60
CAMPO_DE_GOLF	1-10	100	500	58	20
CANDIA_(LA)	100-200	100	8000	399	80
CANTILLO_(EL)	50-100	100	5000	69	60
CARIDAD_(LA)	1-10	100	333	232	20
CARRERA_(LA)	100-200	100	2000	SIN_DATO	0
CASAS_ALTAS_(LA)	1-10	100	500	129	20
CAÑADAS_DEL_TEI	10-50	100	1000	1	50
CIUDAD_DEL_WAQ	1-10	100	71	SIN_DATO	0
CORUJERA_(LA)	10-50	100	429	875	40
CRUZ_DE_PERERA_	10-50	100	3000	SIN_DATO	0
CRUZ_SANTA	100-200	100	178	2316	80
CUESTA_(LA)	1-10	100	1000	SIN_DATO	0
CUESTA_DE_LA_VI	50-100	100	5000	894	60
DEHESA_ALTA_(LA)	50-100	100	1667	492	60
DEHESA_BAJA_(LA)	50-100	100	2500	81	60
DURAZNO_(EL)	50-100	100	5000	SIN_DATO	0
DURAZNO_(EL)	100-200	100	8000	162	80
FARROBILLO	10-50	100	375	337	40
FLORIDA_(LA)	50-100	100	5000	215	60
FRONTONES_(LOS)	50-100	100	1250	375	60
FUENTE_DEL_BAR	1-10	100	250	SIN_DATO	0
FUENTE_DEL_TAN	10-50	100	3000	SIN_DATO	0
GOMEZ_(LOS)	10-50	100	1000	261	40
GUAMASA	1-10	100	83	577	20
GUAYONJE	1-10	100	167	140	20
HACIENDA_PERDID	50-100	100	1667	745	60
HOYA_DE_FARRAI	100-200	100	8000	2	67
HOYA_DE_PABLO	100-200	100	4000	56	80
ICOD_EL_ALTO	1-10	31	24	220	6
ICOD_EL_ALTO	10-50	69	160	991	28
JUAN_FERNANDEZ	1-10	100	143	32	20

LLANADAS_(LAS)	100-200	100	4000	2096	80
LOMO_COLORADO	1-10	100	200	190	20
LONGUERA_(LA)	50-100	100	2500	2474	60
LUZ_(LA)	100-200	100	4000	620	80
MARZAGA_(LA)	50-100	100	5000	196	60
MATANZA_ACENT	10-50	100	46	2012	40
MESA_DEL_MAR	1-10	100	333	76	20
MOLINA	1-10	100	500	SIN_DATO	0
MONTAÑETA_(LA)	1-10	100	333	SIN_DATO	0
NARANJEROS_(LOS)	1-10	100	27	116	20
OROTAVA_(LA)	50-100	69	27	5852	41
OROTAVA_(LA)	100-200	31	20	3498	25
PALO_BLANCO	100-200	100	2000	SIN_DATO	0
PERDOMA_(LA)	100-200	100	308	3098	80
PINOLERIS	10-50	100	1000	222	40
PLACERES_(LOS)	100-200	100	2000	SIN_DATO	0
PRIS_(EL)	1-10	100	500	28	20
PTO_DE_LA_CRUZ	50-100	52	19	7976	31
PTO_DE_LA_CRUZ	100-200	48	29	9723	38
PTO_DE_LA_MADE	1-10	100	111	32	20
PTO_DE_LA_RAMB	50-100	100	5000	SIN_DATO	0
PUNTA_BRAVA	50-100	100	1667	SIN_DATO	0
QUINTOS_(LOS)	10-50	100	750	SIN_DATO	0
RAMBLA_(LA)	1-10	100	1000	SIN_DATO	0
RAVELO	1-10	100	143	660	20
REALEJO_ALTO	50-100	100	185	7608	60
RECHAZOS_(LOS)	50-100	100	2500	130	60
RESBALA_(LA)	10-50	100	3000	336	40
RINCON_(EL)	50-100	100	172	147	60
SAN_AGUSTIN	50-100	100	1000	SIN_DATO	0
SAN_ANTONIO	100-200	100	4000	2002	80
SAN_BENITO	50-100	100	833	SIN_DATO	0
SAN_VICENTE	10-50	100	750	SIN_DATO	0
SANTA_URSULA	50-100	100	227	1237	60
SAUCE_(EL)	50-100	100	2500	198	60
SAUZAL	1-10	100	32	592	20
TACORONTE	1-10	100	12	845	20
TEJINA	1-10	100	24	1148	20
TIGAIGA	10-50	100	1500	SIN_DATO	0
TOSCA_DE_ANA_M	10-50	100	273	214	40
VALLE_DE_GUERR	1-10	100	67	991	20
VERA_(LA)	50-100	100	625	740	60
VERA_(LA)	100-200	100	800	SIN_DATO	0
VERA-CARRIL_(LA)	10-50	100	500	372	40
VICTORIA_ACENTE	10-50	100	73	761	40
VINATICO_(EL)	100-200	100	2000	SIN DATO	0

**Tabla 9. Usos del suelo afectados por la dispersión de piroclastos.**

Uso del Suelo	Espesor (cm)	Sup. Afectada (ha)	Eval. Perdidas (ha)
CONÍFERAS	1 - 10	4022	402.20
CONÍFERAS	10 - 50	2114	1057.00
CONÍFERAS	50 - 100	1144	915.20
CONÍFERAS	100 - 200	1080	1080
CONÍFERAS-	1 - 10	83	8.30
CONÍFERAS-	10 - 50	162	81.00
CONÍFERAS-	50 - 100	9	7.20
CONÍFERAS-	100 - 200	40	40.00
FRONDOSAS	10 - 50	259	129.50
FRONDOSAS	50 - 100	39	31.20
FRUTALES SECANO	1 - 10	20	12.00
FRUTALES SECANO	10 - 50	305	244
IMPRODUCTIVO	1 - 10	932	0
IMPRODUCTIVO	10 - 50	489	0
IMPRODUCTIVO	50 - 100	451	0
IMPRODUCTIVO	100 - 200	124	0
LABOR	1 - 10	2713	542.60
LABOR	10 - 50	1609	643.60
LABOR	50 - 100	459	436.05
LABOR	100 - 200	918	918.00
MATORRAL	1 - 10	3352	502.80
MATORRAL	10 - 50	2269	1361.40
MATORRAL	50 - 100	1217	438.00
MATORRAL	100 - 200	438	438.00
MATORRAL-	1 - 10	22	3.30
MATORRAL-	10 - 50	50	30.00
MATORRAL-	10 - 50	209	125.40
MATORRAL-	50 - 100	213	191.70
MATORRAL-	100 - 200	143	143.00
PASTIZAL	1 - 10	55	38.50
PASTIZAL	10 - 50	13	11.70
PLÁTANO	1 - 10	609	182.70
PLÁTANO	10 - 50	183	183.00
PLÁTANO	50 - 100	752	752.00
PLÁTANO	100 - 200	972	972.00
REGADÍO	1 - 10	1049	262.25
REGADÍO	10 - 50	418	334.40
REGADÍO	50 - 100	820	820.00
REGADÍO	100 - 200	1000	1000.00



**Figura 5-15** Mapa de riesgos específicos para la simulación de caída de piroclastos, expresado en redes afectadas, pérdida de usos de suelo y población afectada.

## 5.2. APLICACIONES EN PROTECCIÓN CIVIL

Como se ha podido observar en los apartados anteriores, mediante la utilización de modelos matemáticos y metodologías de trabajo GIS es posible obtener los elementos bajo riesgo para cada escenario seleccionado, así como la estimación de pérdidas. Sin embargo, la estimación del riesgo potencial no está completa si no se considera un "coeficiente de corrección" que introduzca la probabilidad de que se presente cada mecanismo y de los fenómenos relacionados. Esta información (al menos a nivel cualitativo) se puede adquirir mediante la obtención de estadísticas que asocien los eventos conocidos a cada uno de estos parámetros. De igual forma, el "coeficiente de estacionalidad" resulta fundamental en el cálculo del riesgo, siendo necesario tener en cuenta factores como los meteorológicos, la afluencia y distribución del turismo, el momento del día en que se produce el fenómeno, la época del año, etc.

El desarrollo para obtener los datos representados en las tablas y las representaciones gráficas es complejo y ni éste ni el manejo de un GIS o la metodología tiene por qué ser

**conocido por las personas encargadas de la gestión del riesgo por parte de Protección Civil. La forma de hacer esta información accesible es mediante el diseño de aplicaciones informáticas que faciliten el manejo y gestionen las bases de datos y las operaciones, accediendo el usuario a ellas mediante sistemas de menús. En este diseño, su colaboración y participación resulta imprescindible, no sólo porque pueden proporcionar datos valiosos para la evaluación sino porque, principalmente en lo que respecta al formato de las salidas, el sistema debe cumplir los estándares que usualmente se utilicen.**

**La posibilidad de trabajar en el entorno Pc, para el que diversos GIS existentes en el mercado están preparados, supone una ayuda importante, al no necesitar de instalaciones complejas o costosas que pueden hacer difícil la implementación de estos métodos. En el desarrollo que se ha presentado, aún quedan elementos por afinar y corregir. Muchos de ellos se podrán mejorar al obtener información más detallada sobre los fenómenos volcánicos en la isla de Tenerife, en forma de datos empíricos y de diseño de modelos, que permitirán actualizar los resultados. Entre tanto, queda abierta una línea de trabajo que las personas que tengan que hacer un uso directo de la misma podrán valorar.**

## 6 GESTIÓN DE ALERTAS EN UNA CRISIS VOLCÁNICA

R. Ortiz y V. Araña

El objetivo de un sistema de alerta es comunicar a la población la posibilidad inmediata de sufrir los efectos de un desastre, con el fin de reducir el número de muertes, heridos y pérdidas materiales. Cada situación es única y no se puede ofrecer el mismo conjunto de medidas para la reducción de riesgos en todos los casos. El período de aviso previo, los términos de predicción, la densidad de población, los costes económicos, las limitaciones legales y la credibilidad otorgada al pronóstico, afectarán las posibilidades de actuar. La difusión pública de la alerta es uno de los pasos importantes a realizar en el curso de una crisis volcánica. Muchos responsables políticos se abstienen de decretar una alerta por temor a crear una situación de pánico o desencadenar importantes pérdidas económicas (Cardona, 1995). Sin embargo, las autoridades competentes siempre están obligados a publicar inmediatamente las alertas, una demora sólo servirá para disminuir la confianza del público en los responsables de la crisis, que es fundamental en la preparación del desastre. Variaciones en la naturaleza y contenido del mensaje de alerta pueden tener un gran impacto en la atención del público a la alerta. Entre los factores a tener en cuenta están la fuente de la alerta, el canal de difusión empleado, la credibilidad, precisión y entendimiento del mensaje y finalmente la frecuencia con que se suceden las alertas. Las características de la población receptora del mensaje de alerta influyen en la respuesta que esta población va a dar ante la situación anunciada.

Tabla 1 Características del receptor de la alerta (Mileti, 1995)

ATRIBUTOS AMBIENTALES	Vías (físicas, sociales)
	Proximidad (distancia, tiempo)
	Redes (familiares y comunidades)
ATRIBUTOS SOCIALES	Recursos (físicos, sociales, económicos)
	Culturales (étnicos, idioma, religiosos, etc)
	Actividad (durmiendo, trabajando, ocio)
	Conocimiento (peligro, autoprotección, planes)
ATRIBUTOS PSICOLÓGICOS	Actitud (fatalismo, stress)
	Experiencia (tipo, reciente)
ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS	Discapacidad

## 6.1. SISTEMA DE ALERTA

Ningún sistema de vigilancia o instrumentación puede considerarse un sistema de alerta propiamente dicho, si no se cuenta con una adecuada preparación de las instituciones y de la comunidad para actuar o responder correctamente ante cada nivel de alerta que se declare. Debe desarrollarse paralelamente un eficiente proceso de capacitación e información de los procedimientos de respuesta ante la emergencia. En un sistema de alerta para el caso de una crisis volcánica intervienen varios elementos (Fig. 6-1): en primer lugar encontramos el volcán que presentará una actividad variable, la cual puede ser seguida mediante un sistema de vigilancia, pero que también es observada por los habitantes de la zona. La información obtenida del volcán es procesada y analizada cuidadosamente por el equipo científico encargado del seguimiento, el cual, cuando lo considere oportuno, comunicará al organismo responsable de la protección civil el pronóstico sobre la evolución del volcán. Tengamos además en cuenta que a la estructura política de la que depende la protección civil le están llegando también rumores y otras informaciones más o menos bien intencionadas o manipuladas. La protección civil, si lo considera oportuno, publicará la alerta correspondiente, la cual será recibida por la población, que la interpretará de forma más o menos adecuada. Los rumores y conductos de información alternativos tienen también una gran importancia en la actitud de la población.

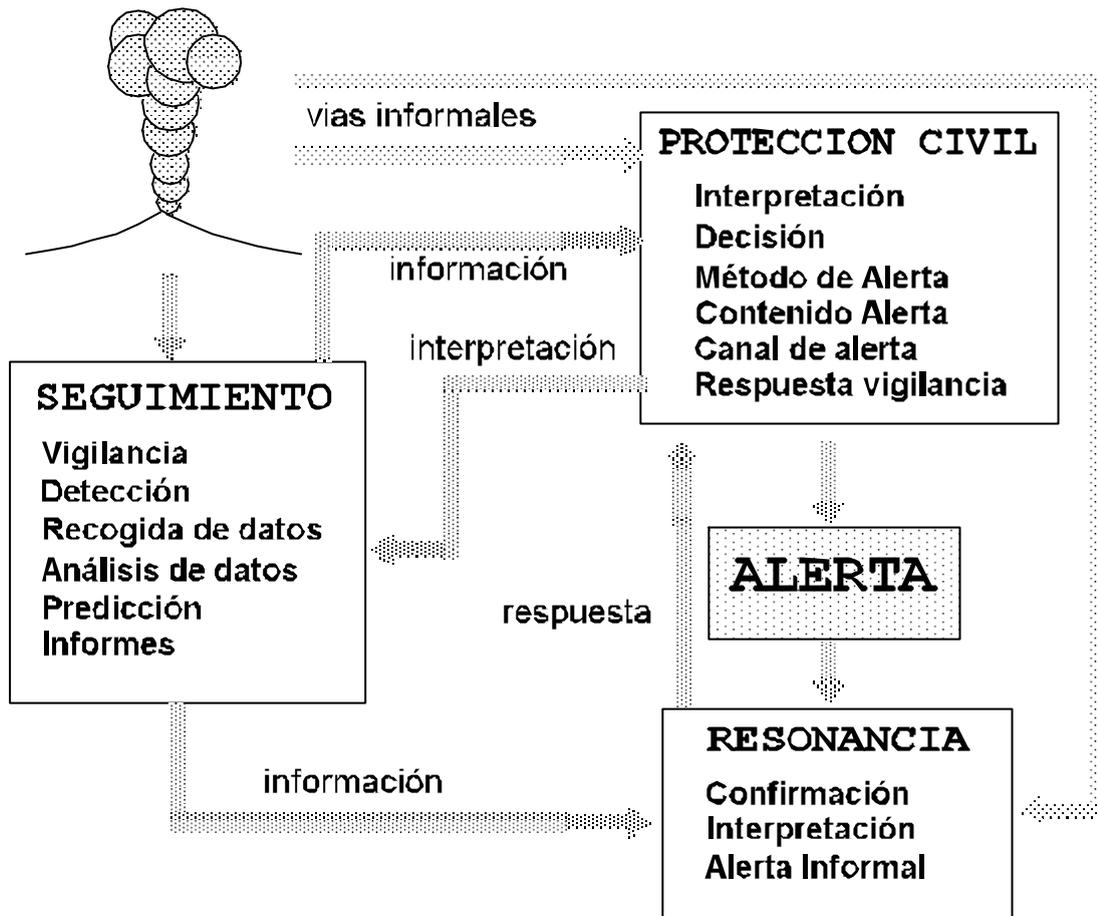
La experiencia muestra que en situación de amenaza, la mayoría de los habitantes intentarán seguir sus vidas en la forma usual. Sin embargo, puede verse seriamente afectada la base de la economía local o regional. Si la situación de alerta se prolonga un tiempo bastante largo, pronto harán su aparición recriminaciones y preocupaciones políticas. En el diseño de una alerta deberemos tener presente varias consideraciones:

Una creencia muy extendida es que la mera publicación de una alerta provoca inmediatamente una situación de histeria colectiva. Este hecho, propagado especialmente por la ficción cinematográfica, es absolutamente falso: el anuncio de una alerta no va seguido de una situación de pánico, salvo en circunstancias muy especiales (Mileti y Sorensen, 1990).

La población no busca demasiada información en los mensajes de alerta, de hecho no recuerda la información contenida en el mensaje. Los mensajes deberán repetirse frecuentemente.

Otra situación muy distinta es el síndrome "*que viene el lobo*" que se presenta frecuentemente en poblaciones que han sufrido repetidamente falsas alertas. Es necesario informar detalladamente de las razones de la ocurrencia de la falsa alerta.

La población recibe, paralelamente al mensaje de alerta oficial, otras informaciones procedentes de muy variadas fuentes.



**Figura 6-1** Elementos que intervienen en un sistema de alerta volcánica. Adaptado de Mileti y Sorensen 1990.

Un mensaje de alerta deberá contener la siguiente información:

CONTENIDO DEL MENSAJE				
Peligro	Localización	Guía de actuación	Fecha y Hora	Fuente

deberá estar redactado de acuerdo con:

REDACCIÓN MENSAJE				
Específico	Consistencia	Precisión	Certeza	Claridad

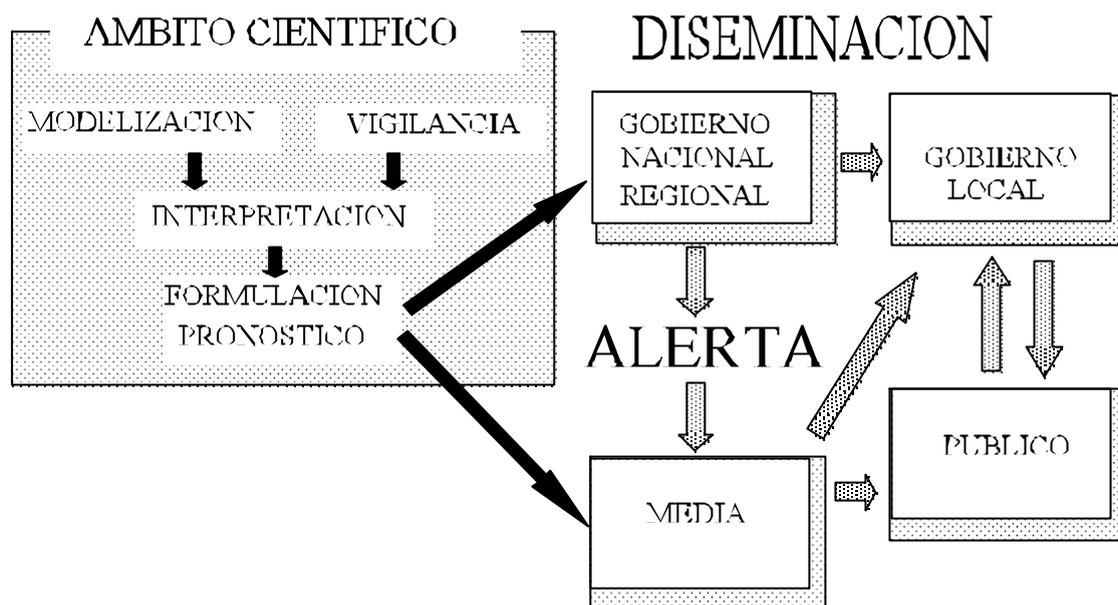
La difusión del mensaje de alerta puede hacerse por varias Vías:

DIFUSIÓN MENSAJE						
Persona a persona	Megafonía Sirenas	Radio	Televisión	Teléfono y cable	Red datos informática	Carteles

El canal óptimo varía de una situación a otra y en función del colectivo al que vaya dirigido el mensaje. En el caso de una zona volcánica los canales aptos para la difusión de los mensajes de alerta podrían ser:

GRUPO DE POBLACIÓN	Medio de difusión
PERMANENTE residencia urbana residencia rural	Medios de comunicación Red de difusión de emergencias
INSTITUCIONAL hospitales escuelas	Teléfono, correo electrónico
FLOTANTE zonas turísticas instalaciones deportivas espacios naturales	Carteles, folletos

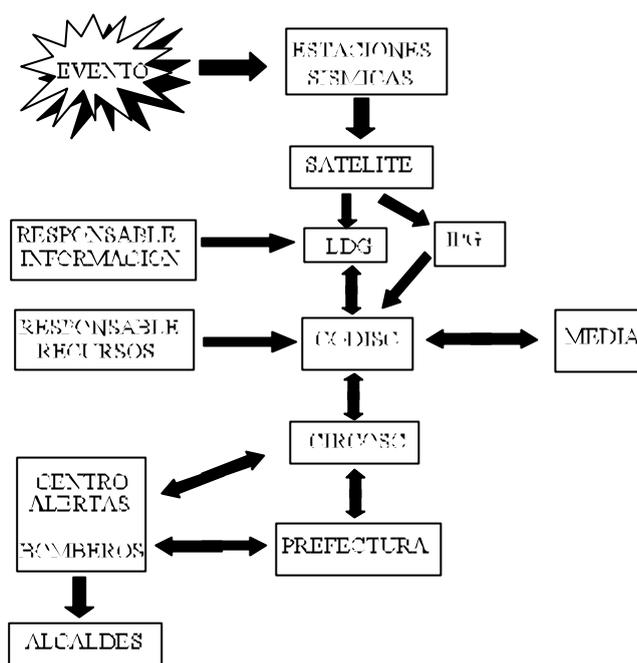
Una vez proclamada la alerta, deberá seguirse la respuesta a la misma por parte de la población afectada. Es importante que los centros de operación de las emergencias controlen el impacto de los mensajes de alerta y sugieran las oportunas modificaciones y la necesidad de repetirlos mensajes. En ocasiones, deberá dedicarse personal específico para realizar este seguimiento. En otros casos podrán utilizarse indicadores indirectos como el tráfico o el consumo de energía eléctrica o de agua. Es importante que al establecer un plan de emergencia se tenga presente la necesidad de hacer el seguimiento de los mensajes de alerta, ello conducirá a la necesidad de diseñar el adecuado sistema de monitoreo con igual importancia que el dispositivo de vigilancia del volcán. También es importante que se haga, conjuntamente entre el sector privado y el gubernamental, el seguimiento de la economía de la zona, a fin de detectar inmediatamente cualquier cambio y hacer las sugerencias adecuadas. Igualmente es necesario estudiar como los distintos mercados procesan la información de una predicción, particularmente los mercados de valores (privados y públicos), instituciones financieras, prácticas de seguros, y los problemas de financiación y mantenimiento operativo de los servicios públicos.



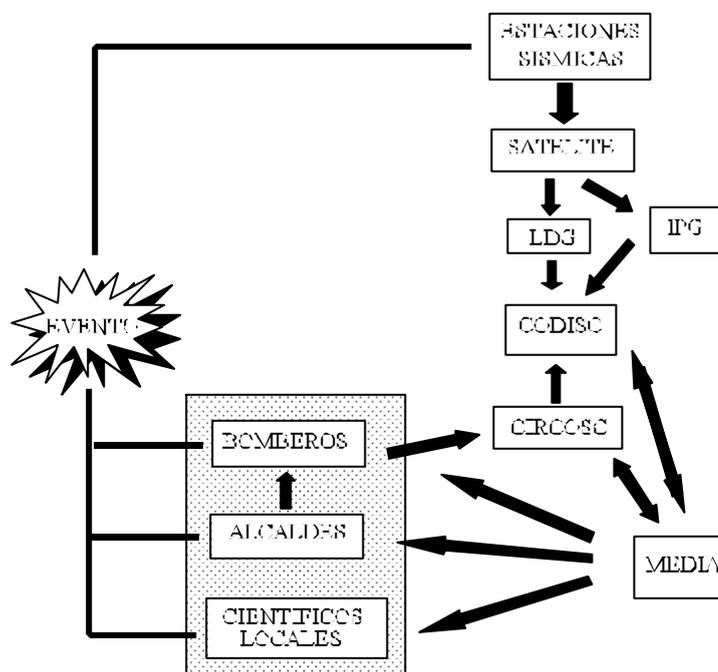
**Figura 6-2** Proclamación de una alerta en base a la información aportada por el comité científico (modificado de Nigg, 1995)

La experiencia muestra que tras la proclamación de una alerta la respuesta más común no es de pánico sino de falta de acción, especialmente ante pronósticos de largo plazo. La ausencia de señales externas en el volcán, en las que el público pueda intuir directamente el peligro, crea problemas de credibilidad (Cardona, 1995). El proceso de asimilación del mensaje de alerta por parte de la población es muy complejo (Fig. 6-5). En él intervienen los factores propios del receptor (Tabla I) y los propios del remitente en forma de contenido y redacción del mensaje. El receptor elabora toda esta información, en base a su información personal, en su credibilidad y decide una respuesta (positiva o negativa) pero que en todo caso significa que ha recibido el mensaje de alerta. Este proceso es personal, por lo que no deben sorprender comportamientos muy distintos en la población. En general, deberemos tener presente que habrá que diseñar mensajes específicos para poblaciones con características especiales (minorías que hablan otro idioma, discapacitados, turistas y marginados sociales). La educación de la población es un factor muy importante para poder esperar un comportamiento uniforme tras recibir el mensaje de alerta; es necesario desarraigar la idea de que es mejor no hablar del peligro volcánico antes de que se desencadene una crisis.

Todos los estudios realizados muestran el mejor comportamiento en la emergencia de las poblaciones que han recibido formación específica sobre el tema. En este sentido, en muchos países se está fomentando que sean las estructuras más simples de la sociedad, como es la familia, las que establezcan sus propios planes de protección civil (CENAPRED, 1994). Es importante potenciar el contacto directo con los especialistas y que los centros encargados del seguimiento de la actividad volcánica dispongan de actividades cara al público.



**Figura 6-3** Esquema de comunicaciones establecido por la Protección Civil de Francia para un terremoto en los Pirineos (AFPS, 1996).



**Figura 6-4** Flujo que siguió realmente la información del terremoto ocurrido en los Pirineos el día 18 de Enero de 1996. (AFPS, 1996)

**La participación activa de los ciudadanos y en general de las comunidades en los programas ayuda a aumentar la credibilidad en los pronósticos y predicciones. Así, en muchos países se**

integran voluntarios en el programa de seguimiento de la actividad de los volcanes, pudiendo así transformar en verdaderos observatorios escuelas, destacamentos militares o de gendarmería, situados en lugares remotos (De los Reyes, 1992).

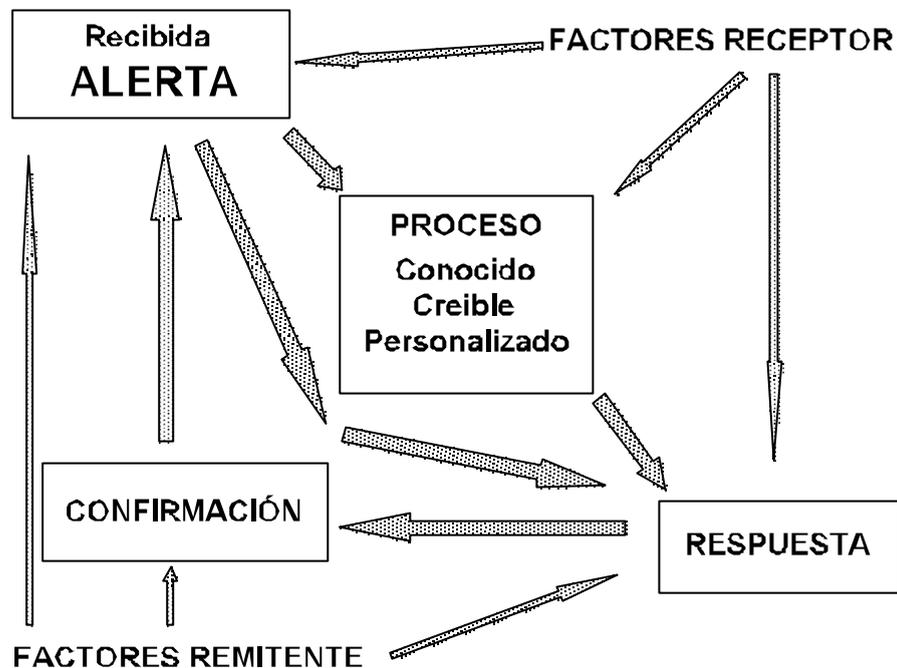


Figura 6-5 Modelo de respuesta pública a una alerta (Mileti, 1995)

Ningún sistema de alerta será absolutamente eficaz, basta recordar el caso de una víctima en la erupción del Mount St. Helens en 1980 que a pesar de los repetidos avisos de que el volcán entraría en erupción, se negó a evacuar su casa situada en la zona de destrucción total. Más grave es el caso de Bali, donde la erupción del Agung (1963) produjo más de 800 muertos debido a que por motivos religiosos la población se negó a evacuar, a pesar de los repetidos avisos recibidos sobre lo que iba a ocurrir.

Una cuestión general es si se debe tratar de mantener estática la comunidad o promover el flujo ordenado de bienes y personas ante la posibilidad de la crisis. La acción con más aceptación política es tratar de dejar las cosas como están. Cualquier otra alternativa requiere una importante ayuda financiera. Si se quiere reubicar las empresas y sus trabajadores se necesitará que una autoridad nacional o regional asuma la responsabilidad derivada de esa decisión, lo que es difícil que se consiga. En ocasiones se ha propuesto la aplicación de seguros como una manera de distribuir las pérdidas y ofrecer incentivos a través de tarifas diferenciales. Sin embargo, una vez publicado el pronóstico, las aseguradoras se mostrarán reticentes a otorgar nuevas pólizas en las posibles zonas afectadas y nadie contratará seguros fuera de dichas zonas. La evacuación de la población de algunas áreas seleccionadas y el uso de los seguros para repartir los riesgos son medidas especialmente importantes sobre las cuales no se tiene un conocimiento suficiente. (Cardona, 1995).

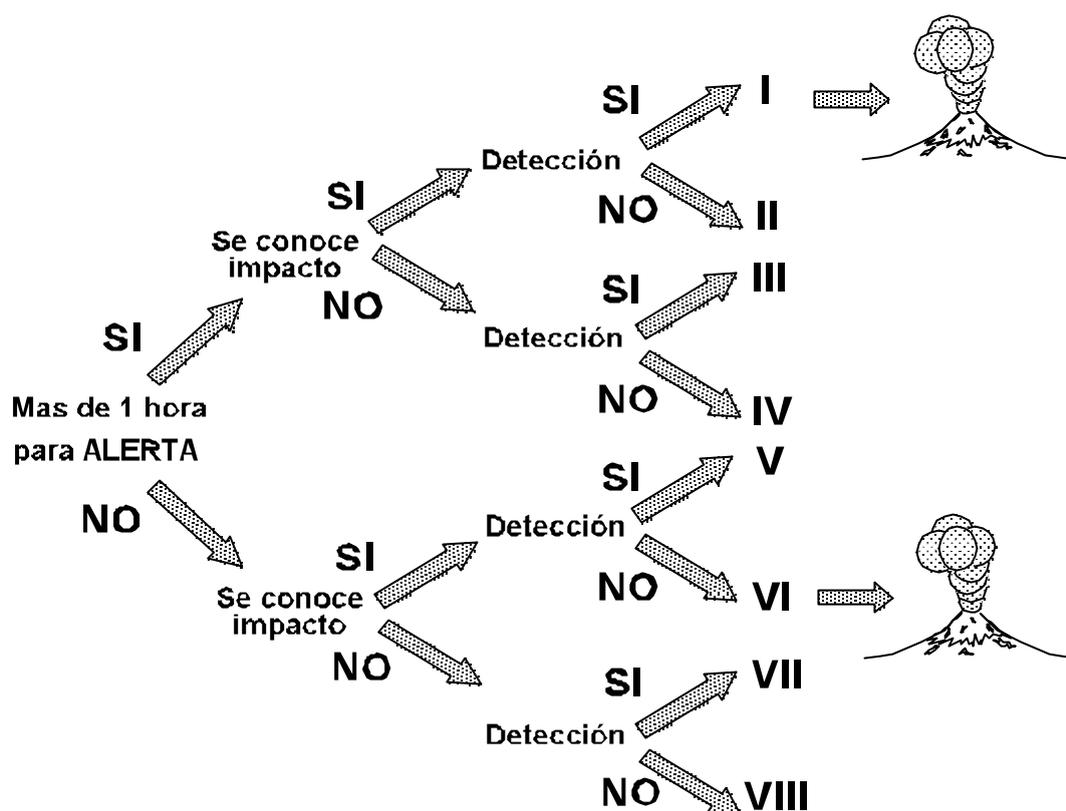
La posibilidad de una alerta anticipada, semanas o meses antes de la erupción, amplía bastante la acción protectora que se puede tomar, pero a la vez crea la posibilidad de producir efectos como desempleo, inestabilidad política, pérdida de ingresos y disminución en el valor de las propiedades a causa del pronóstico. Un programa completo de respuesta ante una predicción se compone de tres elementos: un plan que minimice la pérdida de vidas y propiedades y la inestabilidad de la comunidad al proclamarse la alerta; un plan para preparar a los organismos de atención a la emergencia con el fin de dar respuesta durante y después de la erupción y un plan para controlar las consecuencias perjudiciales del pronóstico.

### 6.1.1 Establecimiento de una alerta

El establecimiento de un sistema de alerta debe hacerse considerando el tiempo disponible antes del impacto, la posibilidad de que sus efectos puedan ser estimados antes de que se produzca y finalmente la posibilidad de predicción (Fig. 6-6). Combinado estos elementos se obtienen ocho situaciones posibles, que abarcan desde el caso más favorable (mucho tiempo de preparación, buen conocimiento del área de impacto y buena detectabilidad) hasta la situación más desfavorable (impacto repentino, sin conocimiento previo de sus efectos y sin posibilidad de detección).

La actividad volcánica capaz de provocar un desastre aparece en dos de estos niveles: en general las erupciones volcánicas dan suficiente tiempo desde que se inicia la crisis hasta que ésta culmina en una erupción catastrófica, la zona de impacto es conocida de antemano en base a la reconstrucción de la actividad pasada del volcán y finalmente en muchos casos se tiene una buena predicción. La otra situación corresponde a poco tiempo de preaviso, buen conocimiento del área de impacto y baja predictabilidad. Esta situación suele presentarse en grandes volcanes sin vigilancia alguna.

La primera situación (el volcán se reactiva mucho tiempo antes de la erupción, buen conocimiento de los efectos de la erupción esperada y disponibilidad de un buen sistema de seguimiento) permite establecer un buen plan de emergencia, consensuado entre todos los estamentos sociales y diseñando los adecuados canales de comunicación. Es posible educar a la población con suficiente antelación, de forma que su respuesta sea la adecuada. La segunda situación exige disponer de un sistema de alerta automático, como puede ser el utilizado para el caso de lahares en el volcán Usu (Japón) o en el Ruapehu (Nueva Zelanda), en el que unos simples cables situados estratégicamente en la zona alta del volcán se rompen al iniciarse la avalancha, interrumpiendo un circuito y disparando automáticamente el dispositivo de alerta (Kadomura et al., 1988).



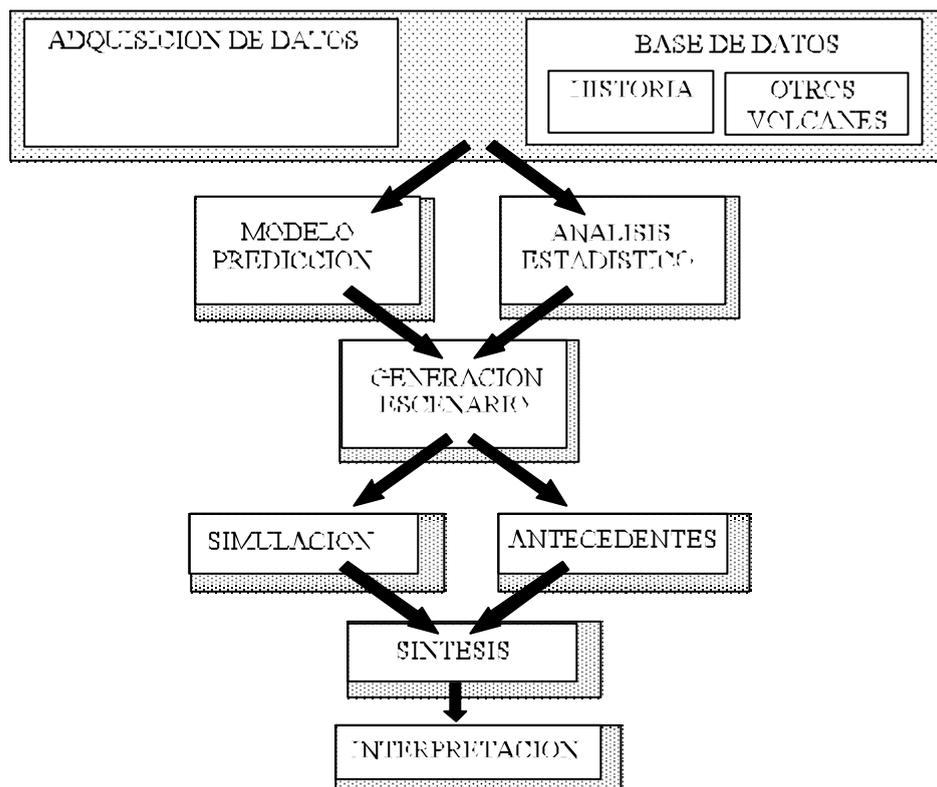
**Figura 6-6** Clasificación de los sistemas de alerta en base al tiempo disponible, el conocimiento de los daños y la posibilidad de detección del impacto. Si se parte de la base de que siempre es posible conocer el impacto de un volcán, sólo prodrán darse las situaciones I y VI, en función de que se tenga un sistema de vigilancia (I) o no (VI)

## 6.2 DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ALERTA. ORGANIZACIÓN CIENTÍFICA. COSTE Y DIFICULTADES

La vigilancia científica de un volcán tiene su razón de ser en la necesidad de comunicar con la mayor anticipación posible la reactivación del volcán y la inminencia de una erupción. Sin embargo, esta no es una cuestión fácil, pues ni todos los volcanes son iguales, ni tenemos un conocimiento suficiente (ni teórico ni experimental) de los procesos volcánicos. Así, no es posible definir un umbral para cada indicador (sismicidad, gases, deformación, etc) que al ser superado claramente indique un nuevo estado del volcán. Debemos combinar la información de todos los indicadores disponibles y evaluarla en base al conocimiento de eventos pasados y de modelos teóricos. La aplicación de sistemas expertos (Fig. 6-7) permite combinar adecuadamente ambos tipos de información e ir añadiendo al sistema nueva información a medida que esté disponible, ponderandola en base a su importancia (Costa et al., 1989, Garrote, 1995).

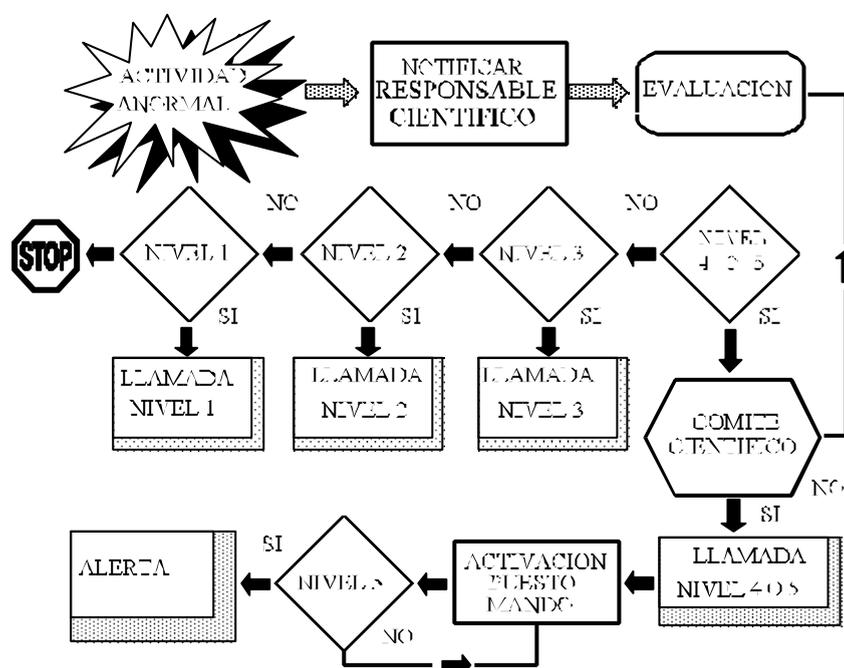
En cada momento se dispone de una ponderación de la información recibida y del

conocimiento acumulado que permite establecer un nivel de actividad del volcán. Los extremos están claramente definidos: *reposo* (Nivel 0) y *erupción* (Nivel 6). Los valores intermedios cubren desde la aparición de las primeras anomalías y con muchas dudas (Nivel 1), a la espera inmediata de una erupción cuando se presenta un importante y rápido cambio en todos los indicadores posibles (Nivel 5). El Nivel 2 correspondería a la confirmación de la presencia de anomalías en algún (algunos) indicador y los Niveles 3 y 4 a un incremento de actividad lento o rápido. En algunos volcanes se ha tratado de establecer de forma absoluta estos niveles, en general definiendo una tabla de variación para cada observable y las reglas de composición entre los niveles así definidos y el nivel global de actividad (Hill et al. 1991), sin embargo, esto sólo es posible si se cuenta con una amplia base de datos sobre el comportamiento del volcán y que este presente pautas estadísticamente identificables. En otros casos deberán evaluarse individualmente cada una de las situaciones, combinando los datos disponibles con experiencias ocurridas en otros volcanes similares.



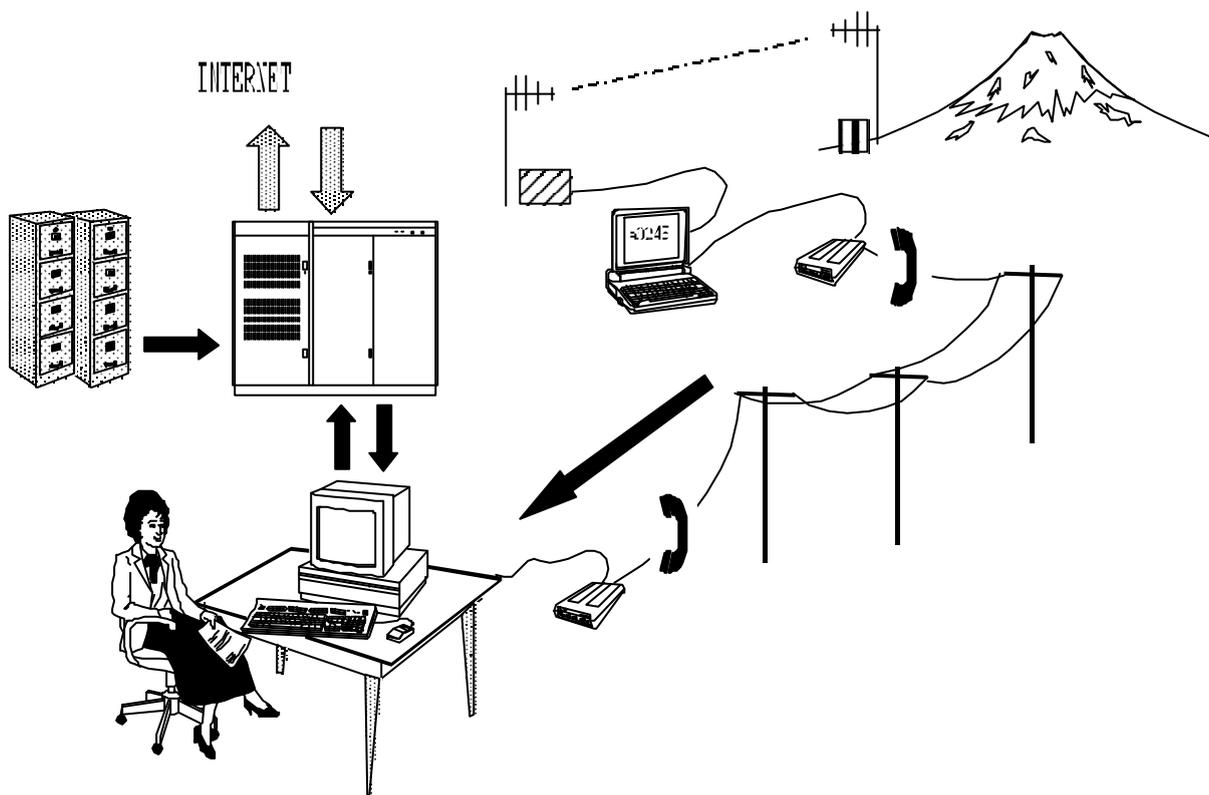
**Figura 6-7** Diagrama de flujo del análisis de la actividad volcánica para la definición del nivel de actividad.

NIVELES DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA			
Nivel	Descripción	Indicadores	Actuación
0	Nivel de base	Actividad dentro de límites estadísticamente normales	Labor de rutina
1	Atención	Qeñales anormales en algunos sensores	Comprobar la instrumentación
2	Alerta	Aumento confirmado de la actividad	Complementar la instrumentación
3	Alerta confirmada	Aumento significativo de la actividad	Intensificar los trabajos de vigilancia
4	Espera	Aceleración en el incremento de la actividad	Instalar sistemas automáticos
5	Erupción inminente	Fuerte aceleración en el incremento de la actividad	Abandonar la zona de peligro
6	Erupción		Seguimiento de la erupción
7	Post erupción		Análisis de efectos producidos



**Figura 6-8** La proclamación de los niveles altos supone asumir una grave responsabilidad por parte de los científicos que intervienen en el seguimiento del volcán. La figura muestra el árbol de decisión adoptado por el USGS para proclamar el nivel 4 o 5 de actividad durante la crisis de Long Valley (Hill et al., 1991).

La proclamación de los sucesivos niveles de alerta viene determinada por los niveles de actividad del volcán definidos por el equipo científico, que parten de considerar los valores que presentan los parámetros observables cuando el volcán se encuentra en una situación estacionaria (generalmente de reposo). El problema radica en poder definir correctamente este nivel de base para cada uno de los distintos observables, pues todos ellos presentan fluctuaciones (en ocasiones importantes) a lo largo del tiempo. El poder afirmar que la variación de un observable es estadísticamente significativa lleva un tiempo considerable y exige disponer de una amplia base de datos debidamente analizada. Unas pocas estaciones en operación continua, analizadas periódicamente permiten el seguimiento de los parámetros más rápidamente variables (o de interpretación más simple). Campañas periódicas permiten controlar los observables de variación lenta (o de difícil interpretación) o aumentar el conocimiento del volcán. Se deberá tener acceso también a toda la información disponible sobre el volcán, como son mapas, geología, petrología, etc., y, especialmente, a los datos de las erupciones pasadas, tanto directos como recuperados.



**Figura 6-9** En condiciones normales, unos pocos instrumentos situados en las proximidades del volcán, complementados con campañas periódicas de otras técnicas, son suficientes para controlar su nivel de base. Las técnicas de transmisión de datos entre ordenadores (INTERNET) permiten acceder a estos datos desde centros de investigación situados a muchos miles de km del volcán.

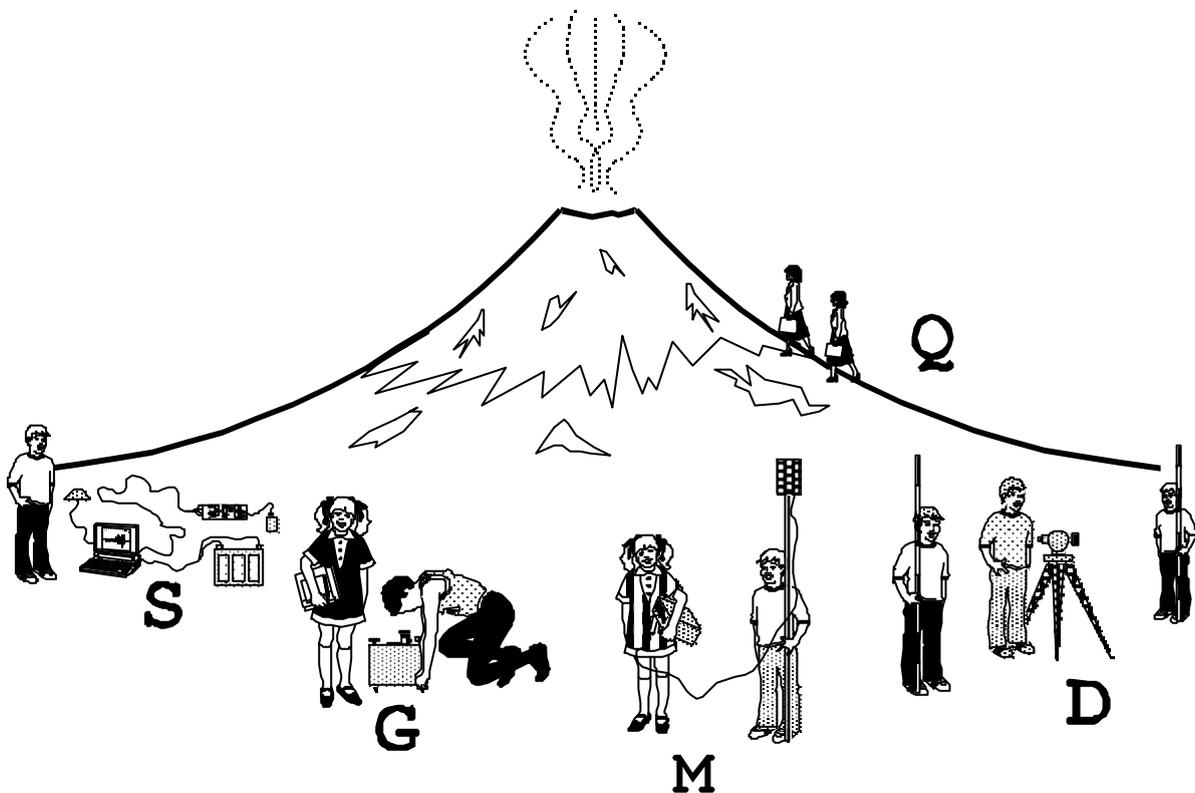
Cuando aparece una variación en uno (o varios) de los observables, lo primero que hay que verificar es que la instrumentación funciona correctamente, que no se ha introducido recientemente ninguna modificación en los instrumentos (tanto en software como en hardware), procedimientos de aplicación de la técnica y método de análisis. La implementación de nuevas técnicas debe llevarse a cabo con mucha precaución y por personal especialmente habituado al desarrollo de metodologías. Es importante verificar exhaustivamente los datos antes de pasar del nivel 0 al nivel 1. Lamentablemente, es frecuente encontrarse con excelentes instrumentos operados por personal de escasa cualificación o lo que es peor: altamente cualificados pero en una especialidad distinta a la requerida para el análisis de los datos aportados por la instrumentación moderna.

Cuando se alcanzan los niveles 2 ó 3 es importante tener presente que la actividad del volcán aumenta considerablemente. Hay que pensar en la capacidad que posee el equipo científico para procesar adecuadamente toda esta información. No todo el proceso de datos es automatizable ni esto puede hacerse en poco tiempo si no se cuenta con conocimientos adecuados en algoritmos para el análisis de señales. Por desgracia, hoy en día es frecuente encontrar soluciones informáticas para abordar casi cualquier problema práctico y muchos científicos se dejan llevar por esta moda, sin embargo no existen, ni existirán, aplicaciones informáticas comerciales para resolver los problemas que presente un volcán concreto en su próxima reactivación. Será necesario desarrollarlas paralelamente a la evolución de la crisis.

Tan importante como es la activación de los sucesivos niveles es la reposición de los niveles más bajos. En este sentido la práctica habitual es utilizar una función decreciente con el tiempo. El nivel 4, indicador claro de un incremento neto en la actividad del volcán, se mantiene mayor tiempo activado, para estar seguros de que la situación se ha estabilizado de nuevo (baja a nivel 3) o que una aceleración positiva en la actividad del volcán conduzca a un nivel 5.

REPOSICIÓN DE NIVELES (Hill et al., 1991)														
Nivel	Dias													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	5	5	5	5	5	5	>	4						
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	>	3
3	3	3	3	>	2									
2	2	2	>	1										
1	1	>	0											
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.	.	.

Una vez confirmada la validez de los datos que indican una anomalía estadísticamente significativa, debe procederse a la implementación de técnicas complementarias y a reforzar las existentes. Debe tenerse presente que la aplicación de estas técnicas deben aportar resultados en relativamente pocas horas (días). En general, se tratará de aumentar el número de estaciones sísmicas en la zona, realizar análisis de las fumarolas (si las hubiera y fuesen accesibles), repetir la gravimetría, la nivelación de precisión y reobservar la red geodésica (tradicional y GPS). Muchas de estas técnicas requieren la presencia de observadores en la zona, por ello los datos aportados deben procesarse rápidamente y, de confirmarse la reactivación del volcán, limitar el movimiento de los profesionales en las zonas de mayor peligro, especialmente cuando nos encontremos en Nivel 3 o superior.



**Figura 6-10** Cuando un volcán se reactiva es necesario realizar un cuidadoso estudio para tratar de valorar adecuadamente y lo antes posible la magnitud de la crisis. Ello requiere la participación de un elevado número de especialistas: científicos y técnicos con un complejo soporte logístico (vehículos todo terreno, helicópteros, etc). El coste de esta operación es considerable, especialmente si la crisis se prolonga demasiado tiempo. Las técnicas habituales que deben aplicarse o reforzarse son: sísmica (S), gravimetría (G), geoquímica de gases (Q), deformación (D) y geomagnetismo (M).

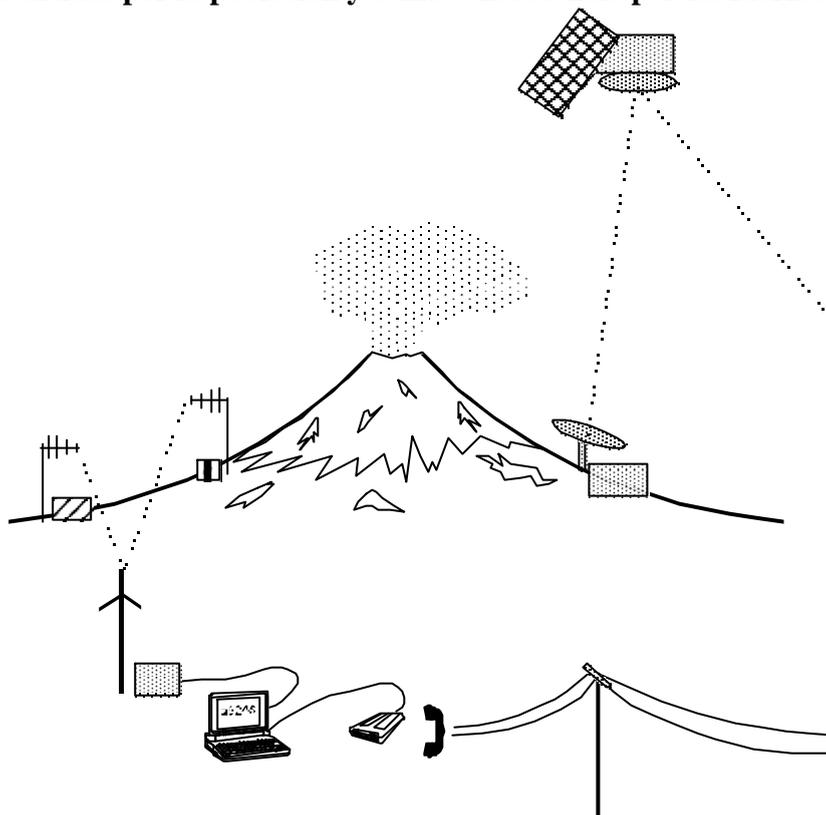
La instalación de equipos de bajo coste, con enlaces telemétricos de pocos km, permite obtener información de la evolución de la crisis sin necesidad de exponer al personal científico. Es importante que los enlaces telemétricos utilicen distintas tecnologías. Un fallo en las condiciones de enlace (no necesariamente debido a la actividad volcánica) dejaría fuera de servicio a todo el sistema. El coste diario de la operación sigue siendo muy elevado, pues los enlaces telemétricos punto a punto de alta capacidad de transmisión y seguridad son muy caros. El equipo científico debe seguir con el procesado y evaluación de toda la información recibida.

Otro aspecto destacado es la necesidad de poder procesar adecuadamente toda la información que se va acumulando. En general, los equipos científicos no están habituados a tener que tratar un gran cúmulo de datos en tiempo real y en paralelo, especialmente en zonas donde la actividad habitual es baja. Además, ocurre que no es posible disponer de personal de escasa cualificación técnica para realizar este tipo de trabajo. La adecuada organización del trabajo y el contar con un verdadero equipo de investigación volcanológica, de carácter multidisciplinar y con experiencia, es la única posibilidad de éxito. Debemos tener presente que los algoritmos de procesado de datos y la información de base requerida no se pueden improvisar en horas ni es posible adaptar rápidamente la metodología utilizada por otros grupos o en otras zonas. Igualmente, la rutina para poder procesar, adecuadamente y en muy poco tiempo, los datos recolectados por los distintos grupos y poder interpretarlos conjuntamente exige gran experiencia por parte de todos los integrantes del equipo, así como confianza en la capacidad de cada uno de los miembros del equipo para desarrollar correctamente su labor.

<b>PERSONAL REQUERIDO PARA CUBRIR EL SEGUIMIENTO DE UN VOLCÁN EN NIVEL 1, 2, 3</b>		
<b>TÉCNICA</b>	<b>OPERADORES</b>	<b>Observaciones</b>
RED SÍSMICA	3 (en turnos)	procesado continuo de la señal registrada
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

modificado de la propuesta del Observatorio Vesuviano para el ejercicio EUROPA96

Ningún equipo de volcanólogos dispone de medios para poder afrontar este despliegue en una crisis que se prolongue durante varios meses (años). El mecanismo para aportar los fondos extraordinarios requeridos para hacer frente al seguimiento de la crisis no es sencillo, pues no debemos olvidar que en el Nivel 1 de actividad no existen señales que puedan ser claramente advertidas por la población y como consecuencia por las fuerzas políticas.



**Figura 6-11** Seguimiento de la actividad de un volcán que ha superado el Nivel 3. Estaciones automáticas, enlaces radio digitales de alta velocidad y un enlace satélite de tipo continuo y alta capacidad son algunas de las tecnologías a emplear.

La definición de niveles de actividad por parte del equipo de volcanólogos que trabaja en el seguimiento del volcán permite establecer una correlación con los niveles utilizados por los organismos de protección civil. Debe siempre mantenerse la independencia de ambas escalas, pues es imposible establecer una única escala para ambos colectivos. Especialmente el nivel 1 de actividad sólo afecta al equipo científico encargado del seguimiento del volcán. Este nivel está definido para provocar un análisis crítico de los datos disponibles entre distintos especialistas y evitar que se produzcan falsas alertas. De esta forma, el nivel 1 puede activarse con relativa frecuencia sin trascendencia. La notificación a Protección Civil corresponde ya al nivel 2, una vez comprobado que la anomalía detectada es significativa. La figura 6-12 presenta la estructura de niveles adoptada por la Protección Civil italiana y su correlación con los niveles de actividad volcánica establecidos por el Observatorio Vesuviano (ejercicio EUROPA '96)



El análisis de las distintas situaciones que se han presentado en el desarrollo de las crisis volcánicas ocurridas recientemente pone de manifiesto los puntos débiles del sistema. Como ejemplo, presentamos en forma de cuadro las enseñanzas derivadas de la crisis y posterior erupción de Rabaul, ocurrida el 19 de Septiembre de 1994, con el único precursor de 27 horas de actividad sísmica local y después de más de 10 años desde que el volcán dio muestras de reactivación. La presencia de sismos sentidos y una mayor actividad fumarólica, con fuerte olor a azufre, incitó a la población a evacuar espontáneamente la tarde del día 18. A las 00:30 del día 19 se proclamó que el volcán entraría en erupción y se activó el nivel 3 del plan de emergencia volcánica (evacuación). Gracias a la existencia del plan de emergencia y de los numerosos ejercicios realizados, la evacuación pudo desarrollarse sin pánico y concluirse antes del inicio de la erupción (06:00 horas del día 19 de Septiembre).

<b>ENSEÑANZAS DE LA CRISIS DE RABAU. (Tomblin, 1995)</b>			
<b>DIFICULTADES</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>	<b>POSIBLES SOLUCIONES</b>
La alerta se dio con poco tiempo	No todo el sistema de vigilancia estaba operativo. Los equipos que funcionaban estaban obsoletos	Los científicos carecían de criterios para hacer buenas predicciones	Es necesario que todo el instrumental necesario para la vigilancia esté instalado y adecuadamente mantenido
Dudas en la definición en los niveles de alerta	Las escalas de peligro eran distintas para los científicos y para la Protección Civil.  Los científicos no pudieron anticipar la velocidad con que se desarrolló la erupción	Confusión entre la Protección Civil y los Científicos en cuanto al significado de los distintos niveles de alerta	Dialogo previo entre los distintos organismos implicados para clarificar las necesidades prácticas y las responsabilidades en caso de crisis. Identificar y eliminar las causas de dudas y retrasos.
Lentitud en el anuncio de los niveles de alerta	Fracaso de la comunicación a través de las emisoras de radio comerciales.  Fracaso en mantener a las emisoras de radio continuamente informadas	El público no fue informado puntualmente, confundido en cuanto al auténtico nivel de peligro.	Establecer un compromiso firme de mantener las emisoras comerciales operativas durante las emergencias. Suministrar información actualizada a las emisoras.

Fracaso en adaptar las experiencias pasadas y las creencias de la población en el establecimiento de criterios para proceder a evacuar	La población interpretaba la emisión de SO <sub>2</sub> y terremotos fuertes como precursores de erupción	Evacuación espontánea sin esperar la declaración oficial.	Considerar en los planes de emergencia las observaciones científicas y las creencias populares.
Escasez de transporte para la evacuación	Algunas carreteras estaban bloqueadas por la caída de cenizas y lahares.  Algunos barcos zarparon sin esperar a los evacuados  Todos los camiones y camionetas gubernamentales fueron robados y algunos no se recobraron hasta dos semanas más tarde.	Retraso en completar la evacuación	Anticipar la utilización de las carreteras que puedan ser bloqueadas por la erupción.  Necesidad en escalonar la evacuación por vía marítima en el plan de emergencia.  Proporcionar vigilancia a los vehículos gubernamentales.
¿Debería ser obligatoria la evacuación?	Es misión del gobierno encargarse de la seguridad pública.  Es necesario evitar el saqueo en las zonas evacuadas.	Mover a la gente contra su voluntad es polémico y lleva tiempo.	Debe revisarse la planificación y dar claras directrices.
Los depósitos de combustible de las estaciones se agotaron	Fracaso en el anticipo de la emergencia.	Parte del parque motorizado quedó inmovilizado.	Asegurar mayores reservas de combustible.
Un tanque fue saqueado y se perdieron 300.000 litros	Las protecciones normales contra el robo eran inadecuadas.	Grave peligro de incendio	Mejor protección y mayor vigilancia
Los radioteléfonos VHF quedaron fuera de servicio.	Baterías agotadas y radios obsoletas.	El Observatorio Volcanológico quedó incomunicado	
Escasez de personal en los hospitales y centros de emergencia	Muchas enfermeras estaban ocupadas en la pérdida de su casa y en atender a su familia	Tratamiento inadecuado de las necesidades médicas	Traer personal sanitario de otras zonas para los primeros momentos de la crisis.

No se hizo uso del centro alternativo de operaciones previsto en el Plan.	La caída de pómez de tamaño centimétrico provocó el abandono del sitio	Retraso en establecer otro centro de operaciones alternativo	Estudiar detenidamente los emplazamientos de centros alternativos.
Lentitud en la coordinación con los grupos de voluntarios y organizaciones	Interrupción del sistema de comunicaciones		
Retraso en la obtención de las listas de nombres en los centros de acogida	Al parecer no se le asignó alta prioridad a este tema.	Muchos evacuados carecían de noticias de sus parientes y amigos	Asignar esta responsabilidad y establecer un procedimiento
La gente se quedó en los centros de acogida sin nada que hacer			
Saqueo en las áreas evacuadas	Falta de seguridad		
Dudas sobre qué partes de la ciudad habría que reconstruir	Imposible saber cuando va a ocurrir la próxima erupción		Es urgente realizar un análisis costo-beneficio y tomar decisiones
Gran retraso en el comienzo de la reconstrucción-rehabilitación	Algunos de los planes sectoriales no estaban preparados (alojamiento)  Lentitud en conceder fondos y en que estos estuvieran disponibles  Dudas sobre que debe manejar estos fondos		
Colapso de los tejados	Peso de la capa de ceniza	Esta fue la mayor causa de daño en los edificios	Organizar equipos para la retirada de las cenizas
Obtener zonas para reasentamientos	No había terrenos oficiales que pudieran proporcionarse inmediatamente	Retraso en proporcionar lugares alternativos.	Establecer rápidamente políticas de emergencia adecuadas.
Directrices limitadas en el Plan de Emergencia para la post-evacuación			Estas directrices deberían incluirse en el plan general para todo tipo de desastre.

Retraso en indicar si era necesaria ayuda internacional y de qué tipo	Lentitud en evaluar las necesidades y en establecer los canales para petición ayuda		Los procedimientos deben establecerse con mayor claridad.
Dudas en las compañías aéreas para prestar servicio	Retraso en el pago de los servicios o por el daño en los aparatos		Mayor claridad en el compromiso con las compañías.

### 6.3 SEGURIDAD AÉREA Y COMUNICACIÓN DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA <sup>1</sup>

La seguridad del tráfico aéreo frente a una erupción exige evitar que los aviones vuelen dentro de zonas contaminadas por cenizas. Ello requiere un adecuado seguimiento de las nubes de ceniza, las cuales son semitransparentes y difícilmente distinguibles visualmente de las nubes normales, además no son detectables por el radar que lleva el avión. No hay manera de volar a través de una nube de ceniza sin perjudicar al avión. Evitar las nubes requiere la comunicación entre el piloto y los observadores en tierra. Los distintos colectivos involucrados son:

**Volcanólogos:** siguen la actividad del volcán, deberán alertar en caso de erupción. En caso de volcanes no vigilados, el conocimiento de la geología del volcán puede ayudar a predecir el tipo de erupción.

**Pilotos:** muchas veces la primera información sobre una erupción vendrá de un piloto que vuele cerca del volcán. Los procedimientos internacionales piden que el piloto realice un informe de la actividad volcánica usando un formulario VAR (Volcanic Ash Report form). Parte de esta información se envía por radio al centro de control de tráfico aéreo más próximo.

**Meteorólogos:** una vez la nube de cenizas se inyecta en la atmósfera, su evolución está fuertemente condicionada por los vientos. Los satélites permiten hacer el seguimiento de las nubes e incluso descubrir actividad volcánica en volcanes sin monitoreo (Kienle et al., 1990)

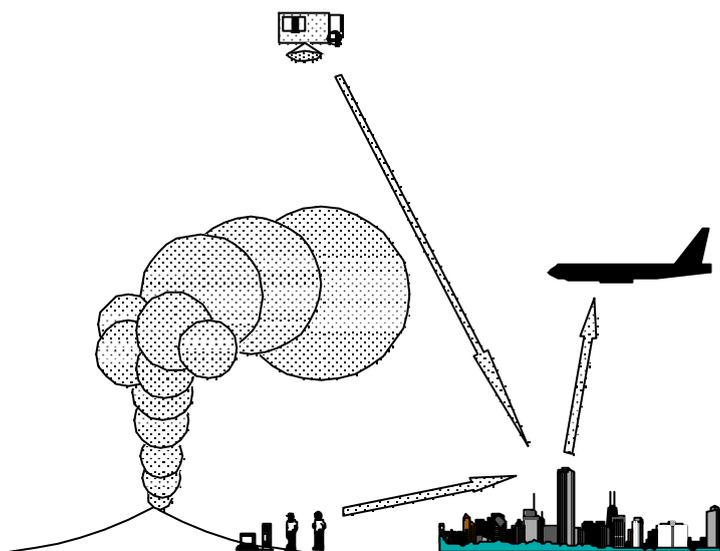
**Directores de tráfico aéreo:** responsables de la comunicación con el piloto y de proveer avisos a aviadores (Notices to Airmen) NOTAMs. Reciben información directamente de los pilotos y meteorólogos. Deben intercambiar esta información para saber que acciones apropiadas se pueden tomar.

---

<sup>1</sup> Una extensa bibliografía sobre seguridad aérea y actividad volcánica se encuentra en Casadevall 1991 y 1995.

Es importante que la información sobre la actividad volcánica circule rápidamente entre todos los grupos involucrados, si es posible en *tiempo real*, para proporcionar la información oportuna a los directores de tráfico aéreo y a los pilotos. Cada grupo debe tener un plan o formulario de notificación de emergencia por ceniza volcánica y estos procedimientos deben ser parte de la rutina operacional del grupo. La coordinación y notificación debe ser rápida y eficaz; se deben usar caminos múltiples para evitar que la pérdida de un eslabón no rompa el camino de la información.

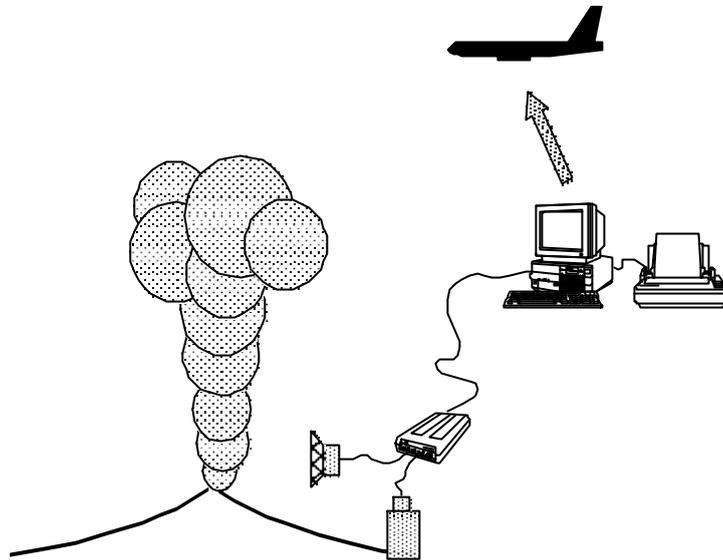
La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) ha establecido desde 1993 los procedimientos de comunicaciones para el caso de las cenizas volcánicas y que establecen las consultas entre portadores aéreos, pilotos, meteorólogos y volcanólogos. Para cada país es importante plantear la posibilidad de que su espacio aéreo esté contaminado por ceniza volcánica. Las autoridades de la aviación civil deben estar alerta para informar sobre nubes de cenizas volcánicas originadas fuera de su jurisdicción. La OACI recomienda que todos los estados miembros con amenaza de ceniza volcánica establezcan un grupo en que los especialistas de los distintos organismos se reúnan periódicamente para discutir los procedimientos relacionados con el riesgo volcánico (OACI, 1996).



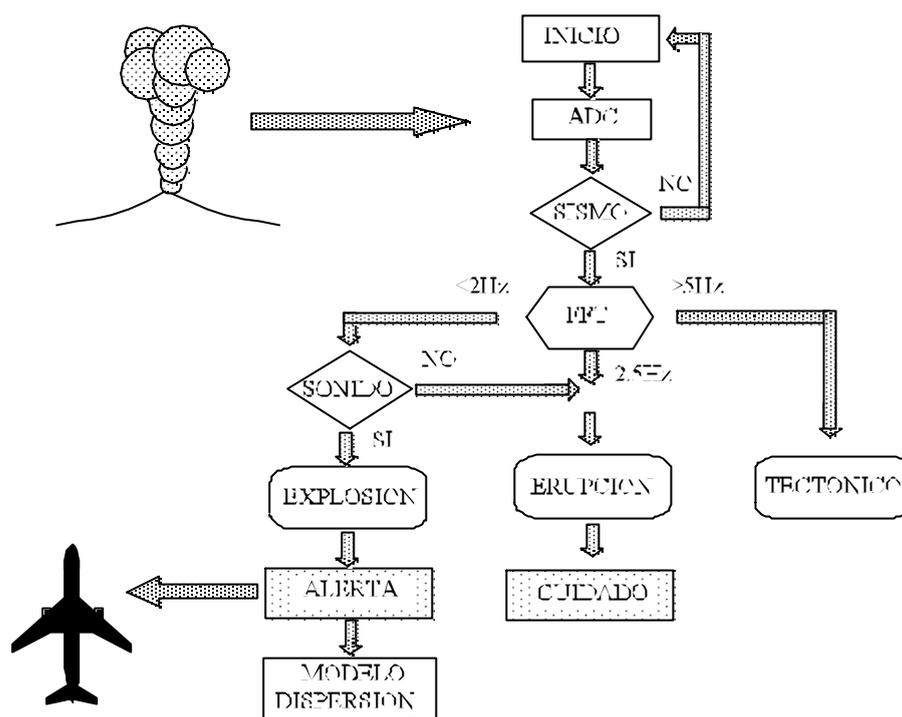
**Figura 6-13** El seguimiento de la actividad volcánica para la seguridad del tráfico aéreo implica la comunicación fluida entre los volcanólogos que siguen la evolución del volcán, los controladores de tráfico aéreo, los meteorólogos y los pilotos de los aviones. El uso de los satélites meteorológicos tiene una aplicación importante en el seguimiento de las nubes de ceniza, aunque no son capaces de distinguirlas de las nubes normales.

En los aeropuertos situados en las proximidades de un volcán que presenta actividad explosiva persistente, se han instalado equipos que proporcionan información automática de la actividad del volcán. Un sistema de geófonos y microbarógrafos detecta si se ha producido una explosión y la magnitud de la misma, enviando el mensaje de forma automática a través de las redes de comunicaciones a todas las partes afectadas (Onodera y Kamo, 1994). El

sistema, desarrollado específicamente para la actividad de un volcán en particular, es capaz de discernir el tipo de actividad que este presenta (explosiva, efusiva o exclusivamente actividad sísmica). Es importante destacar que este tipo de realizaciones es difícilmente exportable a otros volcanes (Fig. 6-14 y 6-15).



**Figura 6-14** Estación desarrollada por la JAL (Japan Air Lines) para la vigilancia automática del volcán Sakurajima a efectos de tráfico aéreo. Utiliza la correlación entre señales sísmicas y acústicas para detectar la actividad explosiva del volcán.



**Figura 6-15** Diagrama de flujo del programa de cálculo utilizado para discriminar el tipo de actividad del volcán Sakurajima. Obsérvese que a efectos de tráfico aéreo sólo interesa la actividad explosiva.

**Ejemplo del formulario que deben llevar los pilotos en su manual de vuelo para poder informar de la presencia de actividad volcánica (Volcanic Ash Reporting (VAR) form)**

Origen..... Día..... Hora (UTC).....

Compañía..... Vuelo..... Comandante..... Destino..... Día..... Hora (UTC).....

Dirección			
<b>AIRP SPECIAL</b>			
1	1 identificación avión		
	2 posición		
	3 hora		
	4 altura de vuelo		
	5 ACTIVIDAD VOLCÁNICA OBSERVADA EN	Posición	
		distancia al avión	
	6 temperatura aire		
7 viento			

	8 Información complementaria	breve descripción de la actividad, incluyendo extensión horizontal y vertical de la nube de cenizas, movimiento, velocidad de expansión, etc.
2	La siguiente información no es transmitida por RTF (Marcar la casilla adecuada)	
	9 densidad de la nube	baja( ) moderada( ) densa( )
	10 color de la nube	blanca( ) gris claro( ) gris oscuro( ) negra( )
	11 erupción	continua( ) intermitente( ) no visible( )
	12 posición de la actividad	sumital( ) lateral( ) simple( ) múltiple( ) no visible( )
	13 otros fenómenos	rayos( ) incandescente( ) grandes rocas( ) caída cenizas( ) nube en champiñón( ) nil( )
	14 efectos en el avión	comunicaciones( ) sistema navegación( ) motores( ) piloto aut( ) viento( ) ventanas( ) nil( )
	15 otros efectos	turbulencia( ) fuego S. Telmo( ) humo( ) depósito cenizas( )
	16 otra información	

**Finalmente presentamos un ejemplo de un mensaje NOTAM correspondiente al inicio de la erupción del volcán Komagatake el 5 de marzo de 1996, (Hokaido, Japón) recibido a través de la red VOLCANO**

```

RJTD A1365/1996 NOTAMN : INVALID
AFTN MESSAGE HEADING
BNA0323 052223
GG YBBYNYX
052221 RJAAYNYX
AFTN MESSAGE TEXT
A1365/96 NOTAMN
Q)RJCG/QWWXX/IV/NB/EW/038/043/4204N14041E001
A)RJTD B)9603052050 C)9603060250
E)
TOKYO FIR
VOLCANIC ACTIVITY INFO MT.HOKKAIDO KOMAGATAKE(AIP RAC9-10 R12)

```

180

R. ORTIZ y V. ARAÑA

MT.HOKKAIDO KOMAGATAKE 420339N1404051E ERUPTED AT 9603052050  
VOLCANIC ASH CLOUD TOP :4209FT  
DRIFT DIRECTION :UNKNOWN  
F)3717FT G)4209FT

RJTD A1365/1996 NOTAMN : INVALID  
AFTN MESSAG

## 7 UN CÓDIGO DE ALERTA PARA EL MANEJO DE EMERGENCIAS VOLCÁNICAS <sup>1</sup>

S. De la Cruz-Reyna

El manejo de una emergencia volcánica representa un serio reto para aquellos responsables de la salvaguarda de la población. La complejidad del problema, que involucra un fenómeno natural -como lo son las erupciones volcánicas- que se manifiesta de muy diferentes formas, en ocasiones imprevistas, y que puede afectar a un gran número de personas de muy diversas maneras. Puede, asimismo, dañar o interrumpir la intrincada red de relaciones y comunicaciones que constituyen el tejido de la sociedad, requiere un enfoque formal, que permita encarar los múltiples aspectos de ese problema de una manera funcional y eficaz.

La responsabilidad involucrada en la toma de decisiones concernientes a posibles desplazamientos de población en ciertas regiones, a no desplazar a la población de otras, o al retorno a zonas de riesgo tras una evacuación, es muy alta y requiere de un marco teórico que permita formalizar esos aspectos. En particular, el problema de la comunicación requiere un enfoque específico. El lenguaje utilizado por los especialistas en volcanología, responsables de evaluar el estado de actividad del volcán y de pronosticar las posibles formas en que ese estado evolucione, es diferente al de aquellos responsables de salvaguardar a la población, esto es al de Protección Civil. Estos lenguajes a su vez difieren y pueden ser incomprendidos o malinterpretados en distintos grados por diferentes sectores de la población en riesgo.

La necesidad de contar con un lenguaje común, que permitiera al grupo técnico-científico transmitir a Protección Civil la información sobre el estado de actividad del volcán y de los peligros que ese estado podría involucrar, de una manera breve, precisa y sin ambigüedades, y la transferencia de esa información de Protección Civil hacia la población vulnerable, añadida con la toda la información relevante a las medidas protectivas a tomar, llevó a Protección Civil de México a solicitar al Comité Técnico-Científico el diseño de un código de alerta en el cual basar el diseño de su Plan de Operaciones para el Manejo de Emergencias del Volcán Popocatepetl. Cabe aclarar que en dicho Plan se emplea para la comunicación entre el Comité Técnico-Científico y las autoridades de Protección Civil y no se utiliza para la información a la población.

Aquí se presentan en forma breve algunos conceptos básicos utilizados en el diseño del código de alerta volcánica. Tal vez, la característica más importante de este código es su organización en dos partes: Una estructura de seis niveles, del 0 al 5, que permite al grupo

---

<sup>1</sup> Este trabajo forma parte del libro editado por el CENAPRED (México): *Volcán Popocatepetl. Estudios realizados durante la crisis 1994-1995*, donde se recogen diversos aspectos de como abordar una crisis volcánica en un volcán de la importancia del Popocatepetl

técnico-científico calificar el estado de riesgo del volcán por medio de una escala relativamente fina, y comunicarlo de esta forma a las autoridades de Protección Civil. La otra estructura, de tres niveles, permite a las autoridades de Protección Civil condensar esa información y transmitirla a la población en forma clara, precisa y sin posibilidades de confusión, el estado de riesgo del volcán y las medidas protectivas que debenser adoptadas. La sencillez de esta estructura ha permitido incorporar esta escala simplificada al lenguaje cotidiano de la población en las regiones vulnerables como el Semáforo de Alerta Volcánica.

## 7.1. MARCO TEÓRICO

El *peligro volcánico* puede ser considerado como la posibilidad de que un fenómeno volcánico de carácter destructivo pueda ocurrir en algún momento del futuro mediato e inmediato. *El riesgo volcánico* es un concepto más amplio, que debe incluir además una medida de los posibles efectos adversos del fenómeno sobre regiones específicas alrededor del volcán con potencial de actividad. El riesgo volcánico puede expresarse como un nivel, medido en términos de una variable estadística  $R$ , la cual es a su vez proporcional a otras tres cantidades (Fournier d'Albe, 1979; Peterson, 1988):

La probabilidad  $P$  de que un fenómeno volcánico específico afecta una región determinada en un tiempo determinado (i.e., el peligro volcánico). El valor  $S$  de los bienes sujetos a pérdidas, como pueden ser por ejemplo, la fracción del número de vidas humanas, bienes raíces, fuentes de producción, etc. en una región determinada que se encuentran en el área de riesgo. La vulnerabilidad  $V$  de esos bienes, es decir la proporción en que pueden ser dañados los valores  $S$  si se presenta el fenómeno cuya probabilidad de ocurrencia es  $P$ . El riesgo puede ser efectivamente reducido por medio de una respuesta social o preparación  $Q$ , que involucra una serie de medidas para reducir la vulnerabilidad y el valor vulnerable, y con ello el riesgo.

El Riesgo volcánico puede entonces expresarse como

$$R = \frac{P \times V \times S}{Q}$$

Esto implica que el grado de preparación puede efectivamente reducir el riesgo por medio de una reducción de la vulnerabilidad o del valor expuesto. La reducción óptima de la vulnerabilidad en situaciones donde la reubicación de la población y otros bienes vulnerables es imposible, se logra por métodos de defensa activa que involucren un concepto de convivencia con el volcán bajo ciertas condiciones de riesgo *aceptable*. En este caso *aceptable* significa que la probabilidad de perjuicios a la población por efectos de evacuación o reubicación excede a la probabilidad de perjuicios a la misma población por efectos de cualquier manifestación volcánica. El nivel de aceptabilidad del riesgo tan sólo puede obtenerse a partir de criterios objetivos del nivel de actividad del volcán, basados en las observaciones y resultados de un dispositivo de monitoreo completo y confiable, que haya

operado por un tiempo lo suficientemente largo que permita una mayor seguridad en el reconocimiento de manifestaciones indicativas de cambios en el nivel de actividad del volcán. Preparación ante una situación de riesgo inaceptable significa entonces el diseño e implementación de una defensa activa de respuesta rápida y eficiente.

## **7.2. MECANISMOS DE DEFENSA ACTIVA PARA LA PROTECCIÓN CIVIL**

El concepto de defensa activa contra la amenaza volcánica contiene tres elementos fundamentales y un protocolo de comunicaciones entre esos elementos que se traducen en acciones específicas de salvaguarda a la población y sus bienes. Los elementos involucrados son:

- a) La población que por su ubicación se encuentra sujeta a distintas formas de amenaza volcánica, en la medida que lo determina el mapa de riesgos volcánicos.
- b) Las autoridades federales, estatales, municipales y militares, responsables de salvaguardar a la población del riesgo volcánico y coordinadas por los sistemas de Protección Civil.
- c) Los organismos responsables de observar al volcán con los dispositivos de monitoreo más avanzados que la ciencia y la tecnología, así como las posibilidades del país, permiten. Estos son - en México - el Centro Nacional de Prevención de Desastres y el Comité Técnico asesor, constituido por científicos especialistas de los Institutos de Geofísica e Ingeniería de la UNAM, así como por científicos de otros institutos, de otras universidades y de otros organismos nacionales o extranjeros cuya opinión se considere de valor en la evaluación del estado de actividad del volcán y del riesgo que ésta represente.

Un mecanismo efectivo de defensa activa para la protección civil implica la existencia de un protocolo de comunicación y actuación en el que cada una de estas componentes conoce, y está preparada para llevar a cabo una serie de acciones cuyo fin es alcanzar el mayor grado posible de salvaguarda a la población y sus bienes, esto es, una mitigación óptima del riesgo volcánico.

## **7.3. NIVELES DE ALERTA**

Las acciones sugeridas dependen de la naturaleza de la amenaza volcánica esperada o en desarrollo. El protocolo descrito da por hecho que existe la capacitación y entrenamiento necesario entre las componentes a, b y c enumeradas arriba para realizar en forma efectiva las acciones planeadas. El protocolo de acciones sugeridas se condensa en un inventario de niveles de alerta codificado por números y referido a las áreas definidas en el mapa de riesgos. El diseño de este código está basado en una combinación de normas y

**recomendaciones de organismos internacionales con la estructura de los sistemas mexicanos de Protección Civil, la naturaleza del volcán Popocatepetl y los tipos de erupción que puede producir.**

**DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE ALERTA Y ACTUACIONES DERIVADAS DE SU DESARROLLO**

Niveles de Alerta Nomenclatura para la comunicación entre PC y CT*	Fenómenos asociados	Tiempo que puede transcurrir hasta la ocurrencia del fenómeno	Posibles acciones a considerar según la información disponible	Nivel de alerta par la población y acciones recomendadas
Nivel 0	El volcán se encuentra en estado de reposo	Meses, años, siglos	Desarrollar planes de preparación, educación a la población, implementación de dispositivos de monitoreo	<b>Verde</b>  Mantenerse informado sobre el estado del volcán.
Nivel 1	Aumento anormal pero moderado de la sismicidad, de la actividad fumarólica o de la temperatura de fumarolas o manantiales, cambios en su composición	Meses o años	Aumento en los niveles de monitoreo, reuniones esporádicas o periódicas del Comité Técnico. Nivel aumentado de comunicación entre b y c. Revisión de planes operativos de emergencia. Mayor información para mantener altos niveles de concienciación	Simulacros anuales.  "Día del Volcán"

Nivel 2	Aumento significativo de los parámetros anteriores. Alguna deformación. Presencia clara de pluma o fumarolas	Semanas o meses	Reuniones frecuentes del comité técnico. Consultas diarias (o más frecuentes) entre el PC y CT*. Verificación de la disponibilidad de vehículos para evacuación, especialmente en la zona 1 del mapa de riesgos	
Nivel 3	Aumento grande de los parámetros anteriores. Inicio de alguna actividad eruptiva débil, o no magmática (freática)	Días o semanas	Anuncio público de la posible emergencia y de las medidas tomadas. Movilización de personal y equipo de evacuación. Implementación de medidas específicas en las regiones mas vulnerables (zona 1, o 1 y parte o toda la zona 2 del mapa de riesgos)	<b><i>Amarillo</i></b>  Mantenerse alerta y en contacto frecuente con la autoridad local. Escuchar frecuentemente el radio o la TV. Obedecer las instrucciones de la Autoridad Local o de Protección Civil o de las Fuerzas Armadas. Estar preparado para una posible evacuación.
Nivel 4	Aceleración en los parámetros anteriores o emisión explosiva de material juvenil	Horas o días	Evacuación de las zonas vulnerables de acuerdo con el mapa de riesgos: zona 1, toda o en parte; o zona 1 y parte de la zona 2; o zonas 1 y 2 y parte de la zona 3, dependiendo de la evolución e intensidad de la actividad	<b><i>Rojo</i></b>  Obedecer las instrucciones de las Autoridades Civiles o Militares. En caso de evacuación acarrear sólo lo indispensable. Dirigirse al albergue asignado. En caso de autoevacuación, avisar a las autoridades correspondientes

<p>Nivel 5</p>	<p>Evidencias sólidas de la presencia de cantidades importantes de magma dentro del cono volcánico, grandes deformaciones, o desarrollo de actividad eruptiva explosiva en gran escala</p>	<p>-----</p>	<p>Evacuación de las zonas 1, o de las zonas 1 y 2, o de las zonas 1, 2 y 3, según el desarrollo e intensidad de la actividad</p>	
----------------	--	--------------	---	--

PC = Protección Civil    CT = Comité Técnico

a = Población vulnerable    b = autoridades responsables    c = Organismos responsables del monitoreo volcánico

Es importante recalcar que los niveles propuestos, los fenómenos asociados, las escalas de tiempo indicadas y las acciones recomendadas no representan una fórmula precisa ni rígida, y que esta propuesta sólo representa una guía para el desarrollo de planes operativos y de criterios para la toma de decisiones por parte de las autoridades de Protección Civil. El fenómeno volcánico es muy complejo y cada situación debe ser evaluada en su contexto.

El código propuesto aquí no puede aplicarse de la misma forma en toda la región de riesgo. Es necesario especificar que mientras en algunas zonas del mapa de riesgos (Macías et al., 1995) se tiene un cierto nivel de alerta, en otras pueden mantenerse niveles diferentes. Esto se especifica en forma tentativa en la siguiente tabla:

	Áreas del Mapa de Riesgo		
Nivel de alerta	1	2	3
0	verde	verde	verde
1	verde	verde	verde
2	amarillo	verde	verde
3	amarillo	amarillo	verde
4	rojo	amarillo-rojo	amarillo
5	rojo	rojo	amarillo-rojo

La tabla anterior está basada en estimaciones preliminares de los niveles de actividad del volcán y de las regiones definidas en el mapa de riesgos. La distribución de niveles de acuerdo con la zona deberá actualizarse conforme se vayan definiendo con mayor precisión tanto los niveles de alerta como las regiones de riesgo. De hecho, Protección Civil ha generado una zonificación de las regiones de riesgo en sectores numerados que permiten un manejo más eficiente de las emergencias.

### 7.3.1. Criterios para el retorno a un nivel de alerta más bajo

Uno de los problemas más serios que conlleva una evacuación es la indeterminación y ausencia de criterios generales para definir el momento en que la población evacuada puede retornar a las zonas vulnerables sin exponerla a un riesgo significativo. Es frecuente el caso en el que la población desplazada debe permanecer en albergues por tiempo prolongado sin que la situación de riesgo del volcán se resuelva en una dirección o la otra. La toma de decisiones en tales casos debe ser sujeta a una combinación de factores sociales y propiamente volcanológicos. Si la actividad visible del volcán es moderada y no parece representar un riesgo alto, la presión social ejercida por la población para regresar a sus hogares y labores productivas puede exceder la fuerza de las recomendaciones implícitas en

**el código de alerta, basadas en las manifestaciones no visibles detectadas por los dispositivos de monitoreo. Por ejemplo, en una situación en la que se tiene una alerta roja y los niveles de actividad detectados no preceden con el tiempo, pero tampoco aumentan y la actividad visible del volcán se limita a manifestaciones poco amenazantes, la población movilizada tenderá a regresar por su cuenta a las zonas de riesgo, especialmente cuando se trata de población rural que basa su actividad económica en aspectos agrícolas y ganaderos.**

**En tales casos se pueden definir niveles de alerta intermedios de retorno que puedan dar una salida a la presión social y evitar el colapso económico de la región y sus habitantes permitiendo un retorno parcial de un ciento por ciento de la población económicamente activa bajo condiciones controladas.**

**Se sugiere entonces la definición de los niveles de alerta de retorno rojo a amarillo, en los que los varones mayores de edad y algunas mujeres mayores de edad que no sean madres de familia puedan regresar a la zona evacuada, si así lo desean, para realizar labores urgentes que eviten daños a sus bienes agrícolas y ganaderos durante las horas del día, por un período pre-establecido de exposición al riesgo, en condiciones de control estricto de registro y en vehículos que permanezcan en espera en las zonas vulnerables hasta que termine el período de exposición. Durante ese período, los operadores de los vehículos deben estar en condiciones de recibir instrucciones directas de avisar al grupo expuesto de medidas específicas de salvaguarda, como pueden ser desplazarse hacia lugares elevados, o abordar los vehículos para un retorno rápido a las zonas de seguridad.**

## 8 LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y LA MITIGACIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO

V. Araña

En la mitigación de los desastres naturales, los científicos juegan un papel importante, pero subordinado, ya que esta tarea es responsabilidad exclusiva de las autoridades de Protección Civil<sup>1</sup>. Por otra parte, en la evaluación del riesgo intervienen parámetros que no corresponde cuantificar a los científicos, al menos a los volcanólogos. En realidad, es impropio hablar del riesgo de un determinado volcán, ya que su afección hay que referirla a bienes productivos amenazados, como son los núcleos de población, determinadas actividades, infraestructuras o equipamientos, áreas de las que se extrae algún beneficio económico o cultural, etc. En cada uno de estos casos, hay parámetros económicos y sociales del riesgo que deben evaluar técnicos especializados en estos temas para que las autoridades de Protección Civil puedan planificar la reducción del riesgo volcánico, estableciendo las prioridades y requiriendo los medios oportunos en cada caso.

En lo que si tienen responsabilidad plena los científicos es en conocer y transmitir a las autoridades de Protección Civil, la peligrosidad asociada a las distintas fases de una posible crisis eruptiva en un determinado volcán. Para asumir con rigor y eficacia esta responsabilidad, debe existir un *equipo de volcanólogos* con capacidad y prestigio, así como una *investigación volcanológica* seria, que tenga como usuario final de sus resultados a las autoridades de Protección Civil.

La tranquilidad relativa y duradera en determinadas zonas volcánicas, favorece el que los científicos puedan planificar y realizar sus tareas sin la presión que supone la frecuencia e intensidad eruptiva de otras áreas volcánicas activas. Este hecho, sin embargo, no disminuye la responsabilidad del equipo científico, ya que del rigor de sus actuaciones, y de como lo transmitan a la Sociedad, dependerá en gran medida la eficacia de los planes que se elaboren para la prevención de erupciones en zonas volcánicas aparentemente "dormidas".

Es evidente que, en la secuencia de una catástrofe natural (*peligro-riesgo-amenaza-impacto-consecuencias*), el desencadenante es la peligrosidad del evento. Solo cuando el riesgo es tangible hay una clara amenaza de desastre, pero la existencia previa de un peligro es lo que realmente origina la situación pre-desastre.

En el caso del proceso eruptivo, su peligrosidad es la que -junto con su duración (semanas, meses, años)- le distingue esencialmente de otros fenómenos naturales catastróficos. En

---

<sup>1</sup>Parte de este artículo ha sido publicado en la Rev. Protección Civil (ver Araña, 1995b)

efecto, la peligrosidad volcánica, aparte de ser específica para cada erupción -y por lo tanto no generalizable- es múltiple, variada y compleja como se deduce de la simple enumeración reflejada en las Tablas del segundo capítulo de este volumen. Estos factores de peligro tienen a su vez una gradación que dependerá de parámetros muy variables o imprecisos como son los mecanismos eruptivos, la magnitud de la erupción, el tipo y volumen de magma, las características y geometría de conductos y reservorios magmáticos someros, la topografía e hidrogeología de la zona etc. Además de otros factores estándar como la climatología, nocturnidad, estacionalidad (agrícola, turística, escolar), etc.

### 8.1. EQUIPO DE VOLCANÓLOGOS - INVESTIGACIÓN VOLCANOLÓGICA

Particularmente importante en la gestión del riesgo volcánico es la definición del equipo de volcanólogos que participa como elemento asesor de la autoridad de Protección Civil. La importancia radica nuevamente en la singularidad del proceso eruptivo, que requiere un análisis multidisciplinar con aplicación de técnicas muy diferentes, lo que no ocurre con otras catástrofes naturales, en las que el grupo científico es más uniforme y casi monodisciplinar (sismólogos, meteorólogos, ingenieros de montes ... en terremotos, inundaciones, incendios de bosques...).

La variada peligrosidad ya citada, así como la diversa entidad de los fenómenos físicos precursores y acompañantes de la erupción (variaciones de temperatura y composición de fluidos, temblores, sismos, deformación del terreno, variaciones en los campos gravimétrico, geoelectrico y geomagnético, etc.) obligan a que en su análisis participen geólogos y geógrafos (petrología, geoquímica, tectónica, geomorfología), químicos (análisis de fluidos), geofísicos (sismología, geoelectricidad, geomagnetismo, geotermia) y geodestas (deformación del terreno, anomalías gravimétricas) además de los matemáticos expertos en modelización de estos procesos. Todos estos especialistas constituyen un equipo numeroso que debe actuar *coordinadamente* sobre el terreno en caso de crisis, para seguir y analizar en tiempo real la evolución del proceso. Para ello, el mismo equipo debe tener una experiencia en el comportamiento del volcán, lo que solo se consigue si se está familiarizado con su historia eruptiva a través de la investigación en sus períodos de reposo o actividad anterior. Lógicamente, el equipo de investigación volcanológica debe atenerse a un "*Protocolo de Actuación en caso de Crisis*" previamente establecido y frecuentemente actualizado y probado. El siguiente esquema (Araña et al., 1989) puede ser un ejemplo de organigrama de estos protocolos:

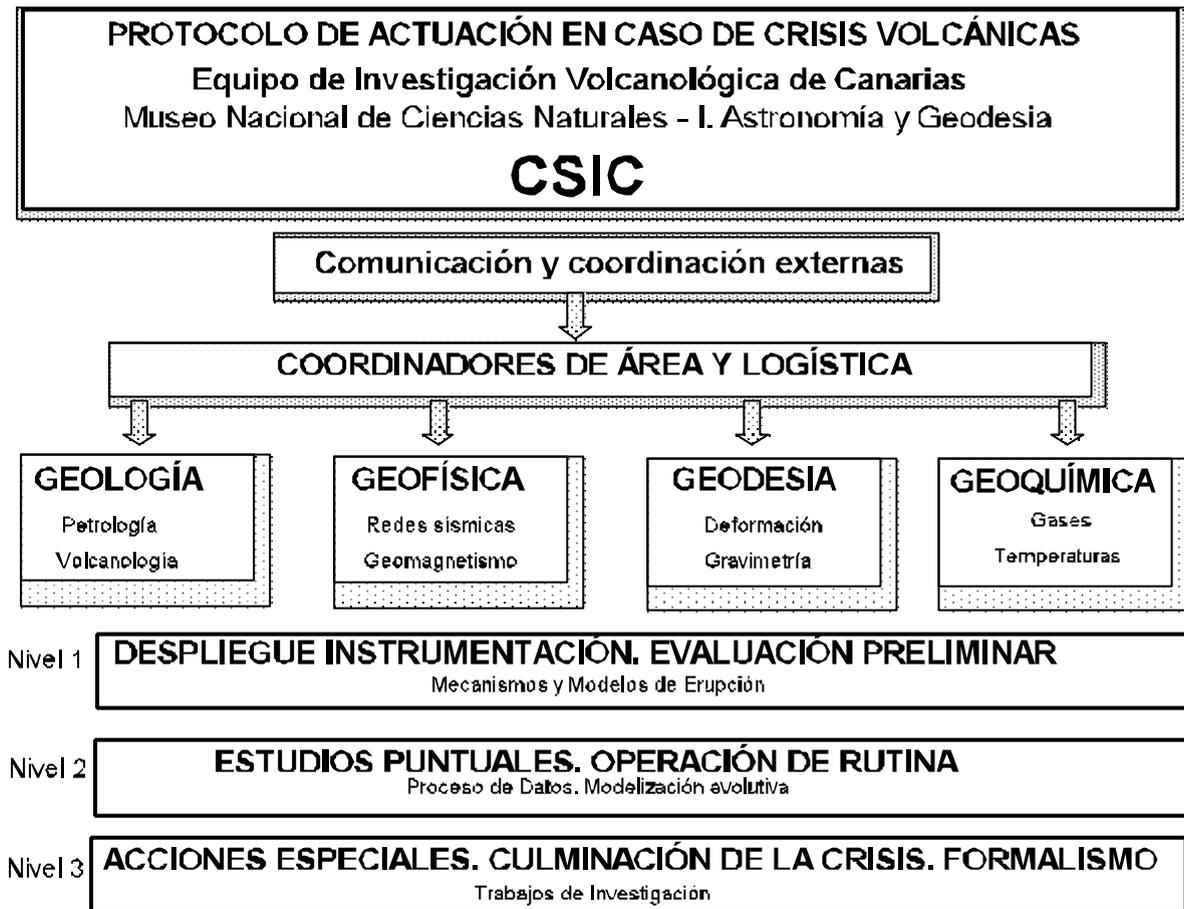
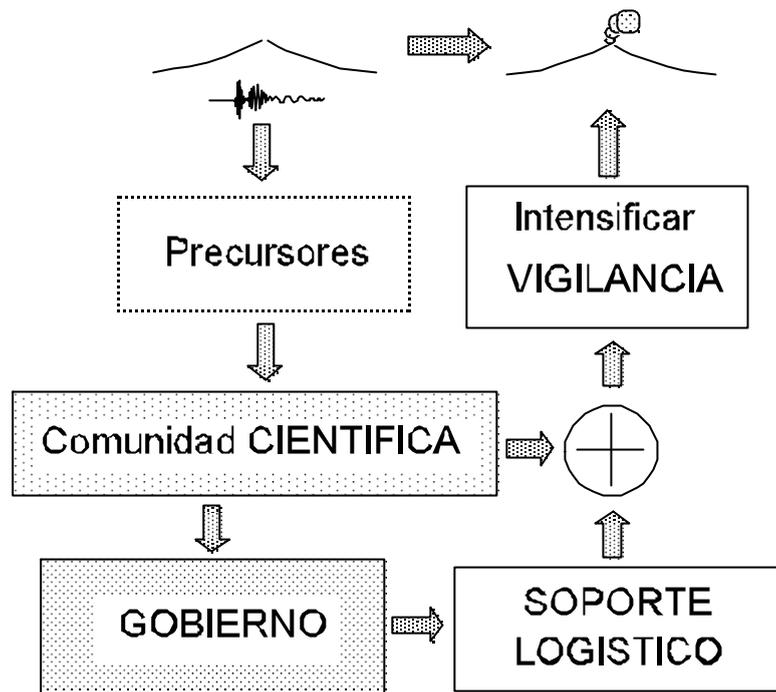


Figura 8-1 Protocolo de actuación en caso de crisis volcánica.

La detección por parte de la comunidad científica de eventos posiblemente ligados con una reactivación del volcán hace que esta responda comunicándolo al departamento gubernamental correspondiente e intensificando las labores de vigilancia sobre el volcán: densificando las redes instrumentales existentes, desplegando otras y aumentando la frecuencia de recogida de datos y posterior interpretación. Sin embargo esto supone aumentar el número de personal científico involucrado y un importante despliegue logístico que hay que financiar. Especialmente grave es el caso de que la crisis se prolonge por varios meses o años, como ha ocurrido recientemente en el caso de Rabaul (1983-1995). Tampoco se puede dejar la discusión sobre la disposición de fondos para afrontar la crisis para cuando esta haga su aparición. Son muchos los volcanes que solo dan un margen de algunos días (horas) antes de entrar en erupción.



**Figura 8-2** Inicio de la reactivación de un volcán. Comunicación e intensificación de la vigilancia

La investigación básica en un área volcánica activa concierne a la petrología y geoquímica isotópica (fuentes del magma, procesos de diferenciación y mezcla de magmas en sistemas abiertos), volcanología (ciclos eruptivos, formación de calderas, mecanismos eruptivos), geocronología (dataciones inferiores a los 100.000 años), geomorfología (transporte y depósito de avalanchas), geoquímica de gases (inclusiones fluidas y fumarolas), geofísica y geodesia (sismología, gravimetría, geomagnetismo, geoelectricidad), geología marina (si partes significativas del volcán están sumergidas), instrumentación (equipos portátiles duros y baratos), etc. Toda esta exhaustiva investigación multidisciplinar se integra en la Modelización de los procesos eruptivos y en la elaboración de un Sistema de Información Geográfica.

### 8.1.1. Integración de un grupo de especialistas

No es difícil entender que los equipos de volcanólogos no pueden improvisarse en el momento de la crisis, ni deben crearse con la perspectiva de permanecer inactivos en los largos períodos de reposo de un volcán. Esta aparente contradicción se resuelve constituyendo el equipo con especialistas que se mantienen al día en sus centros de investigación, que deberían ser los mejores del país en sus respectivas disciplinas. Estos mismos especialistas con experiencia -aunque no exclusividad- en aplicar sus conocimientos a la volcanología de una región, deben estar siempre disponibles para actuar en un equipo coordinado sobre el terreno al menor síntoma o alarma de crisis volcánica. Las facilidades y rapidez de las comunicaciones y transporte, justifican el que en ningún país de nuestro ámbito, estos equipos tengan carácter local, por el contrario, la envergadura del problema exige la aportación de los mejores

recursos científicos en todo el ámbito nacional, aunque las crisis eruptivas solo afecten áreas reducidas o remotas del estado.

Mientras la crisis no surge, la única vía para mantener operativos a estos grupos de especialistas es su integración en proyectos atractivos de investigación volcanológica multidisciplinar, y a ser posible internacional con acceso a áreas volcánicas más activas. Esta es la política que se ha seguido en las áreas volcánicas activas de la Union Europea. En realidad, el hecho de que la Union Europea incluya al "riesgo volcánico" como área prioritaria en sus programas de Investigación y Desarrollo, se debe tanto a su interés social como a que los países europeos con áreas volcánicas activas (España, Italia, Francia, Grecia, Reino Unido, Portugal e Islandia) no pueden afrontar con sus propios medios una investigación volcanológica eficaz, que es muy compleja, sofisticada y cara.

Una condición necesaria para que estos equipos sean eficaces cuando realmente se les necesite (crisis reales o supuestas) es su continua renovación y puesta al día. Esto último depende de la dinámica, relaciones internacionales y prestigio del propio equipo que requiere un continuo entrenamiento, tanto de sus especialistas más veteranos, como de los jóvenes investigadores en formación. En cuanto a la renovación de los equipos, depende de la política científica nacional, que obviamente tiene sus prioridades, que casi nunca tienen en cuenta la investigación en desastres naturales. El desinterés por la Volcanología cuando no hay una crisis eruptiva reciente en el país, es un problema generalizado, así por ejemplo, los actuales recortes presupuestarios en los EEUU han provocado una drástica reducción de los medios humanos y materiales que su Servicio Geológico dedicaba a la Volcanología, muy desarrollada tras la erupción del St. Helens en 1982.

Aunque la investigación y la vigilancia son aspectos bien delimitados en la volcanología, en estos equipos es también de la mayor importancia que se integren grupos de trabajo pertenecientes a Organismos que, sin tener a la investigación como actividad prioritaria, desempeñan en cambio funciones y responsabilidad estatal en tareas rutinarias de registro -y análisis o vigilancia- de determinados parámetros físicos.

### 8.1.2. Participación Internacional en los grupos de trabajo

Hemos dicho ya que la única manera de definir, concretar y mantener operativo un equipo de volcanólogos, es mediante la asociación o integración de especialistas y grupos de trabajo en grandes proyectos de investigación volcanológica, garantizando así el intercambio de datos y experiencias, a la vez que se fomenta el uso conjunto y coordinado de una compleja información multidisciplinar. Sin embargo, cuando se trata de grandes proyectos, la actividad investigadora trasciende los temas específicos del riesgo; de ahí que no todos los participantes en los proyectos de investigación se integren automáticamente en el equipo de volcanólogos que actúa en caso de crisis. Esta distinción afecta básicamente a los investigadores extranjeros, para los que debe existir un protocolo de invitación expresa, que les permita actuar integrados en el equipo nacional en caso de crisis. En algunos casos, la

cooperación internacional es fácil, al poder tramitarse a través de los coordinadores de grupos nacionales oficiales (ya existentes en EEUU, Italia, Francia, Portugal, Islandia...), perfectamente estructurados y con funciones muy claras en los organigramas de Protección Civil, que no solo tienen en cuenta su actuación, sino su financiación y apoyo logístico, para acciones dentro y fuera de su país.

Convendría matizar aquí que la existencia de estos equipos nacionales de volcanólogos, no evita los conflictos entre distintos grupos de científicos, incorporados o no al equipo oficial, ya que la propia índole de la investigación propicia la discrepancia, tanto en métodos como en modelos o hipótesis, que por desgracia trasciende siempre a los medios de comunicación, frecuentemente proclives a magnificar estas confrontaciones, personales o científicas. No siempre es fácil tampoco para una autoridad de Protección Civil o incluso de Política Científica, distinguir entre científicos "buenos" y "malos", pero obviamente es su responsabilidad optar por el grupo que estimen más solvente, asumiendo el riesgo de equivocarse, ya que, lo que no es admisible en una crisis volcánica es que la autoridad de Protección Civil tenga dos interlocutores científicos con disparidad de opiniones.

Finalmente, conviene al menos mencionar otras vías que influyen en la cohesión interna de estos equipos, al facilitar la participación de sus miembros en tareas comunes que también constituyen una función destacada del Equipo de Volcanólogos. La función docente se plasma en la organización de cursos y seminarios para entrenamiento de técnicos o jóvenes investigadores. Asimismo son importantes las tareas de divulgación que deben orientarse hacia la población escolar y hacia los visitantes extranjeros en zonas turísticas para exponerles que su protección, en caso de crisis eruptiva, está en buenas manos, siendo la infraestructura científica homologable a la que pueda encontrarse en los países desarrollados.

Obviamente, en la formación de equipos internacionales es conveniente la existencia de raíces culturales e idiomáticas comunes. En este aspecto la experiencia española cuenta con la ventaja de su afinidad y especiales lazos de colaboración con colegas europeos y latinoamericanos.

## **8.2. CUESTIONES QUE DEBEN RESPONDER LOS VOLCANÓLOGOS**

El equipo de volcanólogos está para dar respuestas a la Sociedad a través de una serie de preguntas que sin duda plantearán las Autoridades de Protección Civil.

Las respuestas como veremos, casi nunca podrán ser concluyentes. En primer lugar y sin la presión de una crisis, los volcanólogos deberán definirse sobre el

<b>ESTADO DEL VOLCAN</b> <b>AREA VOLCANICA</b>  (ver p. ej. Szacks, 1994)	<b>EXTINTO</b>	<b>ANTIGUOS</b> <b>RECIENTES</b> (Cuaternarios)
	<b>ACTIVO</b>	<b>EN REPOSO (dormido)</b> <b>"Inquieto" (unrest)</b> <b>EN ERUPCION</b>

En principio consideramos *volcanes activos* a los que han tenido alguna erupción en los últimos 10.000 ... 5.000 ... 2.000 años, según identifiquemos los parámetros regionales. En cuanto al tipo de volcanismo, estos períodos serían 100.000 años para grandes calderas, 10.000 para estratovolcanes y solo 1.000 en regiones basálticas.

*Potencialmente eruptivos* son todos los volcanes activos en reposo ... y también los extintos más jóvenes.

Se exige lógicamente de los científicos expertos en el volcanismo de una región que identifiquen el tránsito *reposo/inquietud-erupcion* de un volcán. Lamentablemente, la experiencia obliga a los volcanólogos a ser muy precavidos en este tema y no precipitar conclusiones basadas en las primeras anomalías detectadas en determinados precursores.

Es posible, que los volcanólogos sean consultados no solo sobre aspectos científicos, sino sobre las precauciones o medidas que la población o sus autoridades deben tomar. Estas consultas pueden aceptarse y contestarse en privado si se estima conveniente, pero en ningún caso los volcanólogos pueden salirse de su papel que se limita a responder sobre hechos científicos que a otros corresponde considerar en la toma de decisiones.

Concretamente, una vez planteada la certidumbre (o casi) de una inminente crisis los volcanólogos deben pronunciarse sobre las siguientes cuestiones.

<b>INICIO DE LA ERUPCION</b>	¿Dónde? ¿Cuándo? ¿Cómo?
------------------------------	-------------------------------

Si las redes de vigilancia funcionan, podrá responderse con bastante precisión a las dos primeras cuestiones. Para contestar la tercera pregunta habrá que basarse en estimaciones apoyadas en la repetición de fases bien conocidas en la historia eruptiva del volcán.

EVOLUCION DE LA CRISIS	¿Duración? ¿Cambios?
------------------------	-------------------------

Este es el mayor dilema para la Población y es en el que más empeño deben poner los volcanólogos para resolverlo. Aquí es donde realmente se juega su prestigio el equipo científico y no siempre el volcán da información suficiente para interpretar unívocamente su evolución, ni a corto ni a medio plazo

TIPOLOGIA DE PROCESOS	¿Mecanismos eruptivos? ¿Sistemas magmáticos? ¿Peligrosidad?
-----------------------	---

Las preguntas sobre estos temas, no suelen plantearse en términos científicos, lo que obliga a que los volcanólogos trasladen sus conocimientos en un lenguaje asequible a la población. La anticipación en la valoración de cada factor de peligro es una de las principales responsabilidades del volcanólogo en el seguimiento de una crisis.

ALCANCE DEL IMPACTO	Efectos directos e indirectos (contaminación de acuíferos o cultivos; sncadenamiento de lahares, avalanchas, tsunamis, etc.)
---------------------	---

Una buena base de datos y la modelización de los procesos y mecanismos eruptivos *en curso*, permitirán responder con escaso margen de error. Sin embargo, hay que distinguir entre la conveniente descripción de todos los posibles escenarios, incluido el "peor caso", y la probabilidad que tiene cada uno de ellos.

SITUACION POST-CRISIS	¿Reactivación? ¿Actividad Residual?
-----------------------	--

Los volcanólogos podrán no acertar en sus predicciones sobre una pronta reactivación, pero si esta no se produce, comprobarán que su función pierde rápidamente protagonismo fuera del ámbito científico.

## **9 LA PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO DE ERUPCIONES VOLCÁNICAS**

**J. Sansón Cerrato**

Los sistemas de Protección Civil de todos los países están diseñados para dar respuesta adecuada a aquellas situaciones de emergencia provocadas por sucesos que pudieran ser calificados como catastróficos. Para poder precisar las competencias propias de la Protección Civil es necesario definir qué se entiende por catástrofe. Se puede definir una catástrofe como la desorganización del medio ambiente humano de forma que exceda la capacidad de reacción de la comunidad afectada. Quedan así fuera de esta definición los meros accidentes, por estar atendidos por medios ordinarios previstos al efecto y los desastres lentos (desertización, cambios climáticos, etc.) que se manifiestan a lo largo de un espacio prolongado de tiempo y que únicamente pueden ser abordados con medidas de planificación sólo eficaces a largo o muy largo plazo.

Debido a que a los desastres naturales que han acompañado al hombre a lo largo de la historia, con graves consecuencias tanto directamente en pérdida de vidas humanas como en lo social y en lo económico, se añaden hoy día los cada vez más frecuentes desastres de índole tecnológica, se puede afirmar que los efectos de las catástrofes probablemente aumentarán en el futuro por dos evidentes razones: la creciente urbanización, que supone un aumento de los elementos en riesgo y de la vulnerabilidad, y el desarrollo de nuevas tecnologías, cuyos riesgos potenciales no siempre son previsibles. Dejando de lado los grandes sucesos que continúan escapando a cualquier tipo de previsión debido tanto a los límites de la tecnología y los conocimientos actuales, como a la magnitud que pueden alcanzar, un elevado porcentaje de estos fenómenos pueden mitigarse (cuando no evitarse) con una buena prevención, basada, cuando ello es posible, en un eficaz pronóstico. Hoy día, los avances obtenidos en el campo de la volcanología permiten determinar con bastante aproximación dónde y cuándo va a producirse una nueva erupción volcánica, en aquellas zonas de riesgo que cuenten con un adecuado seguimiento instrumental, e incluso adelantar hipótesis sobre el previsible comportamiento de dicha erupción. Se puede afirmar así que estamos en la actualidad ante un fenómeno natural susceptible de ser predicho y, en consecuencia, se pueden diseñar planes de prevención sobre la base de un eficaz sistema de vigilancia.

### **9.1. LA PROTECCIÓN CIVIL EN ESPAÑA**

La Protección Civil o defensa civil, como también se la suele denominar en otros países, entraña un concepto comúnmente asumido consistente básicamente en un conjunto de acciones y la adopción de previsiones que procuren evitar a personas o cosas toda clase de daños en caso de catástrofes o calamidades públicas. Históricamente, la organización de los sistemas nacionales de Protección Civil surgieron a partir de la Primera Guerra Mundial en que se hicieron necesarios para proteger a la población civil de las acciones de guerra sobre las ciudades; de hecho ha sido considerada como el "cuarto ejército"

debido a su decisiva colaboración en la reducción de víctimas con ocasión de conflictos bélicos. Desde esta perspectiva, los sistemas de defensa civil se hacen hoy más necesarios que nunca ya que si en la citada Gran Guerra murió un civil por cada veinte militares y en la guerra del Vietnam esta proporción se invirtió, el empleo del armamento actual, puede elevar estas proporciones hasta límites insospechados.

Pero en tiempos de paz se producen también sucesos donde la seguridad de las personas y los bienes se pueden ver amenazados considerablemente: son los desastres naturales y tecnológicos. Los poderes públicos deben estar preparados para hacer frente a este tipo de situaciones para así cooperar a un mundo cada vez más seguro. De hecho, en los países más avanzados, el tan traído y llevado concepto de la "calidad de vida" tan en boca de los responsables políticos y que responde a la demanda de una sociedad cada vez más preocupada por la seguridad, el medio ambiente, la salud etc., incluye también contar con un eficaz sistema de Protección Civil.

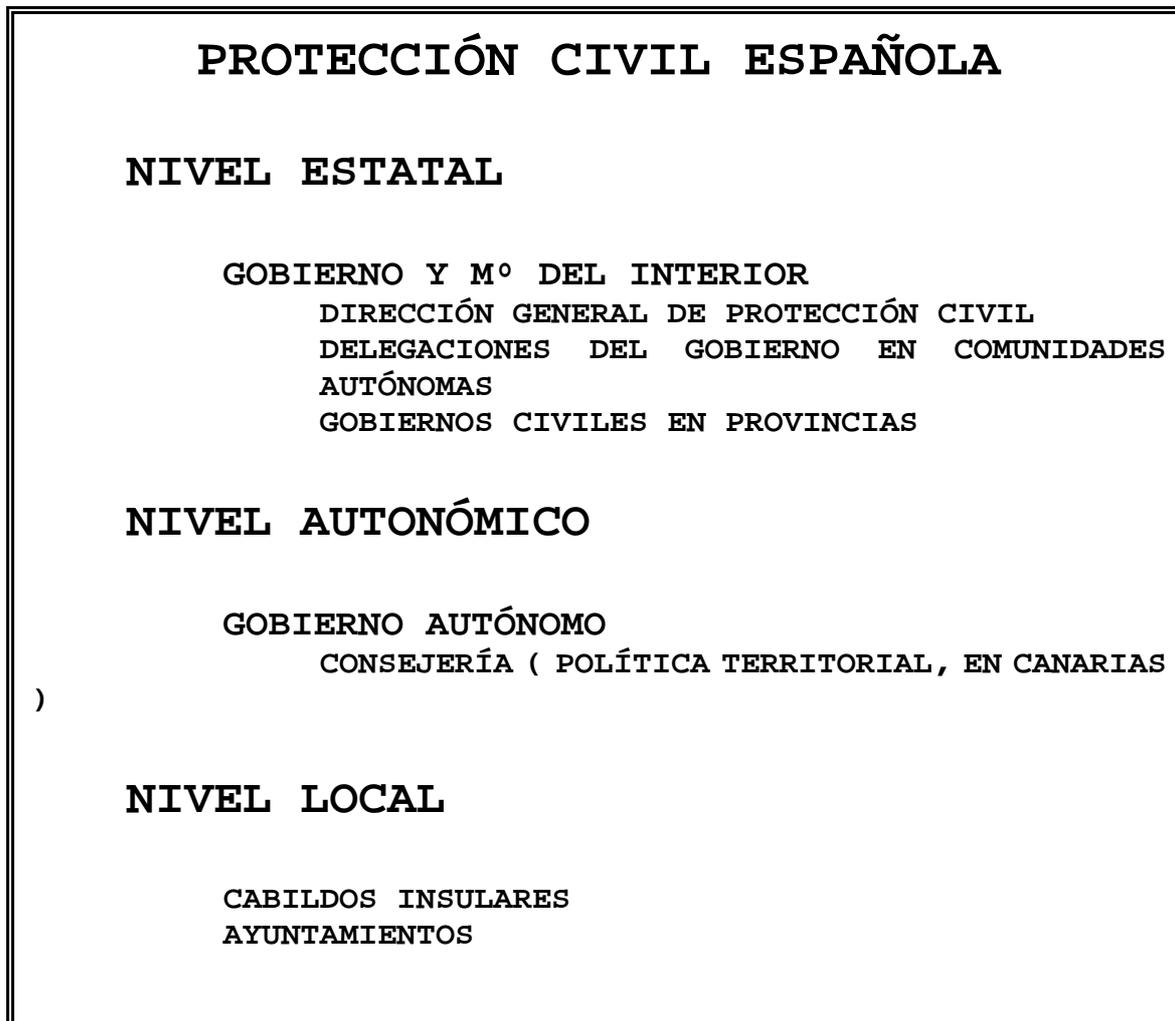
En España, la Protección Civil queda definida en la exposición de motivos de la Ley 2/1985, de 21 de enero, que la regula, como la "protección física de las personas y de los bienes, en situación de grave riesgo colectivo, calamidad pública o catástrofe extraordinaria en que la seguridad y la vida de las personas pueden peligrar y sucumbir masivamente". Esta definición deja perfectamente delimitado el campo de actuación de estos servicios que actúan cuando un suceso sobrepasa un determinado umbral de severidad.

La Protección Civil es en realidad un concepto, como lo es el de la salud pública o la seguridad ciudadana, no se trata por tanto de una institución o de un cuerpo como los bomberos, la Cruz Roja o la Guardia Civil, ni cuenta habitualmente con recursos propios. Sin embargo, muchos servicios e instituciones, como los aludidos, que tienen funciones propias que desarrollan con carácter ordinario en el marco de las competencias que tienen asignadas, en caso de emergencia por catástrofe o calamidad pública, son coordinados y dirigidos por los correspondientes servicios de Protección Civil. Habitualmente se les denomina Servicios Coordinados.

Operativamente, es en esencia un problema de organización cuya actuación se concreta siempre en procedimientos de ordenación, planificación, coordinación y dirección de los distintos servicios públicos y que compete a la Administración Civil del Estado, en colaboración con las distintas administraciones públicas, instituciones y la participación de los ciudadanos.

Las funciones fundamentales de la Protección Civil son: la previsión, prevención, planificación, intervención y rehabilitación. Una previsión que consiste en prever o conjeturar sobre lo que pueda ocurrir (análisis de riesgos), una prevención para evitar los daños derivados de la actualización de un determinado suceso, una planificación para hacer frente a las situaciones de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública, la intervención consistente en actuaciones encaminadas a proteger y socorrer la vida de las personas y velar por la integridad de sus bienes y, por último, la rehabilitación, dirigida al restablecimiento de los servicios públicos esenciales para la vuelta a la normalidad.

Desde el punto de vista organizativo y competencial, la Protección Civil Española,



enmarcada dentro de la política de seguridad pública (art. 15 de la Constitución), que obliga a los poderes públicos a garantizar el derecho a la vida y a la integridad física, obedece a la estructura administrativa del Estado, de acuerdo con la Constitución de 1978. A nivel estatal, la máxima responsabilidad recae sobre el Gobierno de la Nación y el Ministerio del Interior, que cuenta con una Dirección General de Protección Civil, como máximo órgano directivo para ejercer las competencias del Estado en esta materia y con unidades periféricas en Delegaciones del Gobierno en Comunidades Autónomas y Gobiernos Civiles, en provincias. Las Comunidades Autónomas por su parte, tienen asignadas estas competencias dentro de su ámbito territorial, recayendo la dirección y coordinación de las mismas en una Consejería (en Canarias, la Consejería de Política Territorial). Por último, cada Alcalde es el Jefe Local de Protección Civil, con plenas competencias dentro de su Término Municipal. Se incluyen en este tercer escalón, las Diputaciones Provinciales y los Cabildos Insulares (Canarias) y Consejos Insulares (Baleares) que cuentan también con atribuciones en este campo.

La descentralización de las competencia en Protección Civil es tal, que el Estado sólo interviene en la dirección de las actuaciones en caso de un determinado desastre, cuando

lo exige el interés nacional, esto es, cuando es preciso aplicar la Ley Orgánica 4/1981, de 1 de junio, reguladora de los estados de alarma, excepción y sitio, cuando la emergencia exige una aportación de recursos supraautonómicos por afectar a varias Comunidades Autónomas o bien cuando las dimensiones efectivas o previsibles requieran una dirección nacional de las Administraciones Públicas implicadas. En tales casos, el Ministerio del Interior por propia iniciativa, o a instancia de los Delegados del Gobierno en Comunidades Autónomas o a petición de éstas, se podrá declarar la emergencia de interés nacional.

Sin embargo, al no haberse concebido en España la Protección Civil como un servicio con medios y recursos propios, la piedra angular de su operatividad y eficacia, recae sobre los planes de emergencia que, como se recoge en la Norma Básica de Protección Civil (R.D. 407/1992), constituyen la previsión del marco orgánico-funcional y los mecanismos que permiten la movilización de los recursos humanos y materiales necesarios para la protección de las personas y bienes en caso de grave riesgo colectivo, catástrofe o calamidad pública, así como el esquema de coordinación entre las distintas Administraciones Públicas llamadas a intervenir. La importancia de contar con estos planes es tal que no es arriesgado decir que cualquier Administración que no cuente con ellos, no estará en condiciones de ofrecer una Protección Civil como tal servicio público ya que su inexistencia condiciona tremendamente la capacidad de reacción del sistema, entendida como la inversa al tiempo necesario para movilizar un flujo ordenado de recursos bajo la dirección de un mando único, hacia la zona afectada por la crisis, hasta su total rehabilitación.

En la citada disposición, se consagra la existencia de dos tipos de Planes de Emergencia:

<b>PLANES TERRITORIALES</b>	<b>PLANES ESPECIALES</b>
-----------------------------	--------------------------

Los Planes Territoriales, se elaboran para hacer frente a emergencias de carácter general que pueden afectar a cada ámbito territorial y los Especiales, para enfrentarse a riesgos específicos cuya naturaleza requiere una metodología técnico-científica adecuada para cada uno de ellos. De los segundos, la Norma Básica establece que serán objeto de planificación los riesgos siguientes: emergencias nucleares, situaciones bélicas, inundaciones, sismos, químicos, transporte de mercancías peligrosas, incendios forestales y volcánicos, sin que ésta sea una lista cerrada. La aplicación de los dos primeros planes viene siempre exigida por el interés nacional, en cuyo caso la competencia y responsabilidad recae exclusivamente sobre el Estado y son denominados Planes Básicos.

Los Planes Especiales se elaboran de acuerdo con las Directrices Básicas, aprobadas previamente por el Gobierno de la Nación. Estas Directrices establecen los requisitos mínimos sobre los fundamentos, estructura, organización, criterios operativos, medidas de intervención e instrumentos de coordinación que deben cumplir los planes a que se refieren. Dentro de los riesgos naturales contemplados expresamente en la Norma Básica, ya han sido aprobadas las Directrices Básicas correspondientes al riesgo de incendios forestales (abril, 1993), inundaciones (enero, 1995), sismos (mayo, 1995) y erupciones volcánicas (febrero, 1996).

## 9.2. EL RIESGO VOLCÁNICO EN ESPAÑA

Aunque no con la virulencia que en otros países, España está sometida a una serie de riesgos de origen natural, que se actualizan con cierta periodicidad y en ocasiones provocan cuantiosos daños y numerosas víctimas. Unos son muy frecuentes, como los incendios forestales que se producen todos los años y que arrasan miles de hectáreas de zonas arboladas o las inundaciones por el desbordamiento de cauces con ocasión de fuertes lluvias, que afectan especialmente a áreas urbanizadas. Otros, se producen más espaciados en el tiempo, como los terremotos, los movimientos gravitatorios, las plagas de langostas, los tsunamis, la expansividad de arcillas, la subsidencia de suelos o las erupciones volcánicas. Sin embargo, atendiendo a los daños que pudieran derivarse, a los medios específicos de intervención y a la frecuencia con que se pueden producir, la Administración ha señalado cuatro riesgos naturales como objetivos de planificación prioritaria: las inundaciones, los terremotos, los incendios forestales y las erupciones volcánicas.

En la España peninsular se encuentran extensas áreas ocupadas por materiales volcánicos de diferente antigüedad, e incluso algunos de edad reciente como la región de Olot (Gerona), y la de Campos de Calatrava (Ciudad Real), pero en todas ellas el riesgo volcánico se puede considerar nulo. En la actualidad, la única región española volcánicamente activa son las Islas Canarias donde, no obstante, la peligrosidad real de estos fenómenos es baja, debido al tipo de los mecanismos eruptivos, que por lo general limitan el riesgo volcánico a un entorno muy reducido alrededor de los centros de emisión y al flujo lento de las coladas de lava.

Separadas por largas etapas de inactividad, en los cinco siglos que dura el período histórico de este archipiélago, se han producido 17 erupciones, si bien ninguna puede ser catalogada como catastrófica por sus consecuencias, si se excluyen las erupciones fisurales que tuvieron lugar en Lanzarote durante seis años consecutivos (1730-1736) y supusieron la evacuación de gran parte de la isla y la erupción de Montaña Negra que destruyó el puerto de Garachico en Tenerife (1706). Esta circunstancia ha dejado una escasa memoria histórica en la población canaria, que presenta una muy remota percepción del riesgo volcánico, aspecto muy a tener en cuenta a la hora de planificar este tipo de emergencias, por el impacto social que pueden entrañar la realización de simulacros, ejercicios o la simple difusión de la existencia de los Planes de Emergencia.

Por otro lado, es importante señalar que, aunque las Canarias se caracterizan precisamente por un bajo índice de riesgos de cualquier naturaleza (islas "afortunadas" también en este aspecto), entre los riesgos tecnológicos y antrópicos se pueden citar los derivados del elevado tráfico marítimo y aéreo, la existencia de una refinería de petróleo en el casco urbano de Santa Cruz de Tenerife, centrales térmicas, plantas potabilizadoras, parques de almacenamiento de combustibles, etc., y entre los de origen natural, los temporales de mar, las inundaciones y vientos fuertes, los desprendimientos y deslizamientos de tierras, los incendios forestales y otros que actúan a largo plazo

como los derivados de la dinámica litoral, la erosión y pérdida de suelos, la sequía, etc. Todo este cortejo de riesgos, debido a la baja actividad del volcanismo canario, puede llegar a ser más preocupante que el propio riesgo volcánico.

Pero el rápido crecimiento de la población, que ya supera los 1,6 millones de habitantes, a los que hay que añadir un tránsito de turistas de 8 millones anuales (1994), asistida por una frágil red de servicios básicos de abastecimiento (electricidad, agua potable, transportes, etc.) y asentados en una superficie de tan sólo 7.446 km<sup>2</sup>, hace que cada vez las islas sean más vulnerables ante el desencadenamiento de una nueva crisis volcánica como las del pasado o incluso más violenta.

Ciudades como Las Palmas de Gran Canaria, situada en una isla afectada por un riesgo moderado, pero donde se produjo la última erupción hace unos 3.500 años (Montañón Negro), rodeada de los volcanes más recientes de la isla y que alberga en la actualidad a una población de más de 400.000 habitantes o Santa Cruz de Tenerife, con más de 200.000 habitantes, en una isla donde se encuentra el complejo volcánico de Las Cañadas y el edificio volcánico Teide-Pico Viejo y donde se han producido erupciones históricas (la última en 1909), justifican sobradamente la existencia de planes de Protección Civil ante este tipo de riesgo.

Desde el punto de vista de la peligrosidad volcánica, hay que decir que ésta es muy limitada ya que la mayoría de las erupciones históricas y geológicas del archipiélago han sido de carácter "tranquilo", caracterizadas por la emisión de coladas basálticas, gases y piroclastos a través de centros de emisión fisurales o puntuales y que han funcionado con carácter monogénico durante días, semanas o pocos meses, con la excepción de las erupciones de Lanzarote de 1730 a 1736. Sólo una eventual conexión del magma con aguas marinas o freáticas puede aumentar la peligrosidad de estas erupciones al provocar explosiones freatomagmáticas, de las cuales se encuentran abundantes evidencias en todas las islas, o bien tsunamis en las costas.

Tratamiento aparte requieren sin embargo las erupciones ligadas al complejo Teide-Pico Viejo en Tenerife que, aunque probabilísticamente son muy remotas, pueden manifestarse con grandes explosiones, la generación de nubes ardientes, avalanchas, colapso de la zona sumital, etc., fenómenos que pueden provocar daños incalculables en toda la isla. En este caso la intervención de la Protección Civil, si se cuenta con una predicción verosímil y con tiempo suficiente, consistiría básicamente en la evacuación masiva de la población hacia áreas seguras o incluso a otras islas.

No se pueden menospreciar los riesgos asociados al fenómeno volcánico, que pueden provocar tantos o más daños que la propia erupción. Así, si coincidiendo con la erupción volcánica se producen las lluvias torrenciales que con cierta frecuencia causan inundaciones en Canarias, el arrastre de productos de proyección aérea acumulados en los cauces y laderas de los barrancos pueden ocasionar una avenida de lodo (lahar) con gran poder destructor aguas abajo. Por otro lado, el apilamiento de los productos volcánicos en torno a los propios centros efusivos o en laderas, pueden crear taludes de muy baja estabilidad donde se originen deslizamientos que pueden poner en movimiento grandes volúmenes de materiales. Además, el medio antrópico es especialmente

vulnerable ante una crisis volcánica que puede provocar la interrupción de servicios y abastecimientos básicos para la población como el transporte marítimo o aéreo, el agua potable, electricidad, teléfonos, etc. y causar daños en instalaciones como la refinería de petróleo o los parques de almacenamiento de combustible, de drásticas consecuencias.

Aunque no suelen ser de gran magnitud, no hay que desestimar por último, los terremotos volcánicos que pueden provocar daños en infraestructuras o activar áreas gravitatoriamente inestables, tampoco la acumulación de gases tóxicos en zonas deprimidas y por último, los incendios, especialmente los forestales, a los que ha sabido adaptarse con cierto éxito el pino canario.

### 9.3. ZONIFICACIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO EN CANARIAS

Desde el punto de vista de la zonificación del riesgo volcánico, en Canarias hasta la fecha se han hecho algunas tentativas, aunque locales, escasas y con criterios poco homogéneos. Resulta evidente, sin embargo, que la actividad volcánica se ha concentrado durante el pasado en ciertas zonas, como se deduce del agrupamiento de edificios volcánicos antiguos y en consecuencia, es mayor la probabilidad de que en ellas aparezcan futuras erupciones; éstas son las dorsales que se observan en La Palma, Tenerife y El Hierro, o áreas sin control estructural aparente pero donde se ha concentrado claramente la actividad efusiva más moderna, como sucede con la mitad nororiental de Gran Canaria, en el norte de Fuerteventura y en la franja central de Lanzarote.

Por otro lado, en función del nivel de actividad volcánica reciente, se pueden agrupar las islas en tres categorías: las que han tenido erupciones históricas: La Palma, Tenerife, Lanzarote y tal vez El Hierro, las que presentan volcanismo subhistórico: Gran Canaria y Fuerteventura, y La Gomera, que no ha tenido erupciones durante el cuaternario y puede considerarse volcánicamente extinta.

La futura planificación de Protección Civil ante este riesgo, deberá contar con una zonificación previa del riesgo volcánico, rigurosa y detallada para cada isla. Esta zonificación se plasmará en mapas de riesgo implementados sobre un sistema de información geográfica (SIG) que permita una permanente actualización de su contenido en función de las variaciones que se produzcan necesariamente tanto en la predicción de la aparición de los factores de riesgo, ligados a la propia erupción o a agentes meteorológicos, como modificaciones en las áreas objeto de prevención y preservación y los medios y recursos previstos en el Plan. La zonificación establecerá diferentes niveles de peligrosidad, en función de valores probabilísticos.

En este sentido, hay que tener en cuenta que, salvo el Teide, volcán activo desde hace unos 150.000 años, actualmente no existe ningún otro edificio singular en el resto del archipiélago, por lo que la planificación debe prever la aparición de una nueva erupción en cualquier zona de las islas, incluidos los márgenes costeros, si bien preferentemente en las zonas donde la probabilidad de una nueva erupción es mayor. Esto hace que sea necesario que los mapas de riesgo contemplen necesariamente, al menos, dos tipos

distintos de escenarios:

1. Erupción volcánica o fenómenos asociados, localizados en el área de Las Cañadas
2. Centros efusivos en cualquier punto de las islas y fondos litorales.

La metodología y el contenido de cada uno va a ser muy diferente en cuanto a las características previsible de los factores de peligrosidad tales como el alcance de los materiales de proyección aérea, corrientes lávicas, lahares, deslizamientos, ondas de choque, nubes gaseosas, etc., ya que en el primer caso se conoce la zona de donde pueden provenir estos efectos mientras que en el segundo, el centro emisor puede localizarse dentro de extensas áreas. El resto de la información recopilada en estos mapas será común, esto es, la localización de los bienes objeto de protección, con especial indicación de los más vulnerables, medios y rutas de evacuación, puntos de concentración y albergue, centros de control de la emergencia y medios de intervención (bomberos, servicios de orden, telecomunicaciones, hospitales, etc.), situación de los recursos esenciales como agua, alimentos, medicinas, carburantes, etc.

#### 9.4. PLANES DE EMERGENCIA ANTE EL RIESGO VOLCÁNICO

Se puede decir que hasta la última erupción volcánica habida en Canarias (La Palma, 1971), no se toma conciencia en España del riesgo que representan estos fenómenos para la población. Los numerosos estudios científicos que se realizaron en el archipiélago desde entonces y que pasaron a engrosar la larga lista de los ya existentes, sentaron las bases para disponer de un conocimiento bastante preciso del volcanismo canario y, en consecuencia, del riesgo volcánico en estas islas.

Como antecedentes de la planificación de Protección Civil ante el riesgo volcánico, se dispone de dos Planes de Emergencia de la Administración Estatal: el "Plan de Emergencia por Erupciones Volcánicas" de 1982 y actualizado en 1986 (Gobierno Civil de Las Palmas), y el PLANCRISCAN, o "Plan de Emergencias en Situaciones de Crisis Sísmicas y Volcánicas" de 1989 y actualizado en 1992 (Gobierno Civil de Santa Cruz de Tenerife).

Estos dos planes de emergencia obedecen a la necesidad de contar con una respuesta de la Administración ante la eventualidad de una nueva erupción volcánica, pero no han sido redactados de acuerdo con la nueva estructura y distribución de competencias de la Protección Civil Española, además de adolecer de una fundamentación científica acorde con los conocimientos actuales.

La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico, publicada en febrero de 1996, establece los contenidos mínimos del Plan Estatal y el de Comunidad Autónoma, cuya elaboración se abordará en breve. De hecho, las actuaciones para elaborar y poner en marcha el Plan Estatal han dado comienzo virtualmente con la constitución el día 26 de marzo de 1996, del Comité Científico de

**Evaluación y Seguimiento de Fenómenos Volcánicos (art. 3.3.4. de la Directriz). Por su parte, los ayuntamientos y cabildos pueden elaborar Planes de Actuación Local de acuerdo con las directrices que se establezcan en el Plan de Comunidad Autónoma.**

**Mientras entran en vigor los nuevos Planes de Emergencia ante el riesgo volcánico, el Real Decreto 1378/1985 de medidas provisionales, determina que las actuaciones de prevención y control de emergencias se llevarán a cabo de acuerdo con las previsiones contenidas en los Planes Territoriales y Especiales de Protección Civil que estuvieran aprobados anteriormente en los Gobiernos Civiles y en los Ayuntamientos. En el caso de las erupciones volcánicas, serán de aplicación los planes mencionados más arriba.**

**Con carácter general, las características básicas que debe reunir cualquier Plan de Emergencia de Protección Civil se pueden resumir en:**

- 1. Sencillez y concreción para facilitar su operatividad.**
- 2. Flexibilidad para adecuarlo a situaciones cambiantes.**
- 3. Determinado bajo los principios de:**
  - \* Unidad de dirección**
  - \* Coordinación de actuaciones**
  - \* Autonomía en la ejecución**

**Bajo estas premisas, el Plan se materializa en un documento formal que constituye la norma que establece:**

- \* La estructura jerárquica y funcional de las autoridades y organismos llamados a intervenir.**
- \* Los mecanismos de movilización de medios y recursos.**
- \* Los procedimientos de coordinación.**
- \* Las normas de actuación operativa que permitan su funcionalidad.**

**De acuerdo con lo expuesto, la estructura básica operativa de cualquier Plan de Emergencia se puede resumir en la existencia de un mando único, asistido por un comité de asesoramiento, del cual dependen estrechamente un centro de coordinación de los distintos grupos de intervención y un gabinete de información a la población.**

**Si habitualmente se entiende el concepto de Plan de Emergencia como un conjunto de procedimientos de coordinación y dirección de actuaciones cuando se produce una situación de emergencia o de naturaleza catastrófica, en el caso del riesgo volcánico, se pretenden ampliar de forma sustancial los objetivos del correspondiente plan, previendo además, de forma sistemática y reglada, el seguimiento del fenómeno, las tareas preventivas para minimizar las consecuencias previsibles, las tareas informativas y el**

propio mantenimiento del plan.

Dado que la única región española que presenta riesgo volcánico son las Islas Canarias, alejadas a más de 1000 kilómetros del resto del territorio nacional, la Directriz Básica ha concebido los planes de emergencia estatal y de Comunidad Autónoma no como dos planes alternativos sino como dos instrumentos perfectamente compatibles e incluso complementarios y cuya aplicación exclusiva será el territorio de la Comunidad Autónoma Canaria.

#### 9.4.1. EL PLAN ESTATAL ANTE EL RIESGO VOLCÁNICO

Este Plan establecerá la organización y procedimientos que permitan asegurar una eficaz respuesta de todas las Administraciones Públicas en caso de crisis volcánica, cuando se haya declarado en interés nacional, así como establecer los mecanismos de apoyo al Plan de Comunidad Autónoma.

### **PLAN ESTATAL ANTE EL RIESGO VOLCÁNICO**

Contenido mínimo según la Directriz Básica

(Res. M.J.I. de 21 de febrero de 1996)

#### **1. Dirección y coordinación de emergencias declaradas de interés nacional**

Comité de Dirección  
Comité asesor  
Gabinete de información

#### **2. Planes de coordinación y apoyo**

Plan de evacuación  
Plan de abastecimiento, albergue y asistencia social  
Plan de actuación sobre el agente volcánico  
Plan de coordinación informativa en situaciones de emergencia

#### **3. Sistema de seguimiento e información sobre fenómenos volcánicos**

#### **4. Comité Científico de Evaluación y Seguimiento de Fenómenos Volcánicos**

#### **5. Base de datos sobre medios y recursos movilizables**

La aprobación de la Directriz Básica relativa al riesgo volcánico lleva pareja la creación de un Comité Estatal de Coordinación (CECO) compuesto por representantes de altos órganos de la Administración Estatal, bajo la presidencia del Director General de

**Protección Civil.** Entre las funciones de este Comité Estatal está la realización de estudios, informes y propuestas para la elaboración del Plan Estatal. Una vez elaborado, será aprobado por el Gobierno, a propuesta del Ministerio del Interior, previo informe de la Comisión Nacional de Protección Civil.

**El contenido mínimo del Plan Estatal, según la Directriz Básica será el siguiente:**

#### **9.4.1.1. Dirección y coordinación de emergencias declaradas de interés nacional**

Estas funciones serán ejercidas dentro de un Comité de Dirección integrado por el Delegado del Gobierno en Canarias o el Gobernador Civil de Santa Cruz de Tenerife, según el ámbito territorial afectado, y un representante del Gobierno de Canarias. El representante de la Administración estatal dirigirá las actuaciones previstas en el Plan Especial de la Comunidad Autónoma y el del Gobierno Autónomo, coordinará los medios, recursos y servicios propios. Este Comité de Dirección ejercerá sus funciones además, en coordinación con las autoridades locales (ayuntamientos y cabildos), así como con las Delegaciones Insulares del Gobierno.

Como órganos de apoyo del Comité de Dirección se establece un Comité Asesor y un Gabinete de Información.

**Comité Asesor:**

La compleja naturaleza de la emergencia que provoca una crisis volcánica, tanto por su origen y evolución como por sus efectos, hace necesario que el Comité de Dirección esté permanentemente asistido mientras esté activado el Plan, por un Comité Asesor en el que se integrarán los miembros del Comité Científico de Evaluación y Seguimiento de Fenómenos Volcánicos, técnicos de las Administraciones implicadas y expertos designados de forma extraordinaria por el Comité de Dirección.

**Gabinete de Información:**

Desde este Gabinete se informará a la población sobre el fenómeno producido, su previsible evolución y los consejos e instrucciones que deben seguirse. Depende directamente del Comité de Dirección para asegurar que la información que se transmite a la población a través de los medios de comunicación social, sea la adecuada tanto por su veracidad como por su oportunidad. De esta manera se evitará que al ciudadano lleguen noticias contradictorias, de fuentes no contrastadas, versiones sesgadas, sensacionalistas o movidas por intereses espúrios.

**Sus funciones son las siguientes:**

- \* Difundir las órdenes, consignas y recomendaciones orientativas que el Comité de Dirección dicte, a través de los medios de comunicación social.
- \* Centralizar, coordinar y preparar la información general sobre la emergencia y facilitarla a los medios de comunicación social.

- \* **Informar en relación con la emergencia a cuantas personas lo soliciten.**
- \* **Obtener, centralizar y facilitar toda la información relativa a contactos familiares, localización de personas y datos referidos a los posibles evacuados y víctimas.**

**Estará integrado por personal de la Delegación del Gobierno en Canarias o Gobierno Civil de Sta. Cruz de Tenerife y de la Comunidad Autónoma de Canarias.**

#### **9.4.1.2. Planes de Coordinación y Apoyo**

**El Plan Estatal deberá contener una serie de planes de actuación que se aplicarán en emergencias por crisis volcánicas en las que esté presente el interés nacional o en apoyo del Plan de la Comunidad Autónoma. En estos planes se integrarán servicios, medios y recursos de titularidad estatal, así como los que sean asignados por la Comunidad Autónoma, administración local, y entidades públicas y privadas. Estos planes no pretenden sustituir a los correspondientes del Plan de Comunidad Autónoma, sino complementar sus funciones con medios especialmente aportados por la Administración Estatal.**

**Planes de Actuación previstos:**

- Plan de evacuación**
- Plan de abastecimiento, albergue y asistencia social**
- Plan de actuación sobre el agente volcánico**
- Plan de coordinación informativa en situaciones de emergencia**

#### **9.4.1.3. Sistema de seguimiento e información sobre fenómenos volcánicos**

**Cualquier plan de prevención y actuación ante cualquier tipo de riesgo debe estar sustentado por un buen sistema de predicción, siempre que ello sea posible, para poder adecuar las medidas de intervención y mitigación para reducir los efectos dañinos que su actualización pudiera producir.**

**En España, el riesgo volcánico cuenta con un cierto *hándicap* ya que no existe ningún organismo encargado oficialmente de la predicción, control y seguimiento de crisis eruptivas, como sí ocurre con los terremotos (Instituto Geográfico Nacional), los fenómenos meteorológicos adversos (Instituto Nacional de Meteorología), incendios forestales (administración medioambiental), plagas de langostas (administración agrícola), etc. No escasean sin embargo las instituciones, que con carácter investigador (Universidades, Consejo Superior de Investigaciones Científicas) dedican un gran número de proyectos en el campo de la volcanología, disponiéndose de un grupo de investigadores de gran experiencia, que cuenta con prestigio y reconocimiento internacional.**

**Por otro lado, la probada eficacia del control sísmico en áreas volcánicas de cara al**

pronóstico y seguimiento de la actividad volcánica y la existencia de redes sísmicas establecidas con carácter oficial por el Instituto Geográfico Nacional en Canarias, hace que uno de los pilares del sistema nacional de seguimiento e información sobre fenómenos volcánicos sea precisamente esta red instrumental. El otro de los pilares, será el Comité Científico de Evaluación y Seguimiento de Fenómenos Volcánicos.

#### **9.4.1.4. Comité Científico de Evaluación y Seguimiento de Fenómenos Volcánicos**

La dispersión de los grupos de investigación en volcanología y la inexistencia de un organismo dedicado oficialmente el seguimiento de los fenómenos volcánicos hace necesario contar con un equipo de trabajo que garantice el seguimiento de la actividad volcánica, esté en contacto periódico con las autoridades de Protección Civil y permanentemente localizable en caso de crisis volcánica.

Para paliar esta carencia, la Directriz Básica ha previsto en su artículo 3.3.4., la constitución de un Comité Científico de Evaluación y Seguimiento de Fenómenos Volcánicos que, integrado por representantes del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, del Instituto Geográfico Nacional, de la Dirección General de Protección Civil, de la Comunidad Autónoma Canaria y otros expertos designados por el CSIC, tendrá las funciones siguientes:

- \* Elección de precursores válidos
- \* Evaluación de la información de las redes instrumentales
- \* Formulación de previsiones de crisis eruptivas
- \* Establecimiento de metodologías óptimas para la vigilancia y seguimiento de fenómenos volcánicos
- \* Recomendación de medidas de mitigación en caso de crisis volcánica

El día 26 de marzo de 1996, se constituyó este Comité Científico en la Delegación del Gobierno en Canarias (Las Palmas de Gran Canaria), bajo la presidencia del Delegado del Gobierno, que designó un Grupo de Trabajo formado por los miembros del Comité que disponen de instrumental para el seguimiento, a los efectos de evaluar en primera instancia los recursos instrumentales disponibles.

Este Comité Científico tendrá reuniones periódicas, presididas por el Delegado del Gobierno en Canarias, para informar del estado de la actividad volcánica y otras extraordinarias, cuando se hayan detectado precursores de una crisis volcánica.

#### **9.4.1.5. Base de datos sobre medios y recursos movilizables**

En el Plan Estatal se establecerán los procedimientos para la elaboración, mantenimiento y utilización de una base de datos sobre medios y recursos estatales utilizables en caso de emergencia volcánica.

#### **9.4.2. EL PLAN DE COMUNIDAD AUTÓNOMA ANTE EL RIESGO VOLCÁNICO**

**Cuando la emergencia no sea declarada de interés nacional, entrará en juego el Plan de Comunidad Autónoma, que establecerá la organización y procedimientos de actuación de los recursos y servicios de su titularidad y los que pudieran estar asignados por otras administraciones públicas o por otras entidades públicas o privadas. Aún no habiéndose activado el Plan Estatal, algunos elementos de éste formarán parte del Plan de Comunidad Autónoma.**

**El Plan contendrá como mínimo los siguientes apartados:**

##### **9.4.2.1. Zonificación del territorio en función de la peligrosidad volcánica**

**La zonificación del riesgo volcánico será establecida por el Plan de Comunidad Autónoma en base a estudios de peligrosidad y riesgo y quedará reflejada en mapas de cartografía oficial y digitalizada para su tratamiento mediante un sistema de información geográfica, que proporcione una herramienta dinámica con la que se puedan crear los diferentes escenarios previsibles en caso de crisis volcánica.**

**PLAN DE COMUNIDAD AUTÓNOMA  
ANTE EL RIESGO VOLCÁNICO**

Contenido mínimo según la Directriz Básica  
(Res. M.J.I. de 21 de febrero de 1996)

**1. Objeto**

**2. Zonificación del territorio en función de la peligrosidad volcánica**

**3. Información a la población y sistema de alertas ante crisis volcánicas**

**4. Estructura y organización**

Dirección y coordinación

Comité asesor

Gabinete de información

Grupos de acción

Reconocimiento y evaluación de la situación y de los daños

Actuación sobre el flujo de lava

Evacuación, albergue y asistencia social

Retirada de piroclastos de cubiertas de edificios y de vías de comunicación

Extinción de incendios

Abastecimiento y control sanitario de agua, alimentos y ropas

Distribución de mascarillas y filtros entre la población

Asistencia sanitaria

Rescate y salvamento

Seguridad ciudadana y control de accesos

Información a la población

Control y reparaciones de urgencia

Asegurar las comunicaciones

**5. Operatividad**

**6. Mantenimiento del Plan**

**7. Base de datos sobre medios y recursos movilizables**

Vendrá expresada en valores probabilísticos y, si no es posible mayor detalle, se diferenciarán tres niveles de peligrosidad: baja, media y alta.

**9.4.2.2. Información a la población y sistemas de alerta ante crisis volcánicas**

El Plan de Comunidad Autónoma establecerá los procedimientos para informar a la población sobre las características del riesgo volcánico en Canarias, las medidas adoptadas por los poderes públicos para su vigilancia y seguimiento y las medidas de

protección de personas y bienes previstas en la planificación. Además, en el caso de que se desencadene una crisis volcánica, deberán estar previstos los mecanismos para informar y alertar a la población sobre la evolución del fenómeno y sobre las medidas de autoprotección a adoptar o cualesquiera otras en las que los ciudadanos tomen parte activa o pasiva, siempre de acuerdo con las directrices que emanen del órgano de dirección que corresponda.

Los medios de comunicación social colaborarán estrechamente en la difusión de tales informaciones, de acuerdo con lo preceptuado en la Ley de Protección Civil.

#### **9.4.2.3. Estructura y organización**

##### **A. Dirección y coordinación**

Desde el punto de vista operativo, el Plan especificará la organización jerárquica y funcional con que se dirigirán y llevarán a cabo las actuaciones de protección en caso de que se produzca una crisis volcánica.

El Plan establecerá el órgano desde donde se ejerza la dirección del mismo, cuyas funciones principales son:

- \* **Activar el Plan**
- \* **Decidir las actuaciones más convenientes**
- \* **Decidir el fin de la emergencia**

Como órgano de apoyo a la dirección del Plan se designará un Comité Asesor y un Gabinete de Información. Del Comité Asesor formará parte, entre otros, los miembros del Comité Científico de Evaluación y Seguimiento de Fenómenos Volcánicos y un representante del Instituto Nacional de Meteorología, que garantice el seguimiento de las condiciones meteorológicas durante la crisis, tanto por ser un factor condicionante de la peligrosidad de ciertos fenómenos asociados a la actividad eruptiva como para abordar y planificar las actuaciones previstas.



**Figura 9.1.** Esquema organizativo de un Plan de Emergencia de Protección Civil ante emergencia por crisis volcánicas. Declarada la emergencia de interés nacional, la dirección del Plan se efectúa en un Comité de Dirección integrado por un representante del Ministerio del Interior y otro de la Comunidad Autónoma. Sin que medie esta declaración, la Comunidad Autónoma podrá solicitar la constitución de este Comité.

## **B. Grupos de acción**

**Con plena autonomía y responsabilidad en el cumplimiento de sus funciones pero coordinados por el órgano de dirección, se disponen diferentes Grupos de Acción o Intervención cada uno de los cuales estará bajo el mando directo de un Jefe de Grupo. Cada Grupo tiene encomendadas misiones específicas que globalmente tienden a minimizar los daños ocasionados, o que pudieran producirse, y a responder a las necesidades que puedan ir surgiendo. Básicamente, el Plan contemplará los siguientes Grupos de Acción:**

### **Grupo de reconocimiento y evaluación de daños.**

**De carácter eminentemente técnico, debe disponer de medios que garanticen el enlace directo con el mando y que aseguren una rápida movilización, preferentemente aerotransportados (helicópteros).**

### **Grupo de actuación sobre los agentes volcánicos.**

**Deberán estar capacitados para intervenir sobre las coladas lávicas que pudieran afectar a infraestructuras u otros bienes de gran valor y la acumulación de piroclastos (lapilli y cenizas) sobre edificios o vías de transporte. Para ésto, se puede recurrir al empleo de maquinaria de obras públicas, voladuras, barreras y otras soluciones ingenieriles, aunque no siempre es posible.**

### **Grupo de evacuación, albergue y asistencia social.**

**Se encargará de ejecutar las órdenes de evacuación que se dicten desde el órgano de dirección, de organizar las áreas de recepción y albergue, de organizar la intendencia necesaria en dichas áreas y de prestar todo tipo de auxilio a la población.**

### **Grupo Logístico: abastecimiento y transporte.**

**Facilitará todo el apoyo logístico que precisen los demás Grupos: material y equipos de intervención, mascarillas y filtros, combustibles, medios de transporte, alimentos, medicamentos, ropas, etc.**

### **Grupo de reparaciones de urgencia.**

**Efectuará el control y las reparaciones de urgencia de las estructuras e instalaciones cuyo deterioro pueda dar lugar a peligros asociados o constituyan servicios básicos para la población.**

### **Grupo de asistencia sanitaria.**

**Organizará el socorro sanitario en las áreas afectadas, efectuará el triaje de las víctimas, el transporte sanitario hasta los centros asistenciales, campañas profilácticas y medidas para evitar epidemias, etc.**

### **Grupo de rescate, salvamento y extinción de incendios.**

**Se vertebrará en torno a los Cuerpos de Bomberos y otros efectivos con medios humanos y materiales dedicados al salvamento y rescate de víctimas y a la extinción de incendios tanto urbanos como forestales.**

**Grupo de orden y control de accesos.**

Esta misión se encomienda a las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad que, pueden reforzarse en caso necesario con efectivos de las Fuerzas Armadas. Sus misiones fundamentales son el mantenimiento del orden y la seguridad en la zona siniestrada (mantener la fluidez del tráfico, evitar la acumulación de personas y el pillaje) y facilitar el cumplimiento de las misiones a los otros Grupos.

**Grupo de información.**

Será el encargado de transmitir a la población, bien directamente o a través de los medios de comunicación social, las directrices dadas por el órgano de dirección así como de toda la información que dicho órgano estime oportuno facilitar sobre el fenómeno y su posible evolución.

**Grupo de telecomunicaciones.**

Velará por el restablecimiento y mantenimiento de las telecomunicaciones tanto para su uso por los Grupos de Actuación como por la población en general. En este sentido hay que hacer notar que el Comité de Dirección dispondrá de total autonomía en cuanto a telecomunicaciones.

**9.4.2.4. Operatividad**

La futura planificación de Protección Civil por emergencias producidas por erupciones volcánicas definirá FASES y SITUACIONES en función de la observación y análisis que de los parámetros precursores efectúe el Comité Científico de Evaluación y Seguimiento y que servirán para tomar la siempre difícil decisión de activar el Plan, por las implicaciones sociales que conlleva una falsa alarma, y la implementación escalonada, de las diferentes actuaciones para afrontar la emergencia.

En el cuadro adjunto se propone un modelo de fases y situaciones de Protección Civil en el caso de crisis volcánicas, el cual está diseñado de acuerdo con la sistemática habitual de la Protección Civil Española en actuaciones de emergencias.

Mientras los índices de actividad volcánica se mantengan por debajo de unos niveles establecidos de antemano que garanticen la no aparición de una crisis eruptiva, se estaría en Fase de Seguimiento. Cuando se detecte cualquier anomalía en los registros instrumentales que pueda ser motivada por la actividad volcánica, se declarará la Fase de Preemergencia que se prolongaría hasta que comience la erupción o aparezcan los primeros efectos asociados que pudieran causar daños, en cuyo caso se declarará la Fase de Emergencia.

La actuación de la Protección Civil desde el punto de vista operativo, vendría condicionada sin embargo por la declaración de Situaciones. A la Fase de Seguimiento instrumental por parte del Comité Científico, le corresponde la Situación de Normalidad que habitualmente es de muy larga duración y permite la elaboración y actualización de Planes de Emergencia, el mantenimiento de los bancos de datos de medios y recursos, la realización de simulacros, estudios de vulnerabilidad y educación e información de la población.

**Desde el momento en que se detecten síntomas de actividad volcánica (Fase de Preemergencia), el sistema de Protección Civil responderá en función de la intensidad de éstos, con la aplicación paulatina de medidas, de acuerdo con el Plan de Emergencia. Se definen así las Situaciones de Prealerta, Alerta y Alerta Máxima.**

**En la Fase de Emergencia, cuando el fenómeno volcánico se ha desencadenado, las Situaciones se gradúan en función de la severidad de la emergencia, utilizando números correlativos (del 1 al 3, por ejemplo), para aplicar las medidas de intervención proporcionalmente a los daños ocasionados o previsibles.**

**Por último, cuando las medidas de actuación previstas en el Plan se ven desbordadas, se declara la Situación de Alarma, que precisa de la intervención de medios procedentes del exterior y la dirección por parte de un escalón administrativamente superior.**

**La declaración de fases y situaciones debe realizarse con criterios de flexibilidad, adaptándose en todo momento a las circunstancias cambiantes.**

#### **9.5.2.5. Mantenimiento del Plan**

**Para garantizar que los procedimientos de actuación previstos en el Plan permanezcan operativos en el tiempo, es preciso establecer un programa de actuaciones de mantenimiento. Estas actuaciones se referirán a:**

- Recepción de información periódica sobre el seguimiento de la actividad volcánica**
- Comprobaciones periódicas sobre la operatividad del Plan**
- Programa de ejercicios de adiestramiento**
- Programa de simulacros**
- Información y formación a la población**
- Sistemática y procedimiento de revisión del Plan**

#### **9.5.2.6. Base de datos sobre medios y recursos movilizables**

**El Plan de Comunidad Autónoma establecerá los procedimientos para la elaboración, mantenimiento y utilización de una base de datos sobre medios y recursos propios y asignados, su localización y disponibilidad.**

### MODELO DE DEFINICIÓN DE FASES Y SITUACIONES DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE CRISIS VOLCÁNICAS

FASE	SITUACIÓN	NIVEL ACTIVIDAD VOLCÁNICA	ACTUACIÓN COMITÉ CIENTÍFICO	ACTUACIÓN PROTECCIÓN CIVIL
	NORMALIDAD	Indices habituales de actividad	Vigilancia instrumental Emisión de informe anual a P.C.	Actualización Plan Emergencia y banco datos Realización de simulacros Estudios de vulnerabilidad Educación de la población
PREEMERGENCIA	PREALERTA	Moderada anomalías en los registros instrumentales	Verificación aparatos de medida Notificación al coordinador del C.C. Posibilidad de convocatoria del C.C.	Notificación a responsables P.C. Estrecho contacto con el comité científico
		Moderada creciente	Reunión del Comité Científico	Reunión C.C y responsables P.C Comprobación y puesta en marcha de los Planes Emergencia
	ALERTA	Fuerte	Vigilancia permanente Densificación de redes instrumentales	Activación del Plan de Emergencia
		Intensa	Vigilancia permanente Programas de simulación	
	ALERTA MÁXIMA	Fenómenos preeruptivos	Vigilancia permanente	Despliegue del operativo Evacuación de zonas de alto riesgo Activación del CECOP
EMERGENCIA	1 2 3	Comienza la erupción	Vigilancia permanente	Control accesos Evacuación de zonas alto riesgo Activación del CECOP Actuación sobre la zona afectada
	ALARMA	Actividad volcánica extremadamente violenta y/o ha superado el pronóstico		Medios de intervención desbordados

## **10 COLABORACIÓN DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPAÑOLAS EN CASO DE DESASTRE NATURAL**

**J. A. Pérez-Torres**

**La naturaleza, aliada del hombre en tantas circunstancias, se vuelve con frecuencia agresiva y altamente peligrosa. Cada año se producen en el mundo terremotos, maremotos y erupciones volcánicas, y por fortuna, no es España un país donde el riesgo sea, en ninguno de esos tipos de desastres, excesivamente elevado.**

**Por el contrario, hay otras situaciones que año tras año llenan las páginas de nuestros periódicos y los informativos de las televisiones, que son aunque de menores proporciones, igualmente desastres naturales, que se llevan como tributo del hombre a la naturaleza, vidas humanas y miles de millones de pérdidas.**

**Estas situaciones, incendios forestales, inundaciones, corrimientos de tierras, tormentas, etc., por lo frecuente de su aparición, hacen que el Estado tenga que prestarlas la atención debida en medios humanos y materiales, y sólo en los cinco últimos años, se han dedicado 200.000 millones de pesetas de los presupuestos generales, a tratar de prevenir esos desastres, o en el peor de los casos, minimizar sus consecuencias.**

**A pesar de ello, a pesar de la general concienciación de dirigentes de todos los niveles, en temas de prevención, al final, en la mayoría de los casos, no queda más remedio que utilizar, para apoyar a los elementos encargados de la protección civil, unos hombres y unos equipos, que aun no habiendo sido entrenados y diseñados para tales misiones, gustosos aportan su esfuerzo al bien común, los hombres y los materiales de las Fuerzas Armadas.**

**Este servicio, uno más de los que prestan las Fuerzas Armadas a la sociedad, no sólo es honorable y satisfactorio sino que es útil y atractivo para la actividad militar, pues supone desempeñar labores reales e importantes, cuyo fruto será sin duda salvar vidas humanas o disminuir el sufrimiento que la naturaleza desatada imponga sobre la población de una zona determinada del solar patrio.**

**Detrás de todo ello se encuentra la palabra *ayuda*. Ayudar es prestar colaboración, auxiliar, socorrer; es decir, dar algo o emplear parte de nuestro tiempo de forma desinteresada para ser útil a los demás. He ahí la razón de emplear a las Fuerzas Armadas, y esta forma de actuar, es un principio unánime y fundamental en todos los países del Mundo.**

## 10.1. PANORAMA LEGISLATIVO

La actuación de las Fuerzas Armadas en apoyo de la población civil en caso de desastres naturales, no es su principal misión, y por tanto debe de existir, como existe, una legislación que permita compatibilizar el máximo esfuerzo en ayuda de la población, con la misión prioritaria de las Fuerzas Armadas, definida en la Constitución Española.

Este cuerpo legislativo encuentra su máximo exponente en la Carta Magna, que encabeza un nutrido capítulo de legislación que podríamos considerar básicos de la Defensa Nacional, la 4/81 de los estados de alarma, excepción y sitio, la Ley 2/85 de protección civil, y diversos decretos y reales decretos que marcan las pautas a seguir por las Fuerzas Armadas en situaciones de emergencia por grave riesgo, catástrofe o calamidad pública.

También es mucha la legislación que pudiéramos considerar complementaria de la anterior, como las Reales Ordenanzas, de las Fuerzas Armadas y del Ejército de Tierra donde se contempla textualmente...'' La ejemplaridad debe presidir la actuación de la Institución Militar, que constituirá, entre las del Estado, modelo de cooperación ciudadana, especialmente en caso de catástrofe y cuando lo requieran circunstancias extraordinarias...''.

Respecto a legislación, podemos concluir una serie de puntos. El primero reconocer que la legislación referida a la colaboración de Fuerzas Armadas en desastres naturales, es muy amplia y dispersa, procedente de diversos departamentos, también que algunas de esas normas son preconstitucionales, con lo cual exigen un detallado estudio antes de su aplicación. Otro punto importante es el constatar que al no existir una ley de Defensa Civil, la legislación sobre Protección Civil esta huérfana de principios doctrinales.

## 10.2. CONDICIONES DE ACTUACIÓN

Respecto al detalle de la actuación de personal militar en tareas de ayuda, la legislación es coincidente en una serie de puntos, como son:

- Las autoridades que pueden solicitar el apoyo de FAS, son: El Ministro de Justicia e Interior al Ministro de Defensa, el Delegado del Gobierno en una Comunidad Autónoma al Mando Regional correspondiente, el Gobernador Civil a la autoridad militar provincial, y en caso de emergencia directamente las autoridades locales a cualquier Unidad Militar, dando cuenta a las autoridades territoriales correspondientes tan pronto como sea posible.
- La participación de las FAS será tan sólo cuando sea imprescindible y tendrá carácter excepcional.
- La responsabilidad de todas las medidas a adoptar en un caso de emergencia, corresponden a las autoridades administrativas, limitándose los militares a cumplir con

las misiones asignadas.

- La actuación de cualquier unidad de las FAS será siempre bajo sus mandos naturales.
- Las misiones las recibirá del Mando Único de la zona siniestrada y necesariamente a través del representante de las FAS en el Centro Coordinador montado para la ocasión (CECOPI).
- Las unidades y equipos a intervenir, no serán exclusivamente los situados en las proximidades geográficas de la zona siniestrada, sino que todos los medios de las FAS podrán ser utilizados si así se considera oportuno en apoyo de la población civil.

En resumen los criterios a seguir en la actuación de las FAS son: *Territorial*, por la localización de la catástrofe o emergencia, *Subsidiariedad* de la organización civil, *Selectividad*, complementando la carencia de medios de los servicios civiles, y *Progesividad*, de menos a más, en función del ámbito, intensidad y necesidades.

### 10.3. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Por lo general a las FAS le corresponderán misiones que podríamos encuadrar como de tareas auxiliares y de apoyo logístico, entre ellas las más frecuentes serán:

- Vigilancia de zonas quemadas por incendios o erupciones, para impedir rebrotes.
- Vigilancia y observación general de la zona de catástrofe.
- Colaboración al aislamiento de una zona afectada.
- Transporte, acarreo y tendido de todo tipo de materiales.
- Evacuaciones de población.
- Apoyo y evacuación sanitario.
- Abastecimiento de Agua, alimentos y medicinas.
- Instalación de campamentos como alojamientos provisionales.
- Apoyo con máquinas especiales de ingenieros.
- Establecimiento de redes de transmisiones.
- Todo tipo de tareas auxiliares de limpieza, desescombros, etc.

- Transporte por vía aérea de cualquier tipo de necesidad o evacuación sanitaria, mediante los helicópteros de las FAMET.

A parte de las actividades mencionadas, miembros altamente especializados de las FAS serán llamados a colaborar en ocasiones puntuales como rescates submarinos, o en alta montaña, así como en cualquier otra situación en que por su preparación o equipo sean especialistas imprescindibles.

Una participación eficaz, en cualquier actividad que haya de ser desarrollada, exige de un planeamiento previo, de un estudio de medios y misiones que permita utilizar los recursos disponibles en oportunidad de tiempo y espacio.

Respecto a desastres naturales, son muchos los estamentos científicos y administrativos que han dedicado su esfuerzo a determinar las zonas de mayor riesgo, para poder plantear una respuesta eficaz a cada situación.

Los resultados de varias investigaciones, parecen coincidir en que las catástrofes que con mayor probabilidad pueden producirse en España, son: Incendios forestales de grandes proporciones, inundaciones y en menor medida terremotos, quedando el riesgo de erupciones volcánicas, en muy bajas probabilidades y puntos muy localizados.

En cuanto a incendios las zonas de mayor peligro están al Norte, desde Galicia hasta Cataluña. Respecto a inundaciones las cuencas de los ríos Júcar y Segura y en general las de los que dan al Mediterráneo. La zona de mayor riesgo sísmico es sin duda la zona Sur, más específicamente las provincias de Murcia, Granada y Almería, por encontrarse sobre el eje que separa las placas euroasiática y africana. Los riesgos volcánicos más probables se sitúan en el archipiélago canario.

Como respuesta a estas previsiones, los distintos Mandos Regionales del Ejército, planean mediante sus Estados Mayores planes de contingencia para las situaciones más probables de cada región. Un ejemplo es el que se puede observar en el Plan denominado "*Normas de actuación en caso de inundaciones*" emitidas por la 3ª Sección de Estado Mayor del Mando Regional de Levante.

Esta norma como las demás tiene un carácter general que viene impuesto por la imposibilidad de precisar la zona exacta donde las inundaciones de producirán, así como la extensión y naturaleza del desastre. No obstante, son una herramienta útil, en cuanto que marca unidades a estar en alerta, medios disponibles, etc.

Para finalizar baste citar un dato que nos permita deducir el grado de implicación de las FAS y particularmente del Ejército de Tierra en actividades de ayuda a la población civil en desastres naturales. Durante los últimos 10 años han participado en incendios e inundaciones más de 20.000 hombres y se han realizado de 600 intervenciones de helicópteros superando las 2.000 horas de vuelo.

#### 10.4. DATOS PLANEAMIENTO LOGISTICO

Los datos aquí expuestos deberán ser empleados con un criterio flexible, debiendo adaptarse a las diferentes situaciones que se pueden producir.

De todos los datos que existen para realizar los cálculos de una operación de apoyo logístico aquí sólo vamos a citar los referidos a Transporte y Montaje de Campamentos de Circunstancias, cubriendo así una de las primeras necesidades que se producen en caso de desastre natural para atender a la población civil.

##### TRANSPORTE:

- \* Por carretera
- \* Aéreo

##### - Por carretera:

Dependiendo del Tipo de Vehículo:

\* 2500 kg a 6000 kg camión viaje

\* 6 m<sup>3</sup> a 21 m<sup>3</sup> " "

\* 16 a 24 personas " "

Velocidad de transporte: 50 km/h.

Hay que tener en cuenta las posibilidades de las Vías de Comunicación de la Zona.

##### - Aéreo:

Capacidad de transporte:

A) Helicóptero Medio:

- Para helitransporte:

12 personas o 1000 kg de carga

- Para evacuaciones:

6 hombres en camilla y un sanitario

B) Helicóptero Pesado:

- Para helitransporte:

40 personas o 8000 kg de carga

- Para evacuaciones:

24 hombres en camilla

Autonomía de vuelo:

A) Helicóptero Medio:

2:30 horas 300 km sin retorno / 150 km ida y vuelta

B) Helicóptero Pesado:

2:30 horas 600 km sin retorno / 300 km ida y vuelta

**INSTALACION DE CAMPAMENTO:**

**- Tiendas Modulares:**

**Capacidad: 20 personas**

**Tiempo de montaje: 15 minutos 6 hombres**

<b>6 hombres</b>	<b>15 minutos</b>	<b>1 tienda</b>	<b>20 personas</b>
<b>48 "</b>	<b>2 horas</b>	<b>100 "</b>	<b>2000 "</b>
<b>100 "</b>	<b>4 "</b>	<b>250 "</b>	<b>5000 "</b>

**- Equipo de duchas:**

**Capacidad: 24 personas cada 5 minutos**

**Tiempo de Montaje: 30 minutos 6 hombres**

**- Panificadora:**

**Capacidad:10000 panes/día**

**Tiempo de Montaje: 60 minutos 12 hombres**

**- Lavandería:**

**Capacidad: 50 kg de ropa 90 minutos. Lavado y secado.**

**Tiempo de Montaje: 30 minutos 6 hombres**

**- Cocina de Campaña:**

**Capacidad: 250 plazas /raciones día (desayuno, comida y cena).**

**Tiempo de Montaje: 30 minutos 6 hombres**

**- Letrinas químicas:**

**No exige instalación.**

**- Cooperativa (Bar):**

**Capacidad 1000 hombres/día**

**Tiempo de montaje: 60 minutos 5 hombres.**

## 11 VOLCANISMO Y COMUNICACION SOCIAL

Claudia Eleonor Natenzon

La importancia de los medios de comunicación en el desarrollo de una crisis volcánica ha sido analizada repetidamente en sus aspectos más generales (Fiske, 1984; Tilling, 1989; Araña y Ortiz, 1993). En este trabajo se presenta el análisis realizado sobre el seguimiento que hizo la prensa argentina de la erupción del volcán Hudson (1991). Entre el 8 y el 9 de agosto de 1991 el volcán Hudson, ubicado en territorio chileno ( $46^{\circ}06'S$ ,  $72^{\circ}59'W$ ) entró en erupción. El primer episodio fue abrupto, de naturaleza basáltica. El segundo, ocurrido tres días después y por el término de cuatro jornadas, fue diferente: de composición tranquiandesítica, mayor volumen y duración, con denso penacho de gases y cenizas (CEV, 1991). Estos fenómenos volcánicos se superpusieron a condiciones meteorológicas particulares que incidieron en la distribución del material emitido, en calidad e intensidad. "La columna pulsátil de gas y cenizas emanada desde la caldera del Volcán Hudson se elevaba a 8000 y más metros sobre el cráter, siendo coronada por una gran nube casquete-esférica con frecuentes y luminosas descargas eléctricas. Este conjunto fue inmediatamente transportado por vientos del WSW elevándose progresivamente hasta alcanzar 12000 y más metros al ingresar en territorio argentino. El denso penacho se trasladó a gran altura en la baja estratósfera (12000 a 16000 m) y sin gran dispersión barrió un ángulo horizontal de solo  $15^{\circ}$ . A raíz de esta circunstancia la caída de tefras ocurrida entre el 12 y 15 de agosto se concentró sobre una angosta área triangular de la Patagonia que abarca desde el volcán Hudson próximo a la costa Pacífica hasta los Puertos Deseado y San Julián sobre el Océano Atlántico. (...) Inmediatamente después de la caída de tefra, en toda esta región comenzaron a soplar vientos de cierta violencia (como no es inusual en estas latitudes, hasta 60 nudos) condiciones que se mantuvieron durante aproximadamente una semana." (Ibidem)

En lo que sigue, se realizara un análisis de la forma en que este fenómeno fue tomado como noticia por parte de un medio masivo de comunicación social, la prensa, para el caso particular de un diario de alcance nacional. Dicho análisis forma parte de una línea de trabajo desarrollada desde 1987 en el PIRNA - Programa de Recursos Naturales y Ambiente, cuyo objetivo es superar interpretaciones causales (naturales o sociales) que ven a los fenómenos como "catastróficos" en sí mismos, "impactando" un objeto homogéneo, la sociedad, receptor pasivo de los procesos y acontecimientos de índole físico-natural.

Por el contrario, en este caso interesa reconocer para quién y en qué condiciones tales fenómenos pueden ser calificados de catastróficos, según sean las condiciones -heterogeneidades- precedentes de los grupos sociales involucrados (Natenzon, 1993, 1994). Parte de este reconocimiento incluye establecer qué concepciones están instaladas en el sentido común de la sociedad (en este caso a nivel nacional) respecto a la erupción de un volcán como fenómeno físico-natural particular a través de los registros públicos cristalizados en las noticias periodísticas.

## 11.1. METODOLOGIA

Hay varias perspectivas desde las cuales es posible analizar un fenómeno físico-natural de consecuencias catastróficas: respecto a la causalidad de los procesos físico-naturales, respecto a la causalidad de los constructos sociales, respecto a la estructura socio-económica antecedente y respecto a la visión de la sociedad involucrada (Natenzon, 1994). Este ejercicio se ubica en la última perspectiva nombrada. Dentro de las ciencias sociales y respecto al uso de material periodístico para la construcción de conocimiento, también es posible recorrer más de un camino. Uno de ellos es analizar la producción periodística en tanto expresión de un agente/actor/sujeto político -el de la prensa escrita como medio masivo de comunicación-, sus relaciones con el poder y las mediaciones que produce entre la información y la sociedad civil. Otro camino es realizar un análisis del discurso, aplicando al texto periodístico marcos conceptuales y técnicas provenientes de la lingüística y la semiótica. También se ha propuesto utilizar los diarios como una vía para la construcción de datos primarios (parte imprescindible del método etnográfico) en situaciones donde resulta imposible mantener contacto "en el campo" con personajes públicos centrales, determinantes y portadores de la lógica que impregna la toma de decisiones políticas (Grassi, 1994).

La presente "disección" de las noticias producidas sobre la erupción del Hudson no se centra en ninguno de estos tres caminos, aunque incorpora aspectos parciales de ellos. Aquí se apunta a desentrañar las características del evento tomado como "noticia", las consecuencias socioeconómicas puestas de manifiesto y consideradas relevantes por el medio de prensa elegido, como expresión de los planos, aspectos, circunstancias, etc. que aparecen interesantes a la opinión pública y, en consecuencia, a la sociedad en su conjunto.

El medio de prensa tomado aquí como objeto de estudio es el diario "Clarín", publicación que acaba de cumplir 50 años en el mercado (primer número, 28/8/1945). En agosto de 1991 el promedio de ventas diarias de ejemplares fue de 562.790, y en setiembre, 602.553 (Instituto Verificador de Publicaciones, consulta personal)<sup>1</sup>. Se considera que es un diario dirigido a la clase media, el de mayor importancia en cuanto a avisos clasificados para transacciones inmobiliarias o búsqueda de trabajo. La estructura del cuerpo principal cambia según el día de publicación. Los ejemplares que contienen el universo de artículos analizados (14 de agosto al 29 de setiembre de 1991) en general tiene 56 páginas, cifra que en días con noticias especiales e importantes se extiende a 72. Comienza, obviamente, con la tapa en página 1, donde se anuncian las noticias más relevantes de esa edición, y termina siempre con secciones fijas: "Servicios", "Sociedad" y "Tiempo". La contratapa esta ocupada por historietas.

---

<sup>1</sup> Para poder comparar con la actualidad se consigna que en agosto de 1995 el diario Clarín vendió en promedio 633.000 ejemplares los días lunes, 690.000 los días martes (en que se incluye un fascículo coleccionable) y 1.000.000 los domingos (día en que el precio es mas alto pero que se compensa con el tiempo disponible para su lectura y la mayor cantidad de secciones incluidas).

En Argentina existen otros diarios publicados en la Capital Federal, que se difunden en ciudades capitales del interior del país no especializados: La Nación y Página 12; y especializados: Ámbito Financiero y El Cronista Comercial. A nivel provincial se publica el diario "La Opinión Austral", editado en la capital (Río Gallegos); aunque en el norte de la provincia también tienen distribución dos periódicos de Chubut, que se publican en días alternados: "Crónica" y "El Patagónico". No se ha registrado la existencia de periódicos publicados a nivel local. Para que el presente estudio fuera completo deberían aplicarse estas mismas técnicas de análisis a las noticias publicadas en todos estos periódicos y comparar los resultados, tarea que queda para una próxima oportunidad.

El universo a estudiar es la expresión concreta del fenómeno "erupción del volcán Hudson" considerada como noticia. La "noticia" es el hecho a transmitir. Hay noticia siempre que ocurra algo -un evento novedoso- que se pueda contar. Dicho universo ha sido revisado minuciosamente y fichado, tomando como unidad mínima a cada uno de los "artículos" o "notas" que el diario Clarín editó sobre la erupción del volcán Hudson a partir de la primer fecha en que apareció una referencia al tema en el cuerpo principal del diario (14/8/91) de manera continua o discontinua hasta que ya no hubo referencia alguna sobre él por un lapso continuado mínimo de un mes (30/9/91 en adelante).

Para los fines de este trabajo se define como "artículo" o "nota" a un texto diferenciado del resto por su coherencia interna propia, que se edita en un periódico, un día y una sección determinados. La noticia puede estar constituida por varios artículos agrupados en una misma sección o dispersos en distintas secciones del diario. Una forma especial de artículo o nota es aquella llamada "de opinión", en donde se identifica al autor por su firma. Otra forma especial de artículo o nota es cuando se reproduce un "cable" textualmente, tal como se recibió de una agencia de noticias externa a la redacción del diario. El fichado registró 61 artículos en 25 ejemplares diarios, publicados de manera discontinua en un período de 47 días. Cada ficha contiene la siguiente información: número de orden, nombre del diario, fecha de publicación, página(s) en donde se encuentra, sección del diario en la que está incluido (en este caso sólo se consideró el cuerpo principal), extensión (superficie en cm<sup>2</sup>), autor -si corresponde-, título, antetítulo(s) -si corresponde-, inclusión de gráficos (fotos, esquemas, mapas, tablas), y síntesis que puede reproducirla "bajada" o "copete"<sup>2</sup> del artículo (si fuera el caso), referencias textuales y comentarios propios sobre los principales aspectos contenidos en el artículo.

Si bien el trabajo de análisis o disección apuntó tanto a los aspectos cualitativos como cuantitativos que aparecen en las notas, el resultado final es de corte eminentemente cualitativo. Para ambos aspectos se trabajó de la siguiente manera: Una vez realizado el

---

<sup>2</sup> La bajada o copete es un texto de síntesis de las principales líneas temáticas contenidas en el artículo. Se incluye en notas muy extensas entre el título y el desarrollo del texto, para situar al lector e incentivar la lectura. Un tipo especial de copete es el llamado "de paso", frase de síntesis intercalada en medio del texto de un artículo, con la misma finalidad que el anterior (Jorge Uchitel, Escuela de Periodismo Científico de Fundación Campomar; comentario personal).

fichado ya señalado (que permitió una primer lectura de la noticia a lo largo del tiempo), se realizaron múltiples lecturas transversales al texto, con sus correspondientes registros; tantas lecturas como aspectos particulares se deseaba identificar, disectar y reordenar. El resultado ordenado de dicho trabajo aparece a continuación. Se trata de los *temas centrales* "recortados" del total de cada nota, la *importancia* dada a la noticia en el período considerado y la importancia dada a la *información cuantitativa* en la configuración de la noticia. Debe dejarse constancia que aquí no se avanza en discutir lo pertinente, válido, oportuno y veraz de la información y las consideraciones realizadas en los artículos periodísticos sobre el fenómeno según la "academia". Este punto debería cubrirse como una tarea posterior, en interrelación con expertos en materia de volcanes, sus efectos por erupción y la gestión pública.

## 11.2. RESULTADOS

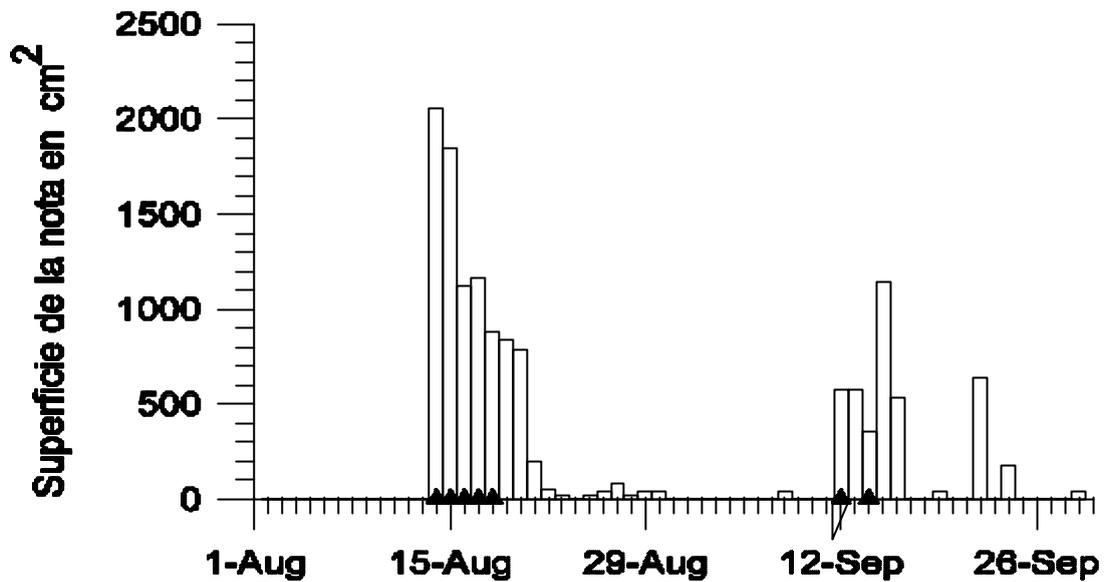
### 11.2.1. La importancia de la noticia

La importancia dada a la noticia en el período considerado es analizada partiendo de suponer que hay una relación directa entre la superficie asignada a los artículos y el interés para el periódico- público. También es importante la continuidad-discontinuidad de la publicación en el lapso considerado.

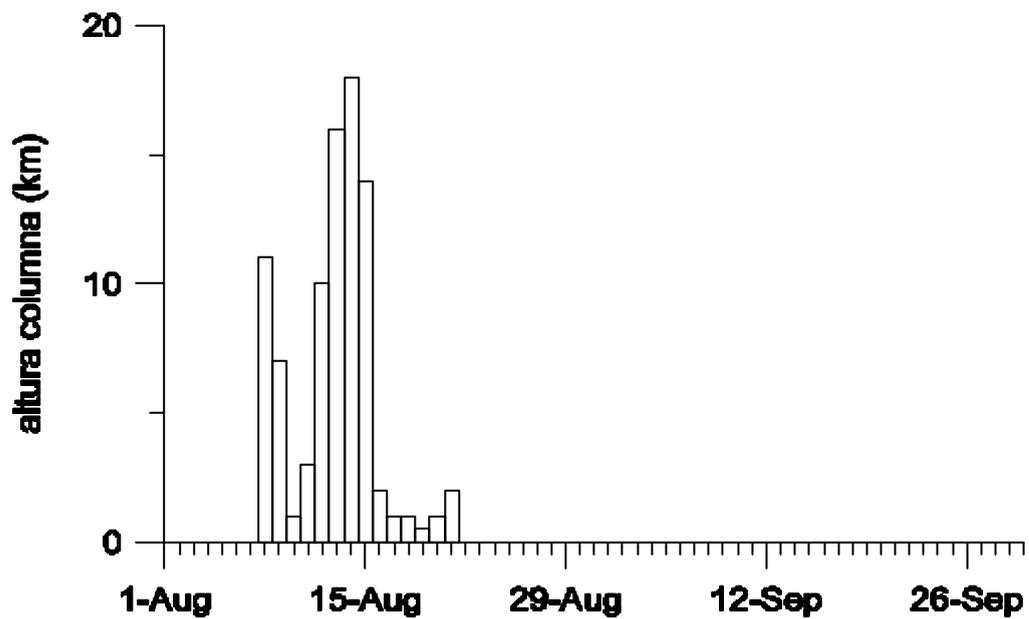
A tal efecto, se realizó una medición de la superficie de cada artículo, incluyendo la aparición en tapa. Estos valores fueron acumulados para cada día. El resultado se indica como valores absolutos de superficie, en  $\text{cm}^2$ . Además se estableció un segundo valor, de tipo relativo, en tanto por mil de la superficie total de cada ejemplar del diario  $\text{superficie relativa} = 1000 \times \text{superficie absoluta} / (\text{número de páginas} \times 1078 \text{ cm}^2)$ ; en donde 1078 = superficie de una página).

La figura 11-1 muestra los resultados numéricos, pudiéndose realizar las siguientes observaciones:

La noticia apareció por primera vez el 14 de agosto, casi una semana después de la primer erupción (8 y 9 de agosto) y dos días después de haberse iniciado la segunda erupción, que fue desde el punto de vista de la espectacularidad, mucho más intensa que la primera. ¿Porqué esta demora? Hay varias posibilidades: Una, es que en esa región suele haber "anuncios" de potenciales erupciones volcánicas que luego no se concretan, por lo cual el medio periodístico se tomó su tiempo para estar seguro; pero hemos constatado que otros medios periodísticos (La Nación y Página 12) iniciaron la publicación de esta noticia en la misma fecha. Queda entonces suponer que lo que convirtió a la erupción en noticia fue la espectacularidad de la segunda erupción y lo impactante de sus consecuencias.



**Figura 11-1** Superficie ocupada por la noticias sobre la erupción del volcan Hudson en el diario Clarín de Buenos Aires. Los triángulos significan que la noticia aparece en portada.



**Figura 11-2** Altura de la columna eruptiva del volcán Hudson (Naranjo et al., 1993)

Las distribuciones muestran una presencia prácticamente continuada durante 17 días; en este lapso, la superficie de la noticia decrece de manera continua. En el caso de los

valores relativos hay un incremento en el cuarto día, al publicarse un ejemplar con menor número total de páginas en el cuerpo principal (¿falta de noticias? ¿falta de avisos publicitarios? ¿día de la semana?). El decrecimiento tiene una pendiente muy pronunciada durante la primer semana, para estabilizarse a valores muy bajos -alrededor del 1 por mil- en la segunda: la noticia se mantiene latente.

Luego de una aparición puntual (8/9/91), el tema vuelve a tener presencia importante entre el 12 y el 16 de setiembre, re-instalada como noticia por efecto de "arrastré" por la aparición en la misma región del país, Patagonia, de pingüinos amenazados por derrames de petróleo producidos en el Océano Atlántico. Sin embargo, en este segundo período de vigencia de la noticia, su presencia es mucho más discontinua que en la primer etapa. Además, cubre mucho menos que en aquella oportunidad: de 33 por mil bajo a 16. La superficie asignada se comparte con el desastre de los pingüinos empetroados y, en algún caso, sólo se menciona al Hudson en función del otro tema: "Satélites de la NASA buscan el petróleo que mata a los pingüinos. La nube de ceniza del volcán Hudson impidió localizarlo." (13/9/91)

Finalmente, la noticia pierde tanto continuidad como importancia, apareciendo cuatro días en un período de diez antes de desaparecer.

### 11.2.2. Los temas

Este punto expresa los temas más relevantes que constituyen la noticia. Han perdido el orden cronológico (sucesiva aparición en la secuencia de la lectura) reordenados en función de un nuevo criterio, el de los temas tratados y su desarrollo particular.

#### a) Descripción de la erupción y los fenómenos asociados

Se señala la "violenta" erupción del volcán -que aparece como un "ruidoso resplandor"- y sus consecuencias: enorme nube de humo, fuerte lluvia de cenizas, reducción de visibilidad, transformación del día en "noche cerrada".

Se ponen de manifiesto fenómenos asociados, tales como lluvia de arena, "extraños" rayos y relámpagos, y tormentas eléctricas poco frecuentes en la zona. El obscurecimiento por lapsos prolongados merece ser nota de tapa: "Una noche que duró 21 horas" (16/8/91), y también resalta el momento en que reaparece el sol "...luego de 4 días de 'noche obligada' por la concentración de cenizas" (19/8/91).

Se establecen analogías y vinculaciones con otros fenómenos, tales como: "...el paso de la nube produjo un 'efecto invernadero' con datos estremecedores: en cuestión de minutos la temperatura que era de 3° subió a ocho grados"; o "...un gigantesco hongo en el cielo parecido al de una explosión nuclear" (14/8/91). El aspecto de la ceniza es comparado al cemento en polvo.

La dispersión geográfica de la nube y localidades que van siendo afectadas aparecen en el texto, prácticamente en todos los días que se hace referencia al tema; el primer día se incluye un cartograma condicha dispersión en el extremo sur de Chile, Argentina, el Océano Pacífico y el Atlántico.

Incluso hay artículos dedicados exclusivamente a analizar la información meteorológica y los futuros movimientos de la nube (15/8/91); la llegada de cenizas a las Islas Malvinas (15 y 16/8/91) y a la región pampeana por el sur bonaerense -área más productiva del país- (22/8/91); y el miedo que despiertan las consecuencias de la próxima llegada de vientos estacionales de primavera y verano (Título: "Miedo al viento", 15/9/91) más de un mes después de haberse producido la primera erupción.

En los primeros días de publicación se hace referencia a:

anteriores erupciones, con indicaciones cronológicas o señalando cuántos años hace que no se producía un fenómeno similar;

erupciones producidas por otros volcanes en la región ("El último gran susto lo dió el Lonquimay", 14/8/91) o en otras partes del planeta (caso Pinatubo, en Filipinas) indicando muertos, evacuados, efecto en navegación aérea y toxicidad;

notas complementarias de divulgación científica, en las que se explica como se produjo la erupción en base a la teoría de placas (Arias, 14/8/91) o la relación entre la erupción del Monte Pinatubo, el efecto invernadero y el enfriamiento de la Tierra (Booth, 15/8/91).

A lo largo de todo el período considerado, se agrega un artículo especial sobre el tema en la sección dedicada al estado del tiempo (14 veces sobre 25 días de publicación). Esta sección incluye alternativamente varios aspectos. Se dan las coordenadas geográficas del volcán. Se describen las cenizas: color, olor y espesor acumulado para determinada localidad y hora del día; también el desplazamiento de la nube y las zonas que van siendo afectadas. El tema de las cenizas es tan importante que rápidamente desplaza la palabra "volcán" de los títulos de esta sección ("Nube de cenizas", "Lluvia de cenizas" o "Cenizas volcánicas").

Cuando el viento comienza a complicar la situación, este se transforma en el tema central, con referencias al cuadrante de donde sopla, su intensidad y velocidad; merecen especial consideración sus efectos sobre la reducción de la visibilidad<sup>3</sup>. También se señala la presencia de otros fenómenos meteorológicos asociados: lluvias y nevadas. En escasas oportunidades se hace mención a la fuente consultada, el Servicio Meteorológico Nacional (aunque podría suponerse que, por estar en la sección "Tiempo" toda la información es

---

<sup>3</sup> En el artículo del 22/8/91 se publica el siguiente error: "Las cenizas volcánicas causadas ayer [sic] por la erupción del volcán Hudson...". El mismo artículo fue reproducido de manera textual en la edición del día posterior (23/8/91).

provista por dicho Servicio). Al concluir la segunda erupción el diario consigna esta actividad: "Nueva explosión del volcán" y la apertura de un tercer cráter en el Hudson: "Lluvia de piedras sobre un pueblo chileno: el volcán tiene 3 cráteres" (17/8/91) y sus consecuencias en nota de tapa del día siguiente: "Huracán de arena y cenizas". Del lado chileno, se teme el desborde del Río Ibañez por "... efecto de la caída en las aguas de material volcánico". También se consigna una "lluvia de piedras" de 10 a 15 cm. de diámetro, que cayó en una ciudad chilena ubicada a 60 km. del volcán. A lo largo de los distintos artículos aparecidos puntos poco claros a los que se da lugar en la noticia:

Habiéndose producido la segunda erupción, el diario planteó la duda de que fuera un solo volcán el que entró en actividad, dando cabida a "...versiones sobre la actividad del volcán San Valentín (50 km. al sur del Hudson)..." enunciadas por un diputado santacruceño que visitaba el área afectada y fue entrevistado: "El San Valentín ... también entró en erupción anoche, causando temblores subterráneos y otra lluvia de cenizas, que llegaron a 5 centímetros esta mañana". Junto a estas declaraciones, también se consigna la desmentida categórica de Gendarmería Nacional, autoridades y científicos chilenos.

En el segundo momento de interés por el tema, una enviada especial del diario a Los Antiguos y Perito Moreno, da a entender que hay indicios de una nueva erupción: "...el jueves [12/9/91] el volcán volvió a tronar y aquí temblaron los vidrios." Pero el tema no vuelve a tocarse.

#### b) Medidas frente a la erupción y sus consecuencias

Respecto a las medidas tomadas o a tomar para la prevención y defensa de la población, la cuestión de las *evacuaciones* ocupa el primer lugar. Se indaga sobre la necesidad de realizarlas, se señala qué poblaciones tienen potencialmente posibilidades de ser evacuadas, si se ha establecido el estado de alerta y toda otra consideración vinculada a la permanencia o no de los pobladores en el área afectada. El tema merece estar en la tapa del diario (15/8/91). En todo momento se señala la actitud ambivalente de los pobladores, entre que no quieren irse pero que van a tener que hacerlo: "...ese es el mayor desvelo en Los Antiguos y Perito Moreno...preparando rápidamente sus valijas, aunque no lo deseen, los pobladores saben que será inevitable..." (15/8/91)

En un principio, "...se alertó a los pobladores para que no abandonases sus hogares hasta que no se determinara el grado de toxicidad de la partículas. Se recomendó también sellar puertas y ventanas y, en el caso de salir a la calle, cubrirse la boca y la nariz con barbijos de tela"; en definitiva, evitar toda exposición al aire libre. En Puerto Deseado, ubicado sobre la costa atlántica, al llegar la nube de cenizas se decreto asueto público y privado, suspendiendo las clases y declarando "emergencia preventiva" (14/8/91).

A una semana de la primera erupción, el ministro nacional de Salud y Acción Social había

puesto en estado de alerta sus delegados federales sanitarios (ver más adelante consecuencias sociales en materia de salud). En la provincia se habían suspendido las actividades comerciales y escolares (15/8/91) y luego se declaró el estado de emergencia en toda la provincia. Se expresa dramatizada la decisión de evacuar uno de los pueblos más afectados: "A las 11 de la mañana [sic] el intendente de Los Antiguos decidió la evacuación del pueblo, situado a 250 kilómetros del volcán, por el pánico de la población" (16/8/91). Dos días después, se señala que "...Los Antiguos ya se convirtió en un pueblo fantasma, abandonado por la mayoría de sus vecinos" y se comienza a relatar la evacuación del otro pueblo afectado, Perito Moreno "...en micro y con máscaras". Se señala que son evacuaciones espontáneas en micros dispuestos por la Municipalidad, y que la gente estaba esperando a cobrar el sueldo para irse (19/8/91).

Las autoridades consideran que serán necesarios dos años para las tareas de recuperación. También se indica que es Defensa Civil la institución encargada de comunicar las medidas de prevención a los habitantes. El 19 de agosto "...el gobierno de Santa Cruz resolvió declarar zona de desastre agropecuario al departamento Lago Buenos Aires." La misma noticia se amplía día después indicando que se "... decidió eximir del pago de impuestos y servicios a todos los pobladores" del departamento.

Se consigna el paso por la zona afectada de expertos y equipos técnicos:

Un equipo médico de la Subsecretaría Nacional de Salud, con carácter preventivo (14/8/91);

Expertos para medir el grado de toxicidad de la materia volcánica, principalmente, en aire; y en Chile, expertos de UNDRO para determinar si corresponde acceso a fondos de emergencia (18/8/91)

La zona afectada recibe donaciones de ciudades de Santa Cruz (pescado, máscaras caseras [sic], aportes en dinero del gobierno provincial y del nacional, agua potable envasada en sachets).

Un mes después, cuando se retoma la noticia, una enviada especial consigna que los habitantes ya habían regresado, "...Pero la mayoría anda pensando en irse para siempre" y no saben "...si están en el día después o si la verdadera pesadilla recién empieza" (14/9/91). También, que los productores agremiados, piden a la Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca, que la zona sea declarada de desastre por parte del nivel nacional de gobierno.

### c) Consecuencias sociales

Lo primero que interesa es el tema de las *víctimas*. Es de tanta importancia que se lo menciona aunque más no sea para anunciar que, en este caso, no las hubo. O se las "recupera" de las noticias internacionales en referencia a otras erupciones, dando lugar, por ejemplo, a un artículo recuadrado: "El Pinatubo mató ya a 483 personas" (aunque en realidad

el título simplifica en una cadena causal "erupción- muertes", una situación que aparece indirectamente, ya que el texto explica que los decesos se producen en los campamentos, por aparición de brotes epidémicos; 17/8/91). Entonces, ya que no hay muertos, se procura ver si hay afectados: "Aunque no hay víctimas humanas hasta ahora [siempre queda una esperanza] las autoridades sanitarias del poblado [de Los Antiguos] alertaron sobre los riesgos de contraer problemas respiratorios o lesiones oculares" (15/8/91).

El tema sanitario es encarado en distintos planos: desde las incomodidades y molestias que el fenómeno provoca en la población afectada (aire irrespirable, desagradable sabor en la boca, irritación en los ojos) a la probable *toxicidad* de los materiales. Este último punto es el más importante que emérita la publicación de artículos específicos sobre el particular y recorre toda la noticia, aun en los últimos días. "La nube no sería tóxica", noticia del 14/8/91, permanentemente plantea la duda sobre si las cenizas son tóxicas o no. Si bien se registra la opinión de expertos e instituciones en el sentido de que las cenizas son molestas pero no tóxicas, se juega con la posibilidad en contrario: "...Pese a que los primeros análisis aseguran que las nubes de ceniza ... no son tóxicas, el Ministro de Salud envió máscaras antigás. Temen que haya contaminación en lagos y ríos y que se afecte la producción ganadera por los efectos nocivos de las cenizas sobre las pasturas" (15/8/91). En consecuencia se pone de manifiesto que se están tomando muestras de cenizas o que se están haciendo análisis. Todavía un mes y medio después seguía debatiéndose si las cenizas eran tóxicas o no. "Se aseguró que las cenizas no son tóxicas. Pero en varios pueblos quieren que se hagan estudios para comprobarlo" (22/9/91). También se señala que las cenizas pueden estar aportando una cantidad excesiva de flúor que daña los huesos del ganado.

Una consecuencia importante para la seguridad y el abrigo de la gente es el peligro de *derrumbe de los techos* de las viviendas por acumulación y peso de las cenizas. Este problema sólo es enunciado en un par de oportunidades.

Otros temas que son poco considerados se refieren a distintos problemas en la posibilidad de contaminación en el agua para uso doméstico y en la *salud de la gente*. Recién en los últimos artículos se analiza el problema de la salud con cierta profundidad. Se entrevista al personal del Hospital de Perito Moreno, señalando que sólo hay "Dos médicos para 5.000 habitantes" (15/9/91). Allí se consigna que los problemas esporádicos en las vías respiratorias (asma, bronquitis y bronquiolitis) ahora son crónicos, y que existe peligro de neumoconiosis. Las mujeres de los pueblos reclaman: "Todos se preocupan por las ovejas, ¿y para cuando nosotros?". Los médicos pintan un panorama poco alentador. El Hospital, de por sí con carencias (nunca hubo oculista, pediatra ni traumatólogo), tuvo que cerrar la sala de partos y el quirófano por el polvo presente y tampoco es posible tomar radiografías. Se deben realizar derivaciones a más de 300 km. Los médicos también están preocupados por la toxicidad de las cenizas, que pueden tener consecuencias a largo plazo: "Tendrá un efecto retroscópico: vamos a saber que va a pasar con la gente... cuando pase" (15/9/91).

También son señaladas las *consecuencias psicológicas* que traen aparejados los efectos de la erupción: Hay sorpresa y temor por el fenómeno. En particular, el obscurecimiento total

por cuatro días consecutivos (hasta el 18/8/91) tiene efectos psicológicos muy negativos. "El asunto pasa por la seguridad psicológica. La gente está muy asustada por lo que va a venir. Resulta muy negativa la presencia obligada de los chicos en sus casas por más de un mes (15/9/91). De manera simétrica, se expresa optimismo cuando sale el sol y mejoran las condiciones climáticas (lluvia que limpia las cenizas, calma de los vientos). "Empieza a volver el verde y los sauces tienen en esta época del año un leve tono rojo amarillento" (19/8/91).

En distintos momentos se generan *conflictos* de diferente tipo: la gente no quiere dejar sus casas, sienten que falta ayuda, no hay máscaras y cuando hay, no alcanzan para todos y son de mala calidad. Se denuncia que 3.200 máscaras distribuidas sólo tienen vida útil de un día o a lo sumo 48 horas (18/8/92). Los médicos locales se quejan que los especialistas de Buenos Aires que vinieron a la zona sólo se quedaron dos días (15/9/91).

Pasado un tiempo, el diario da precios de artículos de primera necesidad para que los lectores puedan comparar con los precios normales, poniendo así de manifiesto la especulación de los comerciantes.

Los pueblos son "pueblos fantasma", primero por el aspecto que dan las cenizas y la falta de movimiento y actividades; después, ligado al tema de la evacuación de personas. También se consigna la *situación educativa*, poniendo de manifiesto que el fenómeno ha significado la pérdida del año escolar (19/8/91). Se señala que el año anterior, por las huelgas docentes, los chicos pasaron de grado gracias a un decreto, y "Ahora vino lo del volcán" (15/9/91). La entrevista a personas y familias afectadas es un recurso utilizado para expresar el impacto de la erupción en la vida cotidiana de la gente. Se recurre a casos chilenos cuando estos tienen mayor espectacularidad: "Perdió todo un campesino que vivía a 2.000 metros de un cráter". También se entrevista a productores argentinos de frutas y hortalizas.

#### d) Incidencia en infraestructura y comunicación

La posibilidad de comunicarse o no adquiere relevancia: "...Los pobladores pasaron todo el día de ayer encerrados en sus casas, escuchando las noticias de la repetidora local de Radio Nacional o intentando sintonizar la televisión chilena. En la noche de ayer (...) Los Antiguos quedaba prácticamente incomunicados: era imposible hablar por el sistema de radio desde Perito Moreno (no hay teléfonos), lo que creaba aun más incertidumbre sobre el pueblo más azotado del lado argentino." (15/8/91).

Se presta especial atención a las condiciones de la comunicación con el resto del país; en distintos momentos, a lo largo de todo el período considerado, se pone de manifiesto el cierre de aeropuertos y qué hacen las compañías de aviación, por ser este un medio de transporte muy importante en la región, dadas las largas distancias involucradas y su escaso poblamiento. También aparecen noticias cuando el fenómeno afecta el transporte de gas por gasoductos. Como las cenizas dificultaron la habitabilidad del medio y la operación de gasoductos en la cuenca gasífera de San Julián, la empresa a cargo (Gas del Estado) evacuó

el personal de la planta compresora y detuvo el funcionamiento de los equipos de filtrado de aire. Sin embargo, se dejó expresa constancia que el suministro de gas a las áreas de consumo no se vería gravemente afectado.

Más de un mes después de las erupciones, todavía aparecen artículos señalando las consecuencias de las cenizas en la circulación de rutas importantes de la región que la conectan con el resto del país: "Cortaron la ruta 3 por lluvia de cenizas volcánicas", como titular de una nota que comenta la suspensión del tránsito en esa ruta a la altura de la ciudad de Río Gallegos, por el fuerte viento con cenizas que ha producido pérdida de visibilidad (24/9/91).

#### e) Consecuencias económicas y ecológicas

Dado que el área afectada más cercana al volcán es una de las pocas en la provincia de Santa Cruz con condiciones apropiadas para la producción agropecuaria, las consecuencias desde el punto de vista ecológico y su repercusión en la economía local resultan temas importantes que aparecen tanto en artículos especiales como en partes de los textos o incluso en los titulares. Las dimensiones del problema son:

##### 1) falta de pastos para ganado, e incidencia en los propios animales

El 40% de las majadas de lanares está sobre los pastizales de esta zona precordillerana. Desde el principio se prevé que los pastizales quedarían arruinados (15/8/91) y que los animales morirán por inanición (forraje tapado) o por contaminación al beber aguas afectadas por las cenizas. Otros problemas son la imposibilidad de caminar por la capa de cenizas acumulada en el suelo y la carga de arena sobre el lomo entre los vellones.

Finalmente las ovejas proveen a los periodistas de cadáveres para mostrar: en el primer auge de la noticia, la muerte de animales da lugar a la inclusión de fotos (17/8/91): "En la zona de Los Antiguos un paisano muestra una oveja muerta..." y títulos-catástrofe en la tapa: "Comienzan a morir animales."

Se van dando cifras sobre pérdidas económicas y se especula sobre el tiempo que demorará en recuperarse el área. Las autoridades locales ya habían señalado que la recuperación de los pueblos demoraría dos años. Pasados algunos días, esa cifra aumentó para la actividad ganadera a cinco años. Se señala el peligro de muerte de 700.000 ovejas si el pasto no crece en 30 días, lo que representa 7 millones de kilos y más de 17 millones de dólares perdidos (20/8/91). Y la lana que se salve tendrá muy reducida su calidad. También se dan cifras de superficie afectada, 100.000 km<sup>2</sup>., y cantidad de explotaciones: unas 500. Resulta muy llamativa la mención de que serán los productores grandes, con propiedades de más de 2.000 ha, los que se verán más afectados. Estas cifras son reformuladas una semana después, cuando ya se dan por muertos [?] cerca de un millón de animales (el 3,4% del rodeo nacional) por falta de alimentos y agua. Son consultadas instituciones técnicas del sector, organizaciones de productores y autoridades.

En este contexto "catastrófico", resulta significativa una idea que es planteada al promediar

la noticia (20/8 y 27/9/91), referida a los poderes de *fertilización* de los materiales emitidos por el Hudson, que convertirán rápidamente el área en excelentes terrenos agrícolas. Esto trae como corolario que se podrá realizar "cultivos impensados" antes en Santa Cruz: "...las tierras afectadas aumentarán enormemente su fertilidad en los próximos años, lo que cambiará visiblemente la economía de la región." De manera muy contrastante, el tema es retomado un mes después, cuando la erupción y sus consecuencias vuelve a ser noticia y ocupa un lugar destacado en asociación con el derrame de petróleo en el mar Atlántico y la costa patagónica que puso en peligro a la fauna silvestre (ver análisis sobre la importancia dada a la noticia). Se desarrollan nuevos títulos y textos catastróficos: "Desastre ecológico en el sur. Peligran 1.400.000 ovejas por las cenizas..."; "Una capa de hasta 80 centímetros impide que los animales puedan comer" (12/9/91); "Evacúan animales para que no se mueran por las cenizas" (14/9/91); "Cien mil kilómetros cuadrados de Santa Cruz agonizan bajo las cenizas del volcán"; "Anticipan que para fin de este año estarán muertas 1.200.000 ovejas"; "Desierto de talco maloliente" donde es imposible la vida humana. (15/9/91). Para esta visión tan pesimista se busca apoyo en declaraciones de técnicos y expertos que dicen, por ejemplo, que "...no hay demasiadas cosas que hacer en el área ganadera...quedará inutilizada por un tiempo que ahora no se puede precisar."

Sin embargo, los productores no se quedan quietos, esperando el desastre. Por un lado reclaman medidas económicas de parte de autoridades nacionales y provinciales y, para presionar, comparan con las medidas tomadas por el gobierno chileno, en el sentido de hacerse cargo de la compra de animales a los productores; por otro, tratan de salvar lo que se pueda, sobre un rebaño en muy malas condiciones -flacos al salir de un invierno consecuencia, con hembras preñadas, muy mal alimentados en el último mes y los vellones cargados de 5 a 8 kg de cenizas- (14 y 15/9/91). Cuerean, faenan, esquilan. Los que pueden hacerlo, sacan ovejas y caballos de los campos. El diario explica las dificultades para realizar esta operación, y el balance costo - beneficio de las opciones.

## 2) pérdida de cosecha de "exquisiteces" para exportación

Otra de las actividades económicas de importancia en la zona es la fruti-hortícola con sesgo a productos de alto precio: "cherries" y frutales de carozo tales como cerezos y guindos.

Al respecto, en un primer momento se preveía lo peor. "El diputado Ocampo aseguró que la ceniza volcánica 'arrasó ya con la cosechas de cerezas, frambuesas, frutillas y verduras que se cultivaban en las chacras de los alrededores, arruinando una producción que se destina totalmente a la exportación' " (15/8/91).

Un mes después (16/9/91), retomando de manera específica el tema de la fertilización antes señalado y, a pesar de seguir insistiéndose sobre las consecuencias catastróficas de la erupción ("Los Antiguos era un vergel y hoy es una obra de terror"), puede constatarse que los agricultores están llevando a cabo acciones recomendadas por los expertos, incorporando las cenizas a la tierra para obtener fertilización a largo plazo y reconociendo que "habrá que esperar" para ver los resultados y "renacer de las cenizas". Incluso se muestra mediante una

foto (22/9/91) los surcos concéntricos que se abren para que el aire y la luz lleguen a la alfalfa.

Con maquinarias o palas se van destapando los canales para que las cenizas no absorban el agua, se alambran las bases de los troncos para que los roedores silvestres no los coman y se constata que las ramas de cerezos están con yemas, especulándose con que, si todo sigue así, probablemente la cosecha se salve, aunque haya que lavar la fruta. También, ver como reponer las pérdidas en las colmenas, imprescindibles para la polinización de los frutales. En ese momento, de la discusión, sale una consecuencia: por ahora se quedan (16/9/91).

### 3) otras actividades productivas

Tanto la incidencia en masas forestales de coihue y lenga, base para la industria forestal de la zona, como el impacto en la reserva natural de langostinos de Caleta Olivia se plantean de manera puntual, al inicio del fenómeno (15/8/91), pero luego no son vueltos a tratar.

### 4) especulación

Como sucede generalmente en casos de catástrofes, siempre hay *especuladores* que se benefician a costa de los demás; una situación de esta naturaleza fue consignada el 18 de agosto, cuando se indica que "...A pesar de la dramática situación, no falta quienes pretenden hacer su agosto a costa del drama ajeno. En los últimos días se vio a gente no nativa de estos pueblos comprando a los ganaderos sus ovejas por menos de la mitad del valor real. (...) No faltaron tampoco los que llegaron hasta aquí a comprar los pocos fardos de pasto que quedaban y tuvieron que pagar precios casi irreales".

### 5) control científico

Durante este segundo período de auge de la noticia, y en relación tanto a la erupción como a los pingüinos empetrolados, una noticia firmada da cuenta del despido de 60 expertos de un instituto que, se denuncia, debe ocuparse de problemas ecológicos tales como los que se están viviendo en el sur del país. Por lo tanto, ahora no hay quién quede de guardia para "...vigilar el funcionamiento ecológico de nuestras aguas", tal como ocurre con los efectos de las cenizas en la ría de Puerto Deseado, su flora y su fauna (15/9/91).

### f) Relaciones políticas e internacionales

A nivel internacional, se consigna la donación de 2.000 máscaras realizada por el gobierno de Israel, el pedido de ayuda a los Estados Unidos, las negociaciones de Chile con la UNDRP para obtener ayuda financiera y la solicitud de socorro a Naciones Unidas por parte del gobierno nacional, para recuperar los 100.000 km<sup>2</sup>. de la provincia cubiertos por cenizas. Desde el primer momento, la situación del *lado chileno* merece una especial consideración (recuadro del 14/8/91). Se informa sobre acciones de socorro y desarrollo físico de la erupción. También se reconoce que la mayor parte de los daños sucedieron del lado chileno,

principalmente en el pueblo de Chile Chico, el más cercano al volcán (15/8/91). Interesan las medidas tomadas o no por el gobierno chileno, lo que expresan sus volcanólogos y sus medios de comunicación (prensa, tv, radio). También se dan cifras de pérdidas en dinero y en cantidad de animales, y se detallan las evacuaciones (21/8/91; 26/8/91).

Respecto a este último punto, es muy destacada la *colaboración transfronteriza*; sobre todo, la colaboración brindada a la población chilena que sólo puede abandonar el área a través de territorio argentino por estar cortados los caminos con el resto de su país. La población de Chile Chico fue evacuada tardíamente (19/8/91) por una pasarela sobre el Río Jeinimeni, que sólo permite el paso de un automóvil por vez y es intransitable por caminos y micros. En consecuencia, la gran mayoría de los evacuados cruza a pie. Luego son derivados (de manera dirigida o espontáneamente) a otras ciudades de la Provincia, o vuelven a territorio chileno por Paso Mayo.

Durante el primer auge de la noticia (ver gráfico 1), las autoridades municipales señalaron falta de apoyo e interés del gobierno provincial, evidenciado en que sólo visitan el área funcionarios de segunda o tercer línea. "Yo no me explico cómo pueden llegar primero los periodistas de Buenos Aires que las autoridades de Río Gallegos", declaró un intendente (18/8/91).

Luego, con la noticia instalada a nivel nacional, visitan a Los Antiguos y Perito Moreno diputados provinciales, autoridades nacionales no ligadas directamente a la defensa civil, ministros, el Vicepresidente de la Nación (21/8/91) y hasta el propio Presidente de la Nación.

El Vicepresidente -en este momento, a cargo del poder ejecutivo- entrega dinero para atender las necesidades más urgentes. El Presidente visita Los Antiguos posteriormente, el 30 de agosto -aunque ello no se registra en el diario en esta fecha, sino a raíz del agradecimiento que los pobladores de Chile Chico expresan por la ayuda argentina recibida: "Cuando Menem visitó Los Antiguos hace poco menos de un mes, unos 400 pobladores chilenos no pudieron transponer el paso fronterizo de Jeinimeni por problemas de documentación y se agolparon del lado chileno con banderas de su país y argentinas, y aclamaron la amistad entre los pueblos." También el Ministro del Interior de Chile agradece la ayuda de médicos y gendarmes argentinos (24/9/91).

Contra esta situación de fraternidad no aparecen actitudes xenofobas sino esporádicamente, de manera aislada, anecdótica y, sobre todo, como argumentaciones locales para obtener mayor ayuda por parte del gobierno nacional: "Una cuestión de soberanía. No hay política de frontera... Había créditos pero los suspendieron en 1980. Santa Cruz se está despoblando día a día y los chilenos la están poblando cada vez más", dice un productor y concejal de la región. Por su parte, la corresponsal advierte que "...el límite con Chile se pelea palmo a palmo: las defensas construidas por el país vecino sobre el Río Jeinimeni le costaron 20 hectáreas a un productor de Los Antiguos que, cuando le fueron devueltas al levantarse por fin las defensas del lado argentino, ya no eran fértiles" (15/9/91).

La importancia política de una noticia para un medio periodístico se pone de manifiesto cuando ella es tomada como tema en su *editorial*. La erupción del Hudson fue editorializada en dos oportunidades, pero en las dos esta circunstancia fue motivo para vehicular otros reclamos ligados a procesos de desarrollo. En la primera, "Cenizas sobre Santa Cruz" comparte el editorial con otro tema, ocupando dos tercios de la sección. Se reclama que las consecuencias físicas de la erupción no oculten problemas permanentes -estructurales- que afectan a la región patagónica desde hace mucho tiempo, tales como el escaso poblamiento; suelo deteriorado por el relegamiento y el atraso; intercambio desigual por sus recursos naturales: carbón, gas natural, pesca- y la producción ovina; y falta de conectividad e integración con el resto del país. "El drama actual es parte, insistimos, del drama de siempre (...) La erupción cesará pero ello no derivará mágicamente en el desarrollo patagónico, en la construcción de caminos o el tendido de ferrocarriles ni en la apertura de fuentes de producción y trabajo." (17/8/91).

El segundo editorial, titulado "La Patagonia en jaque", se ocupa de la noticia en exclusividad. En él se señala la situación de despoblamiento y atraso de la región, puesta de relieve por dos hechos, uno fortuito, la erupción; otro seguramente provocado, los pingüinos empetroados. En particular, respecto a la erupción enumera daños ecológicos, consecuencias económicas y sociales, y paliativos. Cierra reclamando medidas para la integración demográfica y el crecimiento sostenido de la Patagonia y del país (22/9/91).

### 11.3. CIFRAS PUBLICADAS

Otro aspecto considerado es la importancia dada a la *información cuantitativa* en la configuración de la noticia (qué datos se incluyeron, con qué frecuencia y con qué coherencia). Para analizar este punto se construyó un cuadro de doble entrada utilizando una *hoja de cálculo* en donde la primer columna registra sistemáticamente los temas considerados, y las siguientes, las cifras publicadas día por día en orden cronológico. Es imposible reproducir completo el cuadro resultante, compuesto por 76 temas desplegados en más de 200 ítems. La abundancia de cifras es excepcional: desde coordenadas geográficas del volcán, pasando por número habitantes de los asentamientos involucrados, distancias entre ellos; fechas de erupciones anteriores, visibilidad en distintos lugares, espesor de ceniza acumulada y superficie cubierta; altura de la columna de humo, diámetro de cada cráter, número de cráteres; ganado de la zona afectada (número de cabezas por tipo de ganado, del lado argentino y del lado chileno); evacuaciones, número de evacuados, por asentamiento, por sexo, por edad; ayudas y donaciones según diferentes donantes; subsidios del gobierno provincial y del gobierno nacional; créditos; pérdidas efectivas, en Chile, en Argentina, por asentamiento, en la Provincia; tiempo que demorará la recuperación, tiempo que demorara saber la magnitud del desastre; tiempo escolar perdido; número de médicos; costo de fletes para la lana; costo de vida en distintos lugares y para distintos productos; e incluso, rentabilidad.

El aporte de datos sobre algunos temas es permanente a lo largo de todo el período considerado; otros son de aparición circunstancial. Algunos datos que deberían ser constantes, presentan variaciones a lo largo de la noticia. Por ejemplo, el número de habitantes consignado para Los Antiguos va de 1.400, pasando por 1.500, aproximadamente 1.500 y, finalmente, 1.600 personas. Y no puede ser que en el término de dos meses haya un crecimiento poblacional de tal magnitud, a menos que, en lugar de haber emigración -como indican los distintos artículos- este produciéndose un proceso inverso producido por la presencia de periodistas, autoridades y especuladores en el lugar (El Censo Nacional de Población de 1991 consigna 1.461 habitantes en Los Antiguos).

#### 11.4 COMENTARIOS FINALES

Respecto a la importancia del tema para el medio gráfico, este se mantiene vigente en tanto sigue su espectacularidad. El tema debería haberse "perdido", pero vuelve a resurgir al producirse en la misma región otro problema, de origen totalmente distinto, pero que puede encuadrarse junto con la erupción del volcán, en lo que el propio diario denomina "Ecología".

Los temas que aparecen recurrentemente se refieren a la erupción como fenómeno en sí, y a los procesos del medio físico que lo complican. Frente al fenómeno, se plantan medidas paliativas; en el momento interesa el proceso de evacuación y, a largo plazo, las medidas y el tiempo de recuperación, o la generación de procesos emigratorios inscriptos en una región donde el bajo poblamiento es visto como un obstáculo estructural.

Desde el punto de vista social, se prioriza el tema de las víctimas. También, los peligros (potenciales o reales) del fenómeno, tales como cuán tóxicas son las cenizas. Se atiende también a la interrupción de la vida cotidiana: derrumbes de techos, contaminación del agua, enfermedades derivadas del fenómeno, consecuencias psicológicas, aparición de especuladores, interrupción del período escolar.

Otro eje de interés es la incidencia de la erupción en el normal desarrollo de la circulación, las comunicaciones y la economía regional. Siendo un área de base productiva primaria, la insidencia en la base productiva (suelos, agua, pastos) tiene directa relación con las actividades ganadera, frutihortícola y forestal. Dentro del panorama "catastrófico", se asume un aspecto positivo: la probable fertilización por deposición de cenizas.

Desde el punto de vista político, se ponen de relieve la ayuda internacional, nacional y provincial a la región, comparándolas con fines críticos. Es muy notable la falta de actitudes xenóforas que tradicionalmente aparecían en Patagonia respecto a Chile.

Finalmente, es destacable la necesidad de aportar todo tipo de cifras, aún cuando ellas no tengan una gran precisión.

En el presente análisis faltaría identificar a los actores valorados para la noticia: A quiénes

**se interroga, quienes dan opinión, qué autoridades políticas y qué expertos visitaron el área; en qué circunstancias lo hicieron, con qué finalidad y qué dijeron. El mismo esquema de trabajo debería ser aplicado a otros medios de difusión periodística. Para concluir con el ejercicio, resultaría necesario identificar la calidad de la información difundida comparando lo publicado con los protocolos establecidos en la volcanología para casos como el aquí presentado.**

### 11.5 ARTICULOS DEL DIARIO CLARIN RELACIONADOS CON LA ERUPCION DEL VOLCAN HUDSON. Del 14/8/91 al 29/9/91

**Cada registro tiene el siguiente orden:**

- N° de registro
- Diario (para este trabajo, sólo diario Clarín)
- Fecha de publicación (en este caso: mes, día, año)
- Nro. de página en el que se encuentra el artículo
- Sección en la que se encuentra el artículo
- Superficie que ocupa el artículo
- Título del artículo (subrayado)
- Antetítulo del artículo (si correspondiera)
- Gráficos (fotos, cuadros, cartogramas, etc.)

**La base de datos original también incluye una síntesis, utilizada como guía para el análisis de los principales temas considerados que aquí no se reproduce.**

-----  
 Record N°. 1 Clarín 08/14/91 1 Tapa 212,5 cm<sup>2</sup>.  
 Una nube de cenizas cubre casi toda Santa Cruz  
 ERUPCIÓN DE UN VOLCÁN CHILENO  
 -----

Record N°. 2 Clarín 08/14/91 32 Información general 984,8 cm<sup>2</sup>. Fernández Quinti, Daniel  
 La erupción del Hudson cubrió con nubes de ceniza casi toda Santa Cruz PREOCUPACION EN EL SUR POR LA EXPLOSIÓN DEL VOLCÁN CHILENO . HAY ALERTA SANITARIO  
 Cartograma del sur del país "LA ERUPCIÓN Y SUS EFECTOS".  
 Muestra el avance en territorio Sta. Cruz.  
 -----

Record N°. 3 Clarín 08/14/91 33 Información general 377 cm<sup>2</sup>. Arias, Daniel  
 Choque de placas que provoca burbujas de roca incandescente CAUSAS DE LA ACTIVIDAD VOLCANICA EN LA CORDILLERA  
 Esquema "Cómo se produjo": corte vertical con vientos, corteza y volcanes, océanos y movimiento de placas.  
 -----

Record N°. 4 Clarín 08/14/91 32 Información general 353,4 cm<sup>2</sup>.  
 La nube no sería tóxica  
 -----

Record N°. 5 Clarín 08/14/91 32 Información general 180 cm<sup>2</sup>.  
 Recuadro: El último gran susto lo dió el Lonquimay  
 -----

Record N°. 6 Clarín 08/14/91 32 Información general 126 cm<sup>2</sup>.  
 Recuadro: Chile: dos pueblos cubiertos de ceniza  
 -----

Record N°. 7 Clarín 08/14/91 63 Tiempo 32 cm<sup>2</sup>.  
 Datos del SMN. Erupción volcánica  
 -----

Record N°. 8 Clarín 08/15/91 1 Tapa 361 cm<sup>2</sup>.  
 Recuadro: Comienzan a evacuar a pobladores por la nube de ceniza Foto: "Un poblador de la localidad de Los Antiguos, a 250 kilómetros del volcán Hudson..."

-----  
 Record N° 9 Clarín 08/15/91 32 Información general 825,6 cm<sup>2</sup>. Fernández Quinti, Daniel  
 Lluvia de ceniza y arena en Los Antiguos: la gente empieza a irse CLARÍN EN LA FRONTERA CON  
 CHILE: SI LA SITUACIÓN SIGUE ASÍ EVACUARÁN EL PUEBLO Foto: "Con barbijo y trajes  
 especiales, tres chilenos ... se protegen de la lluvia de cenizas..."

-----  
 Record N° 10 Clarín 08/15/91 33 Información general 325 cm<sup>2</sup>.  
 Preocupan los daños ecológicos  
 GRAVES CONSECUENCIAS PARA LA ECONOMÍA Y EL ECOSISTEMA

-----  
 Record N° 11 Clarín 08/15/91 32 Información general 141,36 cm<sup>2</sup>.  
 Recuadro: La nube podría ir hacia el sur

-----  
 Record N° 12 Clarín 08/15/91 32 Información general 518 cm<sup>2</sup>. Booth, William. The Wash. Post  
 Recuadro: La Tierra se esta enfriando  
 Esquema 'El 'cinturón de fuego' del Pacífico: O. Pacífico, continentes y volcanes. Nombra principales.

-----  
 Record N° 13 Clarín 08/15/91 63 Tiempo 31,2 cm<sup>2</sup>.  
 Datos del SMN. Erupción del volcán Hudson

-----  
 Record N° 14 Clarín 08/16/91 1 Tapa 248,46 cm<sup>2</sup>.  
 Recuadro: Una noche que duro 21 horas  
 Foto: "Entre las 15:40 del miércoles y el mediodía de ayer la nube de ceniza y arena...oscureció..."

-----  
 Record N° 15 Clarín 08/16/95 29 Información general 876,8 cm<sup>2</sup>. Fernández Quintil, Daniel  
 Evacúan Los Antiguos en medio de una angustiosa noche de 21 horas  
 Fotos(2): "Un hombre valija al hombro se va...y otro limpia un auto". Cartograma: ubicación del pueblo.

-----  
 Record N° 16 Clarín 08/16/91 29 Información general 197,5 cm<sup>2</sup>.  
 Recuadro: Emergencia en Santa Cruz

-----  
 Record N° 17 Clarín 08/16/91 59 Tiempo 46,24 cm<sup>2</sup>.  
 Datos del SMN Lluvia de cenizas

-----  
 Record N° 18 Clarín 08/17/91 1 Tapa 321,48 cm<sup>2</sup>.  
 Comienzan a morir animales  
 NUEVA EXPLOSIÓN DEL VOLCÁN  
 Foto: "En la zona de LA, un paisano muestra una oveja muerta de hambre..."

-----  
 Record N° 19 Clarín 08/17/91 26 Información general 220,08 cm<sup>2</sup>.  
 Lluvia de piedras sobre un pueblo chileno: el volcán tiene 3 cráteres MUEREN OVEJAS POR FALTA  
 DE ALIMENTO  
 Foto: Un vecino de un pueblo chileno quita la ceniza del techo de su casa. Ayer...lluvia de piedras.

-----  
 Record N° 20 Clarín 08/17/91 26 Información general 194,04 cm<sup>2</sup>.  
 Israel donó 2.000 máscaras

-----  
 Record N° 21 Clarín 08/17/91 26 Información general 91,5 cm<sup>2</sup>.

Recuadro: El Pinatubo mato ya a 483 personas

-----  
 Record N°. 22 Clarín 08/17/91 14 Editorial 300,8 cm<sup>2</sup>  
 Cenizas sobre Santa Cruz

-----  
 Record N°. 23 Clarín 08/18/91 1 Tapa 330,88 cm<sup>2</sup>  
 Recuadro: Huracán de arena y ceniza

Foto:"En medio de un Huracán de arena y ceniza, los pobladores...comenzaron a evacuar...pueblo fantasma..."

-----  
 Record N°. 24 Clarín 08/18/91 28 Información general 556,16 cm<sup>2</sup>. Fernández Quinti, Daniel  
 Empieza la evacuación de Perito Moreno: ya se fueron 400 personas HURACÁN DE CENIZA Y ARENA

Foto:"Así se fueron los chicos de Perito Moreno: en micro y con máscaras".

-----  
 Record N°. 25 Clarín 08/18/91 28 Información General 189,2 cm<sup>2</sup>.

Recuadro: Perdió todo un campesino que vivía a 2.000 metros de un cráter

-----  
 Record N°. 26 Clarín 08/18/91 28 Infamación General 132 cm<sup>2</sup>.

Máscaras "truchas"<sup>4</sup> y remate de ovejas

-----  
 Record N°. 27 Clarín 08/19/91 33 Información general 611 cm<sup>2</sup>. Fernández Quinti, Daniel

La gente se sigue yendo de Perito Moreno, pero ayer reapareció el Sol DECLARAN ZONA DE DESASTRE AGROPECUARIO

2 fotos: evacuados de Chile Chico...protesta de chilenos por falta de atención del gobierno...

-----  
 Record N°. 28 Clarín 08/19/91 33 Información general 226,32 cm<sup>2</sup>. Fernández Quinti, Daniel

Recuadro: Evacuan Chile Chico por el lado argentino

-----  
 Record N°. 29 Clarín 08/20/91 32 Información General 650,98 cm<sup>2</sup>. Fernández Quinti, Daniel

La Ganadería necesitara 5 años para recuperarse

EFFECTO DE LA LLUVIA DE CENIZA Y ARENA DEL VOLCÁN HUDSON

Foto: "Dura consecuencia. Una oveja muerta...por la falta de pasto. El desastre aumentará si no crece la hierba"

-----  
 Record N°. 30 Clarín 08/20/91 32 Información general 100,04 cm<sup>2</sup>.

Recuadro: Lana: perderán casi 7 millones de kilos

-----  
 Record N°. 31 Clarín 08/20/91 55 Tiempo 31,02 cm<sup>2</sup>.

Nubes de ceniza

-----  
 Record N°. 32 Clarín 08/21/91 33 Información general 175,36 cm<sup>2</sup>.

Las cenizas del Hudson llegan a Buenos Aires CUANTIOSOS DAÑOS EN EL SUR

-----  
 Record N°. 33 Clarín 08/21/91 55 Tiempo 21,12 cm<sup>2</sup>.

Cenizas volcánicas

---

<sup>4</sup>"truchao" en idioma lunfardo, algo o alguien que se hace pasar por lo que no es.

-----  
Record N°. 34 Clarín 08/22/91 30 Información general 25,38 cm<sup>2</sup>.

Recuadro: Cenizas en el sur bonaerense EN SINTESIS

Record N°. 35 Clarín 08/22/91 55 Tiempo 25,08 cm<sup>2</sup>.

Las cenizas volcánicas

-----  
Record N°. 36 Clarín 08/23/91 47 Tiempo 25,6 cm<sup>2</sup>.

Las cenizas volcánicas [Texto idéntico al del día anterior]

-----  
Record N°. 37 Clarín 08/25/91 63 Tiempo 15,4 cm<sup>2</sup>.

Ceniza volcánica

-----  
Record N°. 38 Clarín 08/26/91 30 Información general 22 cm<sup>2</sup>.

Tras las cenizas

-----  
Record N°. 39 Clarín 08/26/91 39 Tiempo 12,24 cm<sup>2</sup>.

Ceniza volcánica

-----  
Record N°. 40 Clarín 08/27/91 32 Información general 52,29 cm<sup>2</sup>.

Recuadro: Un volcán de fertilidad EN SÍNTESIS

-----  
Record N°. 41 Clarín 08/27/91 55 Tiempo 31,96 cm<sup>2</sup>.

Ceniza volcánica

-----  
Record N°. 42 Clarín 08/28/91 55 Tiempo 20,88 cm<sup>2</sup>.

Ceniza volcánica

-----  
Record N°. 43 Clarín 08/29/91 40 Información general 42,34 cm<sup>2</sup>.

Recuadro: Las cenizas del Hudson EN SÍNTESIS

-----  
Record N°. 44 Clarín 08/30/91 59 Tiempo 45,5 cm<sup>2</sup>.

Cenizas volcánicas

-----  
Record N°. 45 Clarín 09/08/91 30 Información general 44,66 cm<sup>2</sup>.

Recuadro: Las cenizas del Hudson EN SÍNTESIS

-----  
Record N°. 46 Clarín 09/12/91 1 Tapa 126,4 cm<sup>2</sup>.

Desastre ecológico en el sur. Peligran 1.400.000 ovejas por las cenizas del volcán. Ya han muerto 400 pingüinos por el derrame de petróleo en el mar.

-----  
Record N°. 47 Clarín 09/12/91 34 y 35 Información general 581,4 cm<sup>2</sup>. Dicen que morirán 1.400.000 ovejas por culpa de las cenizas del Hudson UNA CAPA DE HASTA 80 CENTÍMETROS IMPIDE QUE LOS ANIMALES PUEDAN COMER / ECOLOGIA

Foto(repíte foto de tapa del 17/8): ...las ovejas no pueden alimentarse...y mueren.

-----  
Record N°. 48 Clarín 09/13/91 31 Información general 580,9 cm<sup>2</sup>. Satélites de la NASA buscan el petróleo que mata a los pingüinos LA NUBE DE CENIZA DEL VOLCÁN HUDSON IMPIDIO LOCALIZARLO

Foto: Costa chubutense, rescate de pingüinos

-----  
Record N°. 49 Clarín 09/14/91 1 Tapa 295,8 cm².

Recuadro: El sur, desolado

Foto: No es un paisaje lunar. Tampoco una playa. Las cenizas volcánicas cubren los campos. Un poblador...se aferra a un alambrado que ya casi no tiene razón de ser...

Record N°. 50 Clarín 09/14/91 30 Información general 356,4 cm². Camps, Sibila

Evacuan animales para que no se mueran por las cenizas ECOLOGIA

Foto: El ganado empieza a ser evacuado...Una tarea difícil que plantea interrogantes

-----  
Record N°. 51 Clarín 09/15/91 34 y 35 Información general 715,88 cm² Camps, Sibila

Cien mil kilómetros cuadrados de Santa Cruz agoniza bajo las cenizas del volcán ANTICIPAN QUE PARA FIN DE ESTE AÑO ESTARÁN MUERTAS 1.200.000 OVEJAS/ ECOLOGIA

Foto: Se calcula que para fin de año el 30 y 40 % de las ovejas de una zona de S.C. estarán muertas

-----  
Record N°. 52 Clarín 09/15/91 34 Información general 188,7 cm² Enviada especial [S.C.]

Recuadro: Dos médicos para 5.000 habitantes

-----  
Record N°. 53 Clarín 09/15/91 35 Información general 117,12 cm² Enviada especial [S.C.]

Recuadro: Miedo al viento

-----  
Record N°. 54 Clarín 09/15/91 34 Información general 56,1 cm². Arias, Daniel

Echan a 60 expertos del instituto que se ocupa de los problemas ecológicos

[El artículo es más extenso que lo que indicaría la superficie calculada pero es porque solo se refiere al volcán en los dos primeros párrafos, que son los que han sido medidos].

-----  
Record N°. 55 Clarín 09/16/91 31 Información general 529,2 cm². Camps, Sibila

Los Antiguos era un vergel y hoy es una obra de terror ECOLOGIA

Foto: Un joven sacude un árbol casi moribundo y las cenizas parecen una explosión...

Record N°. 56 Clarín 09/19/91 32 Información general 40,92 cm².

Recuadro: Los Antiguos, "zona de desastre" EN SÍNTESIS

-----  
Record N°. 57 Clarín 09/22/91 16 Editorial 396,8 cm².

La Patagonia en jaque

-----  
Record N°. 58 Clarín 09/22/91 34 Información general 247,5 cm².

Recuadro: Aran las cenizas para que la alfalfa crezca ECOLOGIA

Foto: Los agricultores de Santa Cruz volvieron a trabajar sus tierras, pero...

-----  
Record N°. 59 Clarín 09/24/91 26 Información general 149,5 cm².

Cortaron la ruta 3 por la lluvia de ceniza volcánica

-----  
Record N°. 60 Clarín 09/24/91 55 Tiempo 29,61 cm².

Ceniza volcánica

-----  
Record N°. 61 Clarín 09/29/91 71 Tiempo 39,95 cm².

Cenizas volcánicas



## **BIBLIOGRAFÍA**



Abersten, L. 1984.- Diversion of a lava flow from its natural bed to an artificial channel with the aid of explosives. *Etna 1983. Bull. Volcanol.* 47, 1, 167-177

Abramowitz, M.; Stegun, I. 1972.- *Handbook of mathematical functions*. Dover Publications, New York. 1046 pp.

Ablay, G.; Ernst, G.J.; Marti, J.; Sparks, R.S.J. 1995.- The 2ka subplinian eruption of Montaña Blanca, Tenerife. *Bull. Volcanol.* 57:337-355

Ablay, G.J.; Marti, J. 1995.- The Cañadas edifice and caldera. En *A Field Guide to the Central Complex of Tenerife (Canary Islands)*. Marti, J. y Mitjavila, J. Eds. Serie Casa de los Volcanes. Cabildo de Lanzarote. 47-80

ASSOCIATION FRANCAISE DU GENIE PARASISMIQUE (AFPS) 1996.- *Le seisme de St-Paul-de-Fenouillet (Pyrénées Orientales, France) du 18 Février 1996. Rapport de mission*. AFPS Paris. 116 pp.

Alexander, D. 1993.- *Natural Disasters*. UCL Press. Londres. 631 pp.

Aramaki, S.; Barberi, F.; Casadevall, T.; McNutt, S. 1993.- Report of the IAVCEI subcommittee for reviewing the safety of volcanologists. *WOVO News.* 4: 12-14

Araña, V. 1988.- Geología y volcanismo. En *Riesgos geológicos*, ITGE, Madrid 45-82

Araña, V. 1994.- La Casa de los Volcanes. En *In Memoriam Dr. José Luis Díez-Gil*. Garcia, A. y Felpeto, A. Eds. Serie Casa de los Volcanes. Cabildo de Lanzarote. 3-29

Araña, V. 1995a.- Estudio y prevención de las catástrofes naturales. *Fronteras de la Ciencia y la Tecnología*, 9: 40-42

Araña, V. 1995b.- Importancia de la Investigación Científica en la mitigación del Riesgo Volcánico. *Protección Civil.* 26: 32-36

Araña, V.; Barberi, F.; Ferrara, G. 1989a.- El complejo volcánico del Teide Pico Viejo. En *Los Volcanes y la Caldera del Parque Nacional del Teide. Tenerife, Islas Canarias*. Araña, V. y Coello, J. Eds. ICONA. Madrid 1989 101-126

Araña, V.; Ortiz, R. 1984.- *Volcanología*. RUEDA-C.S.I.C. Madrid 528 pp

Araña, V.; Ortiz, R. 1993.- Riesgo Volcánico. En *Nuevas Tendencias en Volcanología*. Eds. Martí, J. y Araña, V. CSIC. Madrid 277-385

Araña, V.; Ortiz, R.; Vieira, R. 1989b.- Protocolo de actuación en caso de crisis eruptiva. En *Equipo de investigación volcanológica de Canarias*. ESF Meeting on Canarian Volcanism.

## Lanzarote. 7-36

Araña, V.; Ortiz, R. 1993.- Riesgo Volcánico. En *Nuevas Tendencias en Volcanología*. Eds. Martí, J. y Araña, V. CSIC. Madrid 277-385

Armienti, P., Macedonio, G., Pareschi, M.T. 1988.- A numerical model for simulation of tephra transport and deposition: applications to May 18, 1980, Mount St. Helens Eruption. *J. Geophys. Res.*, 93 (B6):6463-6476.

Baloga, S.; Pieri, D. 1986.- Time-dependent lava flows. *J. Geophys. Res.*, 91:9543-9552

Barberi, F.; Blong, R.; de la Cruz, S.; Hall, M.; Kamo, K.; Mothes, P.; Newhall, C.; Peterson, D.; Punongbayan, P.; Sigvalson, G.; Zana, N. 1990.- Reducing volcanic disasters in the 1990's. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*. 35: 80-95

Barberi, F.; Carapezza, M.I.; Valenza, M.; Villari, L. 1993.- The control of lava flow during the 1991-1992 eruption of Mt.Etna. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 56:1-34.

Barberi, F.; Macedonio, G.; Pareschi, M.; Santacroce, R. 1989a.- Pericolosità e rischio vulcanico: stato dell'arte e prospettive. *Gruppo Naz. Vulcanol. Bull.* 1989 2: 631-647

Barberi, F.; Chelini, W.; Marinelli, G.; Martini, M. 1989b.- *The gas cloud of Lake Nyos (Cameroon 1986): Results of the Italian technical mission*. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 39: 125-134

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

Barca, D.; Crisci, G.M.; Di Gregorio, S.; Nicoletta, F. 1994.- Cellular Automata for simulating lava flows: a method and examples of the Etnean eruptions. *Transport Theory and Statistical Physics*, 23 (1-3):195-232

Bardintzeff, J. M. 1992.- *Volcanologie*. Mason. Paris. 235 pp.

Baxter, P.J. 1990.- Medical effects of volcanic eruptions. I. Main causes of death and injury. *Bull. Volcanol.* 532-544

Baxter, P. J.; Neri, A.; Todesco, M. 1995.- Physical modeling and health impact of pyroclastic flows. *Per. Mineral.* 64: 95-97

Blong, R.J. 1984.- *Volcanic Hazards: a source book on the effects of eruptions*. Academic Press. 424 pp.

Borgia, A. 1994.- Dynamic of volcanic spreading. *J. Geophys. res.* 99: 17.791-17.804

Bourdier, G.; Gourgaud, A (eds) 1989.- Mont Peleé. J. Volcanol. Geotherm. Res. 38, 1-213

CABILDO DE TENERIFE 1989.- "*Plan Hidrológico Insular de Tenerife. Avance: Bases para el planeamiento hidrogeológico*". 133 pp.

Cardona, O. 1995.- *Sistemas de alerta para la prevención de desastres*. Workshop on communication between volcanologist and civil authorities INGEOMINAS-U.S. Geological Survey Popayan, Colombia. 12 pp.

Carey, S.; Sigurdsson, H. 1989.- The intensity of plinian eruptions. Bull. Volcanol. 51, 28-40

Carracedo, J.C. 1993.- Volcanismo activo y medio ambiente en las Islas Canarias. Tierra y Tecnología. 6:61-71

Carracedo, J.C. 1995.- Volcanismo activo y prevención de riesgos en Canarias. Protección Civil. 26:7-14

Caruso, P.; Graziani, G.; Martilli, A.; Pareschi, M. T.; Valenza, M. 1995.- Dangerous scenarios for gas emission at Vulcano Island. Per. Mineral. 119-120.

Cas, R.A.F.; Wright, J.V. 1987.- *Volcanic successions*. Allen & Unwin. London. 528 pp

Casadevall, T.J. (ed) 1991.- *First international symposium on volcanic ash and aviation safety*. U.S. Geological Survey. 1065

Casadevall, T.J. 1995.- *El uso de la información geológica para mitigar el riesgo de la ceniza volcánica en la seguridad de la aviación*. Workshop on communication between volcanologist and civil authorities INGEOMINAS-U.S. Geological Survey Popayan, Colombia. 18pp

CENTRO NACIONAL PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED) 1994a.- *Guía práctica: Simulacros de evacuación*. CENAPRED Mexico, 55 pp.

CENTRO NACIONAL PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED) 1994b.- *Plan familiar de protección civil*. CENAPRED Mexico, 6 pp.

CENTRO NACIONAL PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED) 1995.- *Volcan Popocatépetl. Estudios realizados durante la crisis 1994-1995*. CENAPRED, Mexico. 340pp.

Cole, S.; Pantoja, E.; Razak, V. 1993.- *A social accounting matrix approach to disaster preparedness and recovery planning*. National Center for Earthquake Engineering Research, NCERR 92-002, Buffalo.

Cole, S. 1996.- Social accounting for urban geohazards. IV Latin American Symposium on Urban Geohazards. San José, Costa Rica. 21 pp.

**COMISIÓN DE EMERGENCIA VOLCÁNICA (CEV) 1991.- *Erupción del Volcán Hudson - Agosto de 1991 - Efectos sobre el territorio de la provincia de Santa Cruz. Informe de avance.***

**Cheminée, J.L.; Boudon, G.; Dagain, J.; Rançon, J.P.; Semet, M.P.; Traineau, H. 1995.- Volcanic hazards in the French Antilles. En *Natural Risk and civil protection*. Horlick-Jones, T.; Amendola, A.; Cassale, R. editores. E&FN Spon. 96-116**

**Chester, D. 1993.- *Volcanoes and Society*. Edward Arnold . Londres. 351 pp.**

**Clifton, G.; Costa, J.C. -coordinadores- 1993.- *Efectos ecológicos y económicos producidos por las cenizas del volcán Hudson. Primera etapa*. Buenos Aires, Convenio CFI/Pcia. de Santa Cruz. Mimeo, 15 de setiembre.**

**COMMITTEE FOR DISASTER RESEARCH OF THE SCIENCE COUNCIL OF JAPAN 1989. *International Decade for Natural Disaster Reduction*. S.C.J. Tokio; 20 pp**

**Costa, P.; Luongo, G.; Pane, G.; Toro, S. 1989.- *VOLCAN: Un sistema experto per la valutazione del rischio vulcanico*. Osservatorio Vesuviano-Datitalia Processing S.p.A. Napoli. 20 pp**

**Cook, R.J. 1981.- Impact on agriculture of the Mount St. Helens eruption. *Science* 211, 16-22**

**Crandell, D. R.; Hoblitt, R. P. 1986.- Lateral blast at Mount St. Helens and hazard zonation. *Bull. Volcanol.* 48: 27-37**

**De la Cruz-Reyna, S.; Ramos, E. 1994.- *Volcanes*. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Mexico. Fascículo N° 4. 36 pp.**

**De la Cruz-Reyna, S. 1995.- Un código de alerta para el manejo de emergencias volcánicas antes y durante potenciales erupciones del volcán Popocatépetl. En *Volcan Popocatépetl. Estudios realizados durante la crisis 1994-1995*. CENAPRED, Mexico. 327-334**

**De los Reyes, P.J. 1992.- Volunteer observers program: a tool for monitoring volcanic and seismic events in the Philippines. En *Geohazards. Natural and man-made*. McCall, Laming, Scott, (editores) Chapman & Hall, Londres. 13-24**

**Deguchi, K. 1988.- Effects of volcanic ash from Sakurajima on living environment and anti ash device of housing. En *Kagoshima International Conference on Volcanoes 1988*. Proceedings. NIRA Tokyo. 724-727**

**Diez-Gil, J.L. (Editor Científico) 1992.- *Elementos de Volcanología* (varios autores). Serie Casa de los Volcanes n°2, Cabildo de Lanzarote 300 pp.**

**DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE 1995.-** Planificazione nazionale d'emergenza dell'area vesuviana. Napoles. 157 pp.

**DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL. 1995.-** *Borrador de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo volcánico.* Documento interno.

**Dobran, F., 1993.-** *Global volcanic simulation of Vesuvius.* Giardini, Pisa. 148 pp.

**Dobran, F. 1995.-** *Etna. Magma and lava flow modeling and volcanic system definition aimed at hazard assessment.* Global Volcanic and Environmental Systems Simulation. Roma. 277 pp.

**Dobran, F.; Barberi, F.; Casarosa, C. 1990.-** *Modeling of volcanological processes and simulation of volcanic eruptions.* CNR Gruppo Naz. Volcanol. Italy. Report VSG90-01 85 pp

**Dobran, F.; Neri A.; Macedonio G. 1993.-** Numerical simulation of collapsing volcanic columns. *J. Geophys. Res.*, 98 (B3): 4231-4259.

**Dubois, J.; Cheminee, J.L. 1991.-** Fractal analysis of eruptive activity of some basaltic volcanoes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 45: 197-208

**Dragoni M. 1989.-** A dynamical model of lava flows cooling by radiation. *Bull. Volcanol.*, 51:88-95.

**Dragoni, M.; Bonafede, M.; Boschi E. 1986.-** Downslope flow models of a Bingham liquid: implications for lava flows. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 30:305-325.

**Ferreras, S.; Sanchez, A. 1991.-** The tsunami threat on Mexican West Coast: A historical analysis and recommendations for hazard mitigation. *Natural Hazards* 4:301-316

**Fiske, R.S. 1984.-** Volcanologist, Journalist and the concerned local public; A tool of two crises in the Eastern Caribbean. En *Explosive volcanism: Inception, Evolution and Hazards. Studies in Geophysics.* Nat. Ac. Press. Washington D.C. 67-83

**Foreman, P. 1994.-** Warnig systems and pilot actions. En *Volcanic ash and aviation safety.* Casadevall, T. Edit. US Geological Survey Bulletin 2047. 163-168

**Fournier d'Albe, E.M. 1979.-** Objectives of volcanic monitoring and prediction. *J. Geol. Soc. London* 136: 321-326.

**Freedman, J. A.; Skapura, D. 1993.-** *Redes neuronales. Algoritmos, aplicaciones y técnicas de programación.* Addison Wesley/Diaz de Santos. Madrid. 431 pp.

**Funtowicz, S.O.; Ravetz, J.R. 1995.-** Planning and decision making in an uncertain world: the

challenge of post-normal science. En *Natural Risk and civil protection*. Horlick-Jones, T.; Amendola, A.; Cassale, R. editores. E&FN Spon. 415-423

Gardeweg, M.; Espinosa, A.; Medina, E.; Murillo, M.; Viramonte, J.; Omarini, R.; Becchio, R.; Seggiaro, R.; Bosso, M.; Menegatti, N.; Bolli, I.; Ortiz, R.; Torrejón, I.; Rothery, D.; Oppenheimer, C.; Francis, P.; Lynch, J.; Stephens, G. 1993.- Lascar: eruptions sends ash above 25 km altitude; pyroclastic flows travel 7.5 km. *Global Volcanism Network*. 18: 2-6

Garrote, L. 1995.- Flood vulnerability assessment and management. En *Natural Risk and civil protection*. Horlick-Jones, T.; Amendola, A.; Cassale, R. editores. E&FN Spon. 213-225

GOBIERNO CIVIL DE LAS PALMAS 1982 (actualizado en 1986).- *Plan de Emergencia por Erupciones Volcánicas*. Documento interno.

GOBIERNO CIVIL DE SANTA CRUZ DE TENERIFE 1989 (actualizado en 1992).- *Plan de Emergencias en Situaciones de Crisis Sísmicas y Volcánicas - PLANCRISCAN*. Documento interno.

Gonzalez-Ferrán, O. 1994.- *Volcanes de Chile*. Instituto Geográfico Militar. Santiago. 640 pp.

Grassi, E 1994.- La antropología de lo político en la sociedad moderna: una propuesta de construcción de los datos de campo a partir de la información contenida en los medios de prensa. En: *Primeras Jornadas sobre Etnografía y Métodos Cualitativos* Buenos Aires, 9 y 10 de junio de 1994 (Mimeo).

Grünthal, G. (Ed) 1993.- European Macroseismic Scale 1992 (up dated MKS scale). *Cahiers du Centre Européen de Geodynamique et de Seismologie*. Vol 7. 79 pp.

Heiken, G.; Wohletz, K. 1985.- *Volcanic ash*. University of California Press. Berkeley, USA. 245pp.

Heiken, G.; Murphy, M.; Hackett, W.; Scott, W. 1995.- *Volcanic hazards and energy infrastructures. United States*. U.S Department of Energy Code EH-33. Office of risk analysis and Technology. LA-UR 95-1087. 45 pp.

Hill, D.P.; Johnston, M.J.S.; Langbein, J.O.; McNutt, S.R.; Miller, C.D.; Mortensen, C.E.; Pitt, A.M.; Rojstaczer, S. 1991.- *Response plans for volcanic hazards in the Long Valley Caldera and Mono Craters area, California*. Open File Report 91-270. U.S. Geological Survey. 64 pp.

Hirano, M.; Hikida M. 1988.- Prediction of debris flow in Sakurajima volcano. En *Kagoshima International Conference on Volcanoes 1988*. Proceedings. NIRA Tokyo. 618-621

Hulme G. 1974.- The interpretation of lava flow morphology. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 39:361-383.

INSTITUTE OF NUCLEAR POWER OPERATIONS (INPO) 1983a.- *Emergency preparedness training*. INPO, Illinois USA, EP-804 51 pp

Ishihara K., Iguchi M., Kamo K. 1989.- Numerical simulation of lava flows on some volcanoes in Japan. En J.H.Fink, editor, *Lava Flows and Domes*, IAVCEI Proceedings in Volcanology, Springer-Verlag, New York. 174-207.

ITGE 1987.- *Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España*. ITGE. Madrid.

Kadomura, H.; Okada, H.; Imagawa, T.; Moriya, I.; Yamamoto, H. 1983.- Erosion and mass movements on Mt. Usu accelerated by crustal deformation that accompanied its 1977-1982 volcanism. *Natural Disaster Science*. 5: 33-62

Kauahikaua, J.; Margruter, S.; Lockwood, J.; Trusdell, F. 1995.- Applications of GIS to the estimation of lava flow hazards on Mauna Loa Volcano, Hawaii. En *Mauna Loa Revealed. Structure, Composition, History, and Hazards*. Rhodes, J.; Lockwood, editores. AGU Geophysical Monograph 92. 315-326

Kieffer, S.W.; Sturtevant, B. 1984.- Laboratory studies of volcanic jets. *J. Geophys. Res.*, 89: 8253-826

Kienle, J.; Dean, K.G.; Garbeil, H.; Rose, W.I. 1990.- Satellite surveillance of volcanic ash plumes, application to aircraft safety. *EOS Transactions of American Geophysical Union*. 17: 266

Kodomura, H.; Okada, H.; Araya, T. 1988.- *1977-82 volcanism and environmental hazards of Usu volcano*. Hokaido University Press. Japon 260 pp.

Kovach, R. L. 1995.- *Earth's Fury. An introduction to natural hazards and disasters*. Prentice Hall. New Jersey. 214 pp.

Lipman, P. W.; Mullineaux, D. R. 1981.- *The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington*. U. S. Geological Survey Professional Paper 1250.

Macedonio G., Pareschi M.T., Santacroce R. 1988.- A numerical simulation of the plinian fall phase of 79 A.D. eruption of Vesuvius. *J. Geophys. Res.*, 93 (B12):14817-14827.

Macedonio, G.; Pareschi M.T.; Santacroce, R. 1990.- Renewal of explosive activity at Vesuvius: model for the expected tephra fallout. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 40: 327-342

Macedonio, G.; Pareschi, M. T. 1992.- Numerical simulation of some lahars from Mount St.

Helens, J. *Volcanol. Geothermal. Res.* 54: 65-80

Macias, J.L.; Carrasco, G.; Sebe, C. 1995.- Zonificación de peligros volcánicos del Popocatépetl. En *Volcan Popocatépetl. Estudios realizados durante la crisis 1994-1995*. CENAPRED, Mexico. 79-92

Malin, M.C.; Sheridan, M.F. 1982.- Computer-assisted mapping of pyroclastic surges. *Science*, 217:637-640.

Marti, J.; Araña, V. (Editores Científicos) 1993.- *La volcanología actual*. (varios autores). Serie Nuevas Tendencias. C.S.I.C. Madrid 578 pp.

Marti, J.; Araña, V.; Ablay, G.; Bryan, S.; Mitjavila, J.; Raposo, S.; Pujadas, A. ; Romero, C. 1995.- Caracterización de la actividad eruptiva de Tenerife durante los últimos 200.000 años. En *In memoriam Dr. José Luis Díez Gil*. Garcia, A; Felpeto, A. Eds. A. Serie Casa de los Volcanes 3: 157 - 178.

Martini, M. 1993.- Water and fire: Vulcano island from 1977 to 1991. *Geochemical J.* 27: 297-303

Massone, S.; Pareschi, M.T.; Santacroche, R. 1996.- Il SIT informático dell'area Circunvesuviana. Report GSGSDA/CNR 96.1 Giardini. 20 pp.

Matsukura, Y. 1988.- Instability of valley side cliff made of pyroclastic flow deposits. En *Kagoshima International Conference on Volcanoes 1988*. Proceedings. NIRA Tokyo. 642-645

Matsumura, H.; Kado, H.; Ide, H.; Juta, M.; Kato, K. 1988.- An experimental study on the performance of a mini road sweeper scavenging volcanic ashes. En *Kagoshima International Conference on Volcanoes 1988*. Proceedings. NIRA Tokyo. 670-673

McCall, G.J.H.; Laming, D.J.C.; Scott, S.C. (editores) 1993.- *Geohazards. Natural and man-made*. Chapman & Hall, Londres. 227 pp.

Mileti, D.; Sorensen, J. 1990.- *Communication of emergency public warnings: A social science perspective and state-of-the-art assessment*. OAK Ridge National Laboratory. Tennessee USA. 110 pp

Mileti, D. 1995.- *The social psychology of effective public disaster warnings*. Natural Hazards Center. University of Colorado. 22 pp.

Miller, C.D. 1989.- *Potential hazards from future volcanic eruptions in California*". U.S. Geological Survey Bulletin 1847. 17 pp.

Miller, C.D. 1995.- *Communication of volcanic hazards information during unrest at Long Valley, caldera. California, USA. Workshop on communication between volcanologist and civil authorities INGEOMINAS-U.S. Geological Survey Popayan, Colombia. 7pp*

Naranjo, J.A.; Moreno, H.; Banks, N. 1993.- La erupción del volcán Hudson en 1991 (46°S) Región XI, Aisen, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín. Chile. N°44 50 pp

Naranjo, J.A.; Sparks, R.S.J.; Stasiuk, M.V.; Moreno, H.; Ablay, G.J. 1992.- Morphological, structural and textural variations in the 1988-1990 andesite lava of Lonquimay Volcano, Chile. Geol. Mag. 129: 657-678

NATIONAL LAND AGENCY Government of Japan. 1992.- *Guidelines for preparing volcanic hazard maps. NLA Tokio 58 pp.*

Natenzon, C.E. 1993.- Procesos catastróficos no nordeste argentino. Mudanças produzidas na última década. En: *O Novo Mapa do Mundo. Natureza e Sociedade de Hoje: Uma Leitura Geográfica.* Sao Paulo, HUCITEC/ ANPEUR (p.182-195)

Natenzon, C.E. 1994.- Desastres naturales, riesgos e incertidumbre: apuntes para una investigación sobre el tema. En: *Encuentro Internacional 'Lugar, formación socio espacial, mundo'.* ANPEGE/ Universidad de San Pablo. San Pablo, 8 a 10 de setiembre.

Newhall, C. 1994.- Research at Decade Volcanoes aimed at disaster prevention. EOS. 75: 30-31

Newhall, C. 1995.- Dilemmas of volcanic crisis in urban areas. Per. Mineral 64: 17-19

Newhall, C. G.; Self, S. (1982).- The volcanic explosivity index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. Jour. Geophys. Res. (Oceans and Atmospheres). 87: 1231-1238.

Nigg, J. 1995.- Risk communication and warning systems. En *Natural Risk and civil protection.* Horlick-Jones, T.; Amendola, A.; Cassale, R. editores. E&FN Spon. 369-382

OACI 1996.- Vigilancia de la actividad volcánica en las aerovías internacionales. Procedimientos internacionales y lista de puntos de contacto entre organismos de volcanología, oficinas de vigilancia y centros de control de área. 22 pp.

Onodera, S.; Kamo, K. 1994.- Aviation safety measures for ash clouds in Japan and the system of Japan Air lines for the monitoring eruptions at Sakurajima volcano. En *Volcanic ash and aviation safety.* Casadevall, T. Edit. US Geological Survey Bulletin 2047. 213-220

Ortiz, R. 1995.- Modelos matemáticos y riesgo volcánico. Protección Civil. 26: 25-31.

Ortiz, R. (editor científico) 1994a.- *Instrumentación en Volcanología I*. Pre-print 215 pp.

Ortiz, R. (editor científico) 1994b.- *Instrumentación en Volcanología II. Sísmica*. Pre-print 197 pp.

Ortiz, R.; Araña, V; Felpeto, A.; Fernandez, J. 1994a.- Models and Simulations. En: *European Laboratory volcanoes: Teide. Definition of the fine structure and plumbing system aimed at eruption prediction, hazard assessment and eruptive mechanisms understanding. Progress Report*. 55-58.

Papoulis, A. 1965. *Probability, random variables, and stochastic processes*. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokyo. 583 pp.

Peterson D.W. 1988.- Volcanic hazards and public response. *J. Geophys. Res.* 93B5: 4161-4170.

Petit-Breuilh, M.E. 1994.- Contribución al conocimiento de la cronología eruptiva histórica del volcán Villarrica 1558-1985. *Revista Frontera, Temuco, Chile*. 71-99

Podesta, B.; Giesecke, M. 1989.- *El Nevado del Ruiz y el riesgo volcánico en América Latina*. CERESIS. Perú. 49 pp.

Przedpelski, Z.; Casadevall, T. 1994.- Impact of volcanic ash from 15 december 1989 Redout volcanic eruption on GE CF6-80C2 turbofan engines. En *Volcanic ash and aviation safety*. Casadevall, T. Edit. US Geological Survey Bulletin 2047. 129-135

Rios, S. 1977.- *Métodos Estadísticos*. Ediciones del Castillo. Madrid. 463 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.

Sandi, H. 1986.- *EAEE/WG on vulnerability and risk analysis for individual structures and for systems*. Report to the 8-th ECEE, Lisboa. 76 pp.

Sandi, H. 1995.- Methodological aspects of the analysis of seismic vulnerability and of the use of vulnerability characteristics. *Workshop on evaluation of seismic risk. Lecture Notes*. Servei Geologic Catalunya. Barcelona 1-30

Sansón Cerrato, José 1993.- Riesgos naturales en Canarias. *Revista Tierra y Tecnología*, nº 6, p. 71-76.

Santacroce, R. 1995.- Understanding Vesuvius. Synthesis of the knowledge for a propoitive

model of operation. *Per. Mineral.* 64: 57-59

Satoh, M. 1988.- Removal of volcanic ashes using a hydraulic road scavenging machine. En *Kagoshima International Conference on Volcanoes 1988*. Proceedings. NIRA Tokyo. 674-677

Scandone, R.; Arganese, G.; Galdi, F. 1993.- The evaluation of volcanic risk in the Vesuvian area. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.* 58: 263-271.

Scott, W. 1989.- Volcanic and related hazards. En *Volcanic Hazards*. Tilling, R. Ed. American Geophysical Union. Washington. 9- 23

Sheridan M.F. 1979.- Emplacement of pyroclastic flows: a review. *Geol. Soc. Am. Special Paper 180*: 125-136.

Shirakawa, M. 1988.- Experimental studies on the effects of Mt. Sakurajima volcanic ashes on the respiratory organs. En *Kagoshima International Conference on Volcanoes 1988*. Proceedings. NIRA Tokyo. 720-723

Siebert, L. 1984.- Large volcanic debris avalanche: characteristics of source areas, deposits, and associated eruptions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 22: 163-197

Simkim, T.; Fiske, R.S. 1983.- *Krakatau, 1883: the volcanic eruption and its effects*. Smithsonian Institution Press. Washington D.C. 464 pp

Simkim, T.; Siebert, L. 1994.- *Volcanoes of the World*. Geoscience Press. Arizona 349pp

Sparks, R.S.J. 1986.- The dimensions and dynamics of volcanic eruption columns. *Bull. Volcanol.*, 48:3-15.

Swanson, D. A.; Casadevall, T. J.; Dzurisin, T. A.; Holcomb, R. T.; Malone, S. D.; Weaver, C. S. 1985.- Forecast and predictions of eruptive activity at Mount St. Helens, Washington (USA), 1975-1984. *Jour. Geodynamics* 3: 397-423

Sung Kyun Kim 1981.- Risk assessment of earthquake disaster mitigation program at Shimizu City, Shizuoka Prefecture. Mass evacuation. *J. Earth Sciences, Nagoya University* 29-54

Szakacs, A. 1994.- Redefining active volcanoes: a discussion. *Bull Volcanol.* 56: 231-325

The Times. Atlas of the World. Madrid, Rialp, 1993.

Tiedemann, H. 1992.- *Earthquakes and Volcanic eruptions. A Handbook on Risk Assessment*. Swiss Re. Zurich. 951 pp.

Tilling, R. 1989.- Volcanic hazards and their mitigation progress and problems. *Rev. Geophysics*. 27: 237-269

Tomblin, J.F.; Michael, M.O. 1978.- Nuée ardente hazard in the Lesser Antilles. University of the West Indies, Trinidad. 23 pp.

Tomblin, J. 1995.- *Analysis of lessons learnt from Rabaul Volcanic Eruption and programming for disaster mitigation activities in other parts of the country*. UNHCR-Geneva Mission Report 18 pp

Turcotte, D. L. 1989.- Fractals in geology and geophysics. *PAGEOPH*. 131 1/2: 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

Ui, H. 1983.- Volcanic dry avalanche deposits. Identification and comparison with non volcanic debris stream deposits. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 18: 135-150

UNESCO 1971.- *The surveillance and prediction of volcanic activity*. Earth Science 8. UNESCO, Paris 166 pp.

UNESCO 1972.- "*The surveillance and prediction of volcanic activity - A review of methods and techniques*". Paris, Unesco, 166 pp.

UNDRO/UNESCO 1985.- *Volcanic emergency management*. UNESCO New York 86 pp.

Valentine G.A., Wholetz K.H., Kieffer S.W. 1991.- Sources of unsteady column dynamics in pyroclastic flow eruptions. *J. Geophys. Res.*, 96:21887-21892.

Voight, B. 1990.- The 1985 Nevado del Ruiz Volcano catastrophe: anatomy and retrospection. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 42, 151-188

Wadge, G.; Young P.A.V.; McKendrick I.J. 1994.- Mapping lava flow hazard using computer simulation. *J. Geophys. Res.*, 99 (B1):489-504.

Walker, G. 1981.- Generation and dispersal of fine ash and dust by volcanic eruptions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 11: 81-92

Warrick, R.; Anderson, J.; Downing, T.; Lyons, J.; Ressler, J.; Warrick, M.; Warrick, T. 1981.- *Four communities under ash*. University of Colorado. 143 pp.

Wenger, D. 1988.- Volcanic disaster prevention, warning and rescue. En *Kagoshima International Conference on Volcanoes 1988*. Proceedings. NIRA Tokyo. 682-685

Wholetz, K.; Heiken, G. 1992.- *Volcanology and geothermal energy*. University of California Press. Berkeley, USA. 432pp.

Wholetz, K.H.; McGetchin, T.R., Sandford M.T., Jones E.M. 1984.- Hydrodynamic aspects of caldera forming eruptions: Numerical models. *J. Geophys. Res.* 89:8269-8285.

Williams, S.N. (ed) 1989-1990.- The November 13, 1985 eruption of Nevado del Ruiz Volcano, Colombia. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 40 & 41

Wickman, F. 1976.- Markov models of repose-period patterns of volcanoes. En *Random processes in geology*. Springer-Verlag, N.Y. 135-161

Yokoyama, I.; Tilling, R.; Scarpa R. 1984.- *International mobile early-warning systems for volcanic eruptions and related seismic activities*. UNESCO. Paris. 102 pp.

Young, P.A.V.; Wadge, G. 1990.- FLOWFRONT: Simulation of lava flow. *Comput. Geosci.*, 16:1171-1191.

Yoshioka, K. 1992.- A guideline for hazard map on volcanic eruptions. *Kagoshima International Forum on Volcanoes*. Kagoshima Prefectural Government. 35-38

# **ANEXOS**



## PREGUNTAS Y RESPUESTAS

### ¿Que es un peligro natural?

Un peligro natural es una posible causa de daño a la vida del hombre o a sus bienes, propiedades o calidad de vida provocado por un fenómeno natural (inundaciones, terremotos, erupciones etc.), Este peligro se acepta hasta un determinado nivel de riesgo.

### ¿Cuales son las consideraciones necesarias para poder evaluar un peligro natural?

Percepción del fenómeno  
Identificación del fenómeno como un peligro  
Evaluación del riesgo  
Valoración y control

### ¿Le parece equilibrado lo que un país gasta en la prevención-mitigación de determinados riesgos?

Veamos un caso real, ocurrido en un país de 30.000.000 habitantes que pagan impuestos:

#### Riesgo A: Caída de una bomba nuclear en la sede del Gobierno

Gastos en la construcción de un bunker..... > 300.000.000\$  
Personalidades que ocuparían el bunker..... < 300

#### Riesgo B: Erupción en una zona volcánica activa del país

Gastos en instalaciones para la vigilancia de volcanes.... < 300.000\$  
Personas a las que les afectaría la erupción..... > 300.000

	Riesgo A Bomba Nuclear	Riesgo B Erupción volcánica
Gasto relativo por persona protegida	1.000.000	1
Probabilidad relativa de que ocurra el evento	1	1.000.000

### ¿Cuales son las consideraciones más importantes para valorar la peligrosidad de un volcán?

Estado del volcán, su historia, período de recurrencia, mecanismos eruptivos

### ¿Como identificaría un volcán activo?

Un volcán activo es fácilmente identificable, pues en el se producen frecuentes erupciones, de alguna de las cuales hay referencias históricas. El problema radica en poder saber si un volcán

que no presenta signos de actividad puede volver a entrar en erupción. A efectos prácticos en cada región y para cada tipo de volcán se elige un período razonable de tiempo determinado estadísticamente. En una escala de tiempo geológica, si un volcán no ha tenido ninguna erupción en los últimos 10.000 años, probablemente no entrará en erupción en un inmediato futuro.

### ¿Que elementos intervienen en la microzonificación del riesgo volcánico?

Los elementos básicos a tener siempre presentes cuando se trata de zonificación volcánica son: el número de personas expuestas, sus actividades económicas, la localización de las estructuras y los servicios de emergencia y sus vulnerabilidades frente a cada peligro considerado.

### ¿Podrá usted fotografiar una erupción en Lanzarote?

Supongamos que una pareja se va de vacaciones un mes a Lanzarote, donde las únicas erupciones ocurridas en la isla desde 1400 tuvieron lugar en 1730-36 y 1824. Calcular la probabilidad de que se inicie una erupción mientras están en la isla.

Para ello debemos primero evaluar el período de recurrencia de las erupciones en Lanzarote, usando los pocos datos de que disponemos: 2 erupciones históricas ocurridas desde 1400 hasta nuestros días. Utilizando la fórmula:

$$\frac{1}{n+\lambda} \left( m + \frac{\lambda}{2} - \sqrt{m \left(1 - \frac{m}{n}\right) + \frac{\lambda^2}{4}} \right) \leq \frac{1}{P} \leq \frac{1}{n+\lambda} \left( m + \frac{\lambda}{2} + \sqrt{m \left(1 - \frac{m}{n}\right) + \frac{\lambda^2}{4}} \right)$$

Obtenemos que el período de recurrencia está comprendido entre 82 y 1084 años, para que nuestros turistas no se desanimen adoptemos el valor más favorable para ellos (82 años). Con ello tenemos que la probabilidad de que se produzca una erupción en el año es:

$$1 - \exp(-1/P)$$

obteniendo una probabilidad de 1.2% por año, que para un mes se reduce a 0.12%. Difícil tienen el hacer la foto.

### ¿Cual es el peligro volcánico para el cual el hombre presenta mayor vulnerabilidad?

Las coladas piroclásticas, aunque sean los lahares los eventos que más víctimas han provocado.

### ¿Cual es la diferencia entre una avalancha y un lahar?

Ambos flujos son muy similares y contemplan la movilización de materiales por el agua. Sin embargo, un lahar está constituido básicamente por materiales piroclásticos fluidizados por

agua, por sus especiales características mecánicas, el conjunto presente una gran movilidad, recorriendo mayores distancias y en menos tiempo.

**¿Cuanto debería pagar un agricultor que quisiera asegurar la cosecha en unas tierras que fueron cubiertas por más de 20 cm de piroclastos hace 2000 años?**

La primera información de la que disponemos es que el volcán hace 2000 años emitió una columna plineana que cubrió la zona con más de 20 cm de piroclastos. Si no tenemos más datos deberemos aplicar la formula que nos da la horquilla de los períodos de retorno con 1 evento y 2000 años:

$$\frac{1}{n+\lambda} \left( m + \frac{\lambda}{2} - \left( m \left( 1 - \frac{m}{n} \right) + \frac{\lambda^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \leq \frac{1}{P} \leq \frac{1}{n+\lambda} \left( m + \frac{\lambda}{2} + \left( m \left( 1 - \frac{m}{n} \right) + \frac{\lambda^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

que permite estimar un período de retorno para una erupción similar comprendido entre 235 y 17.000 años. Ya que estamos en una evaluación del riesgo elegimos el valor extremo de 235 años. La evaluación de la prima que deberíamos pagar para asegurar la cosecha se puede hacer de forma

$$x_v = \frac{1000 L f u_v f_o P}{V R_v} \quad (3)$$

elemental de acuerdo con:

donde  $x_e$  es la prima del seguro en 0/00; L son las pérdidas esperadas para la erupción considerada en el cálculo del período de retorno y se expresa en 0/0 del valor de la suma asegurada V (que se toma siempre 100 para dar  $x_e$  en 0/00); f factor de corrección debido la destrucción provocada por fenómenos asociados (tsunamis, incendios, etc);  $u_v$  es un factor debido la incertidumbre en la evaluación de los períodos de retorno y la magnitud de la erupción, en él suelen incluirse otros factores como los vientos dominantes y se suele adoptar un valor comprendido entre 2 y 3;  $f_o$  es un factor que engloba las comisiones de la compañía de seguros (overhead); P es el período de exposición y  $R_v$  es el período de retorno en años.

En nuestro caso podemos suponer que una erupción como la ocurrida hace 2000 años nos provocaría unas pérdidas del 50% (L), que podrían agravarse en un factor de 1.5 (f) a causa de la falta de agua para el riego después de la erupción; para el factor de incertidumbre elegimos 2.7 ( $u_v$ ); la compañía tiene un overhead de 2.2 ( $f_o$ ), el período de exposición es de 1 año (P) y el período de retorno de 235 años.

$$x_v = \frac{1000 \cdot 50 \cdot 1.5 \cdot 2.7 \cdot 2.2 \cdot 1}{100 \cdot 235} = 18.9^0/00$$

### ¿Podría ser usted la víctima mortal de un terremoto en California?

Supongamos un estudiante que va a realizar su tesis a California, donde deberá residir un año en las proximidades de una falla muy activa que responde a la ley de distribución de magnitudes de Gutenberg-Richter:

$$\log(N) = 4.23 - 0.815 M$$

Se pide calcular cual es el riesgo que asume bajo las siguientes condiciones:

- Pasa la mitad del día en su residencia
- La probabilidad de que colapse su dormitorio con un terremoto de magnitud  $M = 7$  es del 50%
- Tiene una probabilidad del 30% de sobrevivir al colapso
- Tiene una probabilidad de 1% de sobrevivir al incendio producido tras el colapso

Primero debemos calcular cuales la probabilidad de que ocurra un terremoto de magnitud 7 en un año

$$\log(N) = 4.23 - 0.815 \times 7$$

$$\log(N) = -1.475$$

$$N = 0.0335 \text{ terremotos de } M = 7 \text{ por año}$$

$$T = 1/N = 29.8 \text{ años}$$

La probabilidad de que ocurra un terremoto de  $M = 7$  viene dada por

$$P = 1 - \exp(-1/29.8) = 0.0329$$

$$P_c = \left( \begin{array}{c} \text{Probabilidad} \\ \text{ocurrencia} \\ \text{terremoto} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{estar en la} \\ \text{residencia} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{colapso del} \\ \text{dormitorio} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{morir en el} \\ \text{colapso} \end{array} \right)$$

$$P_i = \left( \begin{array}{c} \text{Probabilidad} \\ \text{ocurrencia} \\ \text{terremoto} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{estar en la} \\ \text{residencia} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{colapso del} \\ \text{dormitorio} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{sobrevivir} \\ \text{al colapso} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{morir en el} \\ \text{incendio} \end{array} \right)$$

Para evaluar la probabilidad de morir durante su año de residencia junto a la falla deberemos considerar las dos posibilidades morir en el colapso o morir en el incendio que sigue al terremoto:

$$P_c = 0.0329 \times 0.5 \times 0.5 \times (1 - 0.3)$$

$$P_i = 0.0329 \times 0.5 \times 0.5 \times [0.3 \times (1 - 0.01)]$$

La probabilidad que tiene de morir es  $P_c + P_i = 0.6\% + 0.2\% = 0.8\%$

## INSTRUMENTACIÓN DE UNA CRISIS VOLCÁNICA

En muchos volcanes activos no es posible disponer de forma permanente todo el equipamiento necesario para el adecuado seguimiento de una posible reactivación del volcán. El despliegue de la instrumentación se inicia una vez superado el nivel 1.

INSTRUMENTACIÓN	NIVEL							
	0	1	2	3	4	5	6	7
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)				*	*	*	*	
<b>ELEMENTOS AUXILIARES</b>								
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)			*	*	*	*	*	*
<b>PRESUPUESTO EXTRAORDINARIO</b>			*	*	*	*	*	

? depende del tipo de erupción esperada      + equipo seguramente destruido

Es importante conocer que instrumentación hay disponible y como puede utilizarse en caso de crisis. No todos los instrumentos son utilizables ni sus datos sirven en caso de crisis volcánica. También es importante consignar el tiempo requerido para que el comité científico pueda disponer de estos datos y proceder a su evaluación

<b>INVENTARIO DE INSTRUMENTAL PARA CRISIS VOLCÁNICAS</b>						
<b>Institución</b>						
<b>Dirección Postal</b>						
<b>Teléfono</b>	<b>FAX</b>	<b>E-MAIL</b>				
<b>Responsable</b>						
<b>INSTRUMENTO</b>						
<b>Descripción</b>						
<b>Características técnicas</b>						
<b>Instalación o localización</b>	<b>Permanente</b>	<b>Coordenadas</b>				
	<b>Portátil</b>					
	<b>Laboratorio</b>					
<b>OPERACIÓN Y PROCESO DE DATOS</b>						
<b>Operación</b>	<b>Telemetría</b>	Radio	Frecuencia	Alcance	Capacidad	
		Cable	Teléfono	Propio	Capacidad	
		Satélite	Transmisor	Receptor	Capacidad	
	<b>In situ</b>	<b>Manual (Número de operadores)</b>				
		<b>Automático (Capacidad en días)</b>				
<b>Tipo de datos</b>	<b>Analógico</b>	<b>Soporte</b>				
	<b>Digital</b>	<b>Formato</b>	<b>Intercambio</b>			
<b>Tiempo requerido para el primer procesado</b>	<b>Normal</b>	<b>Número de operadores</b>				
	<b>Crisis</b>	<b>Número de operadores</b>				
<b>Capacidad de procesado</b>						
<b>Requisitos de análisis</b>	<b>In situ</b>					
	<b>Remoto</b>					
<b>Información que proporciona</b>						
<b>Información disponible a posteriori</b>						

## **NORMAS DE SEGURIDAD PARA VOLCANÓLOGOS**

**Recomendaciones de la IAVCEI (Aramaki et al., 1993)**

### **1 PLANIFICACIÓN Y LOGÍSTICA**

**1.1 Se recomienda a todas las personas o grupos que, antes de iniciar cualquier trabajo en un volcán, incorporen un plan de seguridad en su programa de actuación.**

**1.2 Durante la fase de planificación es muy importante contactar con las autoridades locales responsables de la protección civil, mitigación de desastres y rescate. Discutir los procedimientos de emergencia con estos colectivos antes de iniciar las actividades.**

**1.3 El programa de trabajo correspondiente a las actividades de campo debe ser conocido por las autoridades locales, responsables de la investigación volcanológica o colegas situados fuera de la zona de riesgo.**

**1.4 El investigador o grupo de investigadores que pretendan trabajar en un volcán desconocido para ellos deberán ponerse en contacto con los científicos nacionales, mejores conocedores de los peligros potenciales del volcán.**

**1.5 El tamaño de cada grupo de trabajo debe hacerse pensando en minimizar el riesgo. Los grandes grupos, como los que asisten a los trabajos de campo asociados a reuniones científicas, deben abstenerse de visitar las zonas de peligro.**

**1.6 Deberá evitarse la compañía de personas ajenas, como turistas o periodistas.**

**1.7 Los investigadores, individualmente o por grupos que pretendan trabajar en las zonas de peligro, deberán considerar los pertinentes seguros y dejar firmados los correspondientes documentos antes de iniciar los trabajos.**

**1.8 Los miembros del equipo de investigación deberán conocer los principios de las primeras ayudas y otras medidas de seguridad.**

**1.9 Las condiciones meteorológicas pueden cambiar muy rápidamente. La experiencia en técnicas de supervivencia en alta montaña resulta imprescindible en esos casos.**

### **2 TRABAJOS DE CAMPO**

**2.1 Los investigadores deberán conocer la información disponible sobre los fenómenos precursores de una erupción en el volcán objeto de estudio. Es esencial contactar con los responsables de la investigación volcanológica para tener acceso a esta información.**

**2.2 Es imprescindible que las personas que trabajen en la zona de peligro mantengan contacto de radio permanente con el observatorio volcanológico o con las autoridades locales, de esta**

forma es posible conocer cualquier cambio en la actividad del volcán.

**2.3 Es importante mantener una reunión de trabajo con los colegas o con las autoridades locales cada vez que se vaya a entrar en zona de peligro.**

**2.4 Los investigadores, cuando se encuentren en la zona de peligro, deben estar en constante alerta y abstenerse de cualquier acción no absolutamente necesaria para el trabajo de investigación. No deben acercarse a cráteres activos, lagos de lava, coladas de lava y flujos piroclásticos.**

**2.5 Los trabajos de campo deben ejecutarse en el mínimo tiempo de permanencia dentro de la zona de peligro.**

**2.6 Dentro de lo posible los trabajos deben realizarse fuera de cráteres activos, fumarolas y solfataras.**

**2.7 Deben seleccionarse los caminos de acceso de forma que se minimice la fatiga durante el trabajo de campo. Deberán evitarse los cruces de campos de lavas recientes así como las zonas bajas por donde puedan discurrir lahares, flujos piroclásticos o quedar atrapados gases tóxicos.**

**2.8 Las rutas de escape deben planificarse y conocerse con anticipación.**

### **3 EQUIPAMIENTO**

**3.1 Radioteléfono con dos canales para la comunicación entre miembros del equipo y para mantener contactos con personal situado fuera de la zona de peligro.**

**3.2 Es esencial disponer de un casco protector (con barbijo)**

**3.3 Máscaras de gas, especialmente si se va a trabajar en zona de fumarolas o con cenizas. Deberán estar equipadas con los filtros y repuestos adecuados.**

**3.4 El traje deberá ser adecuado para las más adversas condiciones meteorológicas, si es posible deberá ofrecer protección frente a impactos y calor. Deberá ser de colores brillantes para aumentar la visibilidad y facilitar el rescate.**

**3.5 El calzado deberá ser resistente y con buen anclaje.**

**3.6 Guantes, esenciales cuando se atraviesan lavas recientes.**

**3.7 Botiquín de primeros auxilios**

**3.8 Una mochila con bastante comida y especialmente agua.**

**3.9 Equipo mínimo para moverse en el campo: mapas, brújula, altímetro, cuchillo y espejo de señales.**

**3.10 Chapa de identificación: con el nombre del investigador, grupo sanguíneo, etc.**

**3.11 Gafas protectoras (ventisca) para el sol, nieve y en ocasiones contra la ceniza.**

## **PLAN FAMILIAR DE PROTECCIÓN CIVIL**

### **CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres) México.**

Un Plan familiar de Protección Civil es el conjunto de actividades que los miembros de una familia deben realizar antes, durante y después de que se presente una situación de desastre; en él se deben considerar las medidas preventivas y los conocimientos necesarios para actuar de manera organizada. Un plan preventivo requiere que quienes participan en él lo hagan de manera coordinada y con sentido de unión familiar. Por ello es importante que todos los miembros de la familia y las demás personas que viven en el hogar conozcan las medidas incluidas en el mismo. Elaborar un plan es muy sencillo y útil, incluso puede resultar hasta divertido para usted y todos los que habitan en su hogar, además debe elaborarse con anticipación para prepararse convenientemente. Se recomienda contemplar la participación de los niños con el propósito de que sepan qué deben hacer y puedan así colaborar con las personas mayores. Con el Plan familiar de Protección Civil se pretende que todos los miembros de la familia sepan qué hacer antes, durante y después de un desastre, a través del conocimiento de las medidas básicas de preparación y autoprotección. Asimismo, conocer que tan segura es nuestra casa y sus alrededores, además de las acciones que se deben llevar a cabo para corregir y mejorar sus condiciones de seguridad y finalmente, conocer la lista de utensilios y materiales que se recomienda tener a mano para su mejor autoprotección, comunicación y abastecimiento.

El plan familiar de Protección Civil deberá incluir las medidas adecuadas para revisar el estado que guarda la construcción de nuestra casa, sus instalaciones y el mobiliario, así como los peligros que puedan presentar sus alrededores, con el fin de detectar y reducir los riesgos potenciales, buscando que *la casa ofrezca la máxima seguridad*. Diseñar rutas con vías de escape o evacuación y salidas más seguras y próximas para *alejarse del lugar de alto riesgo*. Prepararse para tomar las decisiones más adecuadas para afrontar el desastre de acuerdo a las circunstancias de la situación que se pueda presentar y así *saber que hacer*. Realizar periódicamente ejercicios o simulacros en el hogar, para *estar siempre preparado*.

La elaboración de un plan familiar de protección es sencilla: comience por elaborar un croquis sencillo de su casa y alrededores, en el que pueda anotar las observaciones sobre los posibles riesgos en su hogar y del entorno, así como las recomendaciones para reducirlos. Revise la construcción e indique en el croquis con color rojo todas aquellas fallas y desperfectos encontrados, así como también la ubicación de sustancias inflamables, tanques de gas, tomas eléctricas, etc. Marque, asimismo, otros elementos de peligro, como pueden ser alcantarillas o registros sin tapa, roturas o desniveles en el piso, salientes en los muros, rejas, cables tendidos, macetas o jardineras y otros objetos en general que pudieran provocar daños. Posteriormente, asegure los objetos detectados que pudieran caer en caso de un temblor o salir proyectados durante un huracán y almacene las sustancias inflamables que pudieran provocar un incendio, con el fin, precisamente de reducir los riesgos.

Para diseñar las rutas de escape o evacuación, primero debe definir el lugar más seguro, tanto dentro como fuera de casa; *el lugar más seguro es aquel que le ofrece mayores posibilidades de sobrevivir en un desastre*, identifíquelos y marque en el croquis, con flechas color verde, las rutas para llegar a los lugares más seguros dentro de la casa y las que conducen a ellos fuera de la misma, retire los objetos que puedan ser obstáculos en las rutas de escape. es importante pensar no solo en las más directas, sin en las que tienen menos peligro. Señale en el mismo croquis la distribución más conveniente del mobiliario para lograr mejores rutas de escape. Cuando tenga ya las alternativas de rutas de salida, mida el tiempo que necesita para llegar a los sitios seguros fuera de casa, partiendo de distintos lugares de ella, y escoja la que menor tiempo le lleva recorrer. No olvide, para evacuar a los niños pequeños, ancianos y personas con impedimentos físicos, el tiempo necesario puede ser mayor, por tanto considere la posible ayuda que necesitarán.

¿Como prepararse para tomar las decisiones adecuadas en una situación de emergencia? Conservar la calma es el elemento crucial para sobrevivir a una situación de emergencia, por ello, debe saber como comportarse y que medidas ejecutar. Una de las decisiones que muchas veces se tiene que tomar es en una situación de emergencia es la de quedarse dentro o salir de la casa. No hay una respuesta común para todas las situaciones, un lugar es más seguro en el grado en que se encuentra menos expuesto a riesgos; es decir, en cuanto cumple mejor el propósito de sobrevivencia. Un lugar afuera no es necesariamente más seguro que el interior de la casa, puede decirse que cuando es posible salir lo hagamos con la seguridad de no exponernos.

Haga una lista de todos aquellos documentos y objetos que deberá tener siempre a la mano, en caso de alguna emergencia, empiece por recopilar los documentos personales de todos los miembros de la familia. Guárdelos ordenadamente en una bolsa, caja o archivero portátil, de preferencia resistente al agua y al fuego y téngalos a la mano. Obtenga copias de los documentos y guárdelas en casa de un familiar o amigo de confianza que viva en otra zona, así podrá utilizarlos en caso de perder los originales durante el desastre. Cuente con un directorio con los teléfonos y direcciones de emergencias y también, los de las escuelas, centros de trabajo, centros culturales, deportivos y sociales a donde comúnmente asiste la familia. Fije un punto de reunión por si el siniestro ocurre al estar la familia dispersa en diferentes lugares y acuerde con los demás que será allí donde habrán de coincidir. Puede ser la casa de un amigo o familiar (en otra zona). Tenga duplicado de las llaves de la casa y de su auto junto a la puerta de salida, cuente con el registro del tipo sanguíneo de todos los habitantes de la casa, y conozca la ubicación de los hospitales más cercanos y la mejor manera de llegar a ellos. Tenga a la mano una linterna y una radio con pilas de repuesto (renovar periódicamente). Procure almacenar algunos víveres en lata y agua potable (Es recomendable para dos días). Verifique las fechas de caducidad y renueve periódicamente. De ser posible, tenga una caja de herramientas para las reparaciones de emergencia, y botiquín de primeros auxilios con su respectivo manual de utilización. Ante la proximidad de un desastre previsible, como puede ser el caso de una erupción volcánica, un huracán o una inundación, esté pendiente de las indicaciones de las autoridades, manténgase informado de acuerdo con la situación y tome la decisión anticipadamente sobre si deberá permanecer en

su casa o acudir a un refugio previamente identificado.

**Realice un simulacro:** un simulacro es un ensayo o práctica sobre cómo se debe actuar en caso de una emergencia, provocada por una erupción volcánica, temblor, incendio, huracán, inundación, etc. Realizar un simulacro tiene muchas ventajas. La primera de ellas es que podemos comprobar con anticipación si las acciones de preparación son eficientes y permite corregir la situación para una mejor atención de la emergencia. Por otra parte, nos permite estar bien entrenados para actuar correctamente ante un desastre. Una ventaja adicional es que fomenta la Cultura de la Protección Civil entre los miembros de la familia y de la comunidad. Los pasos a realizar en un simulacro para casos de desastre son los siguientes:

- Imaginar algunas situaciones de emergencia probables en su localidad.
- Fijar responsabilidades a cada uno de los miembros de la familia.
- Emitir la voz de alarma
- Interrumpir inmediatamente las actividades y desconectar los aparatos eléctricos que estén funcionando. Cortar el gas.
- Recorrer las rutas correspondientes
- Conducirse con orden. No correr, no gritar, no empujar.
- Llegar al punto de reunión convenido.
- Revisar que nadie falte y que todos se encuentren bien.
- Evaluar los resultados y ajustar tiempos y movimientos.

Después de realizar uno o varios simulacros, la familia deberá discutir y analizar los puntos que considere incorrectos y corregirlos para quedar realmente convencidos de lo que se tiene que hacer. La participación de los niños es muy importante. Una vez que todos estén de acuerdo, cada cual se avocará a cumplir con las responsabilidades asignadas, poniéndolo en práctica. Comprométase, en forma permanente y sistemática, a poner en marcha el plan y en su caso, mejorarlo. Se recomienda organizar un comité vecinal de protección civil con objeto de mantener una permanente colaboración y ayuda mutua. Recuerde: *Todos necesitamos de todos.*

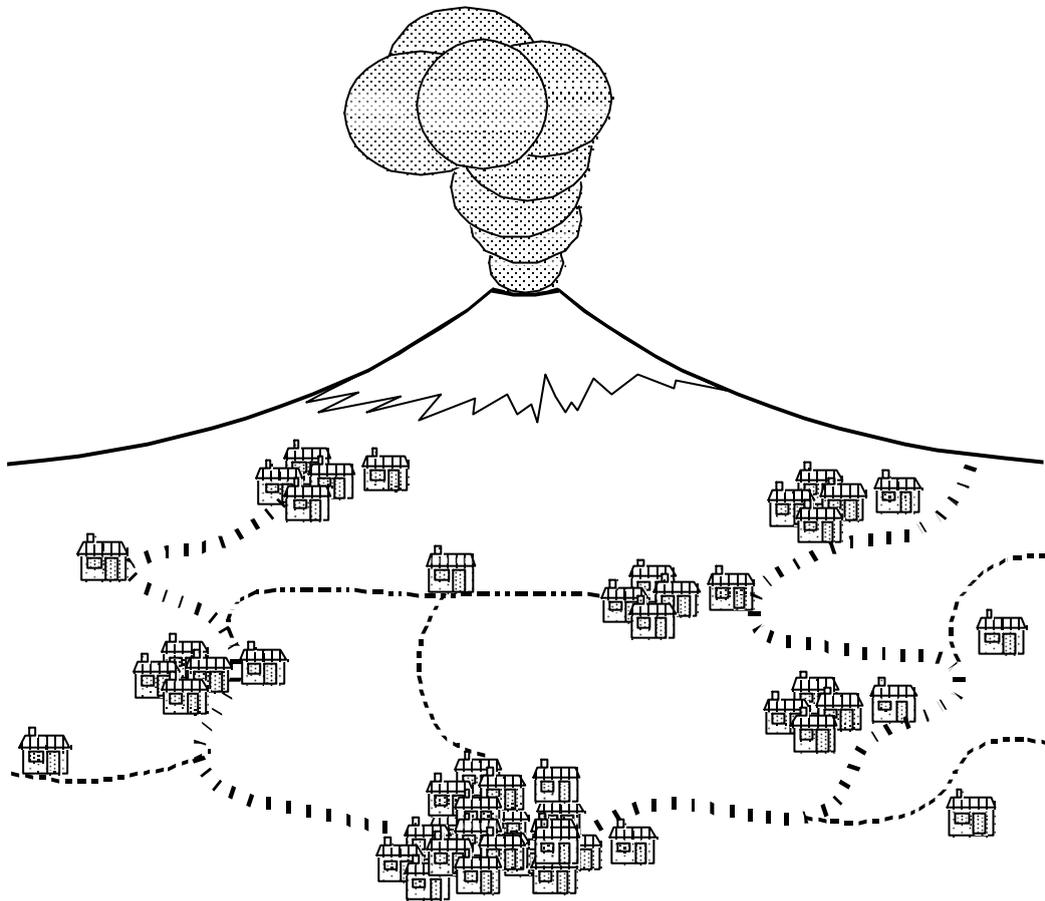
<b>Alimentos y utensilios</b>
<b>Agua: un mínimo de dos litros por persona al día, para beber, cocinar y lavarse. Almacénesse en envases irrompibles tanta agua purificada como le sea posible.</b>
<b>Alimentos: de preferencia no perecederos, que necesiten poco o nada de cocimiento (leche en polvo, conservas, galletas, jugos, etc.)</b>
<b>Alimentos especiales para niños y enfermos.</b>
<b>Abrelatas, cuchillo, etc.</b>
<b>Tabletas para purificar el agua.</b>

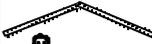
<b>Comunicación. alumbrado y seguridad</b>
<b>Radio de pilas y baterías de repuesto</b>
<b>Linterna de pilas y baterías de repuesto</b>
<b>Velas y cerillas en bolsa de plástico</b>
<b>Extintor</b>
<b>Ropa de abrigo, Impermeables y mantas.</b>

<b>Documentos</b> (En una bolsa o mochila impermeable y que deje libres brazos y manos)
<b>Documento de identidad, pasaporte.</b>
<b>Carnet de conducir</b>
<b>Carnet seguridad social, seguros médicos, etc.</b>
<b>Actas de nacimiento y matrimonio</b>
<b>Dinero en efectivo, tarjetas de crédito, chequeras, libretas de ahorro.</b>
<b>Células de propiedad</b>
<b>Pólizas de seguro</b>

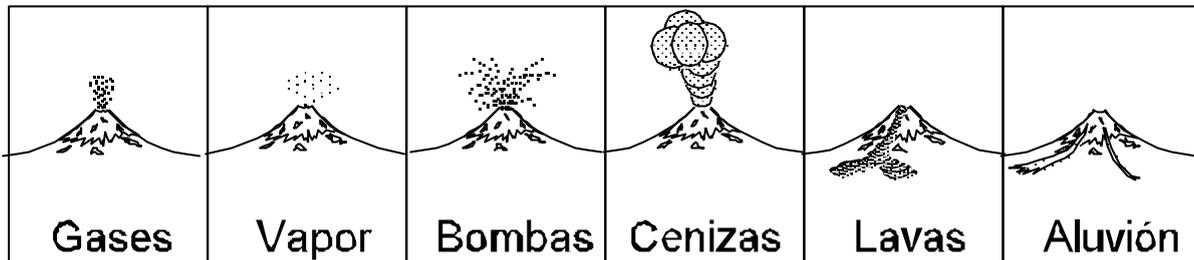
## EJEMPLO DE DOCUMENTOS Y FORMULARIOS

Pequeño cartel producido por el Sistema Estatal de Protección Civil de Colima (México) para el caso de una erupción



Que HACER	Que NO HACER	En el RIESGO
 <p>escucha la radio</p>	 <p>No lleve animales</p>	 <p>NO:</p>
 <p>salga rápido y tranquilo</p>	 <p>No cargue cosas</p>	 <p>Seguridad</p>
 <p>No lleve niños</p>	 <p>No grite</p>	 <p>Atención</p>
 <p>cooperar</p>	 <p>No corra</p>	 <p>Comida</p>  <p>Ropa</p>  <p>Alfombra</p>

**Formulario para rellenar por parte de observadores voluntarios en caso de apreciar cualquier tipo de actividad en el volcán. Basado en el formulario preparado por el Proyecto de Riesgo Volcánico C-11001 de la Fundación Andes (Chile) para los volcanes Llaima y Villarrica**



<b>Mov. Sísmicos</b>	<b>Ruidos</b>	<b>Otros</b>
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

**Comentarios**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

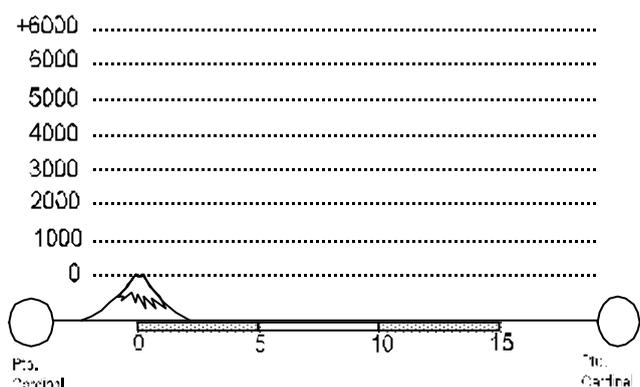
.....

.....

.....

.....

.....



Intensidad		Caída Piroclastos		Coladas de lava	Aluviones	
VEI	altura km	tamaño partículas .... mm			espesor frente ..	altura ola .....
0	-0.1	espesor depósito ..... mm			.....	.....
		color .....			velocidad avance	espesor depósito
1	0.1-1	efectos .....			.....	.....
		.....			largo .....	tipo material ...
2	1-5	64 mm	bombas y bloques		ancho .....	.....
3	5-15	32mm	grueso	lapilli	color .....	color .....
4	15-25	16mm	medio		punto emisión ..	temperatura ....
			fino	.....	cauce .....	efectos .....
5	>25	2 mm	ceniza	.....	.....	.....
				.....	.....	.....

**Cartel anunciador de un ejercicio de protección civil realizado en el area de alto riesgo del Vesuvio. Este tipo de anuncios son necesarios para evitar que se interprete el ejercicio como una actuación consecuencia de una situación real:**

**COMUNA DE ERCOLANO  
PROVINCIA DE NÁPOLES**

-----

**OFICINA DE LA PROTECCIÓN CIVIL**

**EJERCICIO DE PROTECCIÓN CIVIL "EUROPA 96" EN AREA  
VESUVIANA LOS DÍAS 31 DE MAYO, 1 Y 2 DE JUNIO**

*Se informa a la ciudadanía que los días 31 de mayo, 1 y 2 de junio próximo, se desarrollará en el area vesuviana un ejercicio de la Protección Civil dirigido a divulgar a los operadores de la Comunidad Europea, el contenido del Plan Nacional de Emergencia Vesuvio y de comprobar la operatividad de la primera fase de actuación en cuanto afecta a la comunidad científica y a los Organismos Locales.*

*Durante el desarrollo del ejercicio operarán sobre el territorio helicópteros de la Protección Civil y de las Fuerzas Armadas, equipos de vigilancia del Observatorio vesuviano y operadores locales adscritos al servicio de telecomunicaciones. El día 2 de junio, la nave San Giorgio también participará en las operaciones, navegando en las aguas de Torre del Greco*

*Por tanto, a fin de evitar alarmismo infundado, se informa también que el Observatorio Vesuviano declara que tal ejercicio no deriva de ninguna situación de peligro real y que el estado actual del Vesuvio es del todo normal (nivel de riesgo 0) como se define en el Plan de Emergencia Nacional, determinado de acuerdo con los últimos levantamientos y valoración de los datos científicos.*

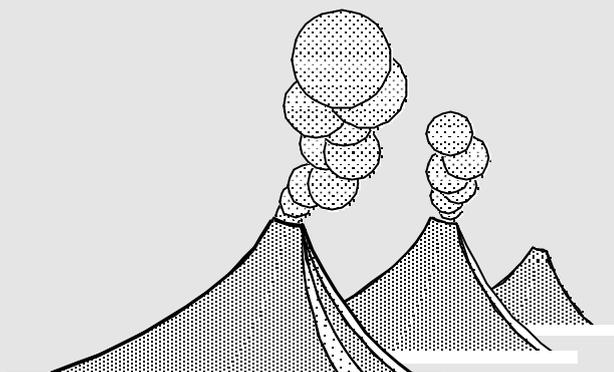
**Los comunicados para el caso de crisis deben estar preparados antes que esta se presente. Aquí se presenta el preparado por la Intendencia de la IX Región de Chile para el Plan de Emergencia del volcán Llaima para anunciar por radio la evacuación.**

**En informaciones radiales anteriores se ha señalado la posibilidad de una erupción destructiva en el volcán ..... . La situación se ha vuelto más seria y según los expertos en la materia, la actividad eruptiva irá aumentando con peligro para la población. Por lo anteriormente señalado se ha decidido declarar la alerta roja y ordenar la evacuación de los siguientes sectores de las comunas que se señalan: ..... . Si Ud. vive en algunos de los sectores indicados debe dirigirse con la mayor rapidez posible hacia los lugares de encuentro que se indican a continuación ..... . De acuerdo con el Plan de Evacuación existente las empresas de Buses ..... deberán instruir de inmediato a su personal para que concurran a los sectores en riesgos por las rutas ..... para recoger a las personas afectadas y trasladarlos a los albergues dispuestos en la localidad de ..... . Si dispone de transporte propio y conoce zonas seguras, diríjase allí rápidamente, informando de ello a la Autoridad más cercana.**

**No se estacione en las carreteras para no obstruir la circulación. Esté atento en este medio de información para escuchar las instrucciones de la Autoridad y asegúrese que sus vecinos estén enterados de las instrucciones que se han entregado.**

**RECOMENDACIONES PARA CASO DE ERUPCIÓN VOLCÁNICA**

Preparado por la *Civil Defence* de Nueva Zelanda y distribuido en las tapas de las guías telefónicas.

**VOLCANIC ACTIVITY**

**Listen to the radio for information and advice.**

**Find shelter but NOT in a building with a low pitched roof if heavy ash is falling. Avoid basements or confined spaces where gases may accumulate.**

**Move to a ridgeline if you are in the open. Keep well above the shoreline of large lakes.**

**Wear substantial covering over your head and body if you have to move in an ash shower. Breathe through a handkerchief, carry a torch even if it is daytime and move as quickly as you can away from the eruption.**

**Follow your Civil Defence checklist - back cover**



**KNOW WHAT YOU HAVE TO DO  
BEFORE YOU HAVE TO DO IT**

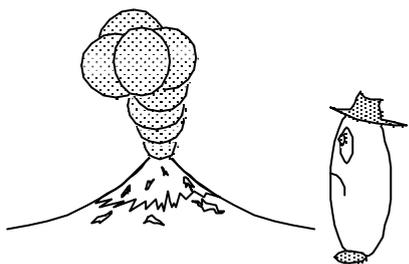


## **Recomendaciones para el caso de una erupción volcánica**

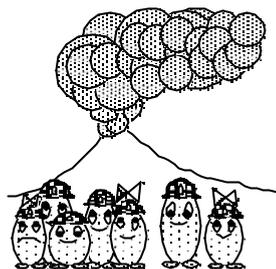
(adaptado del cartel preparado por la Comisión Nacional de Emergencia de Costa Rica)

**ANTE UNA EVENTUAL ERUPCIÓN  
MANTENGA LA CALMA**

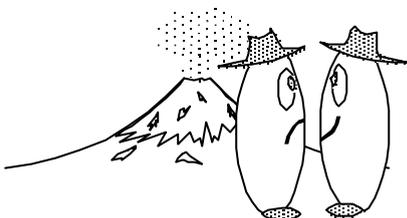
**Estar prevenido es la mejor forma de salvarse**



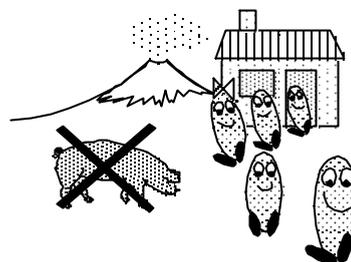
Si observa algún cambio en el Volcán, como nuevas fumarolas, fuentes termales, pozos secos, cenizas o deslizamientos, comuníquelo a las autoridades.



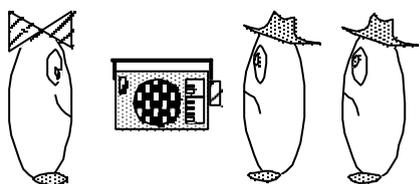
En caso necesario: reúnanse inmediatamente con su familia y escuche los mensajes de la radio, la Protección Civil o autoridades para recibir instrucciones.



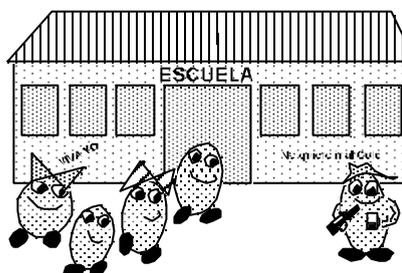
No se deje llevar por falsos rumores de personas no autorizadas.



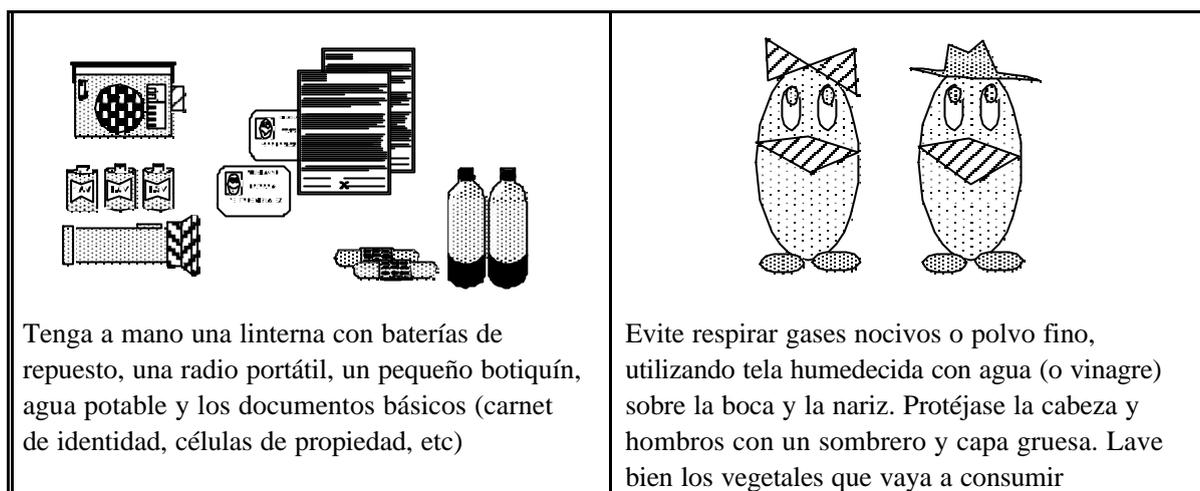
Si se da la alarma de evacuar, lleve a la familia con su documentación y únicamente lo indispensable. No lleve animales.



Manténgase enterado de la actividad del volcán por medio de los informes de la Protección Civil, difundidos a través de la radio, de la Televisión y otros.



Diríjase al lugar recomendado por la Protección Civil o autoridades.

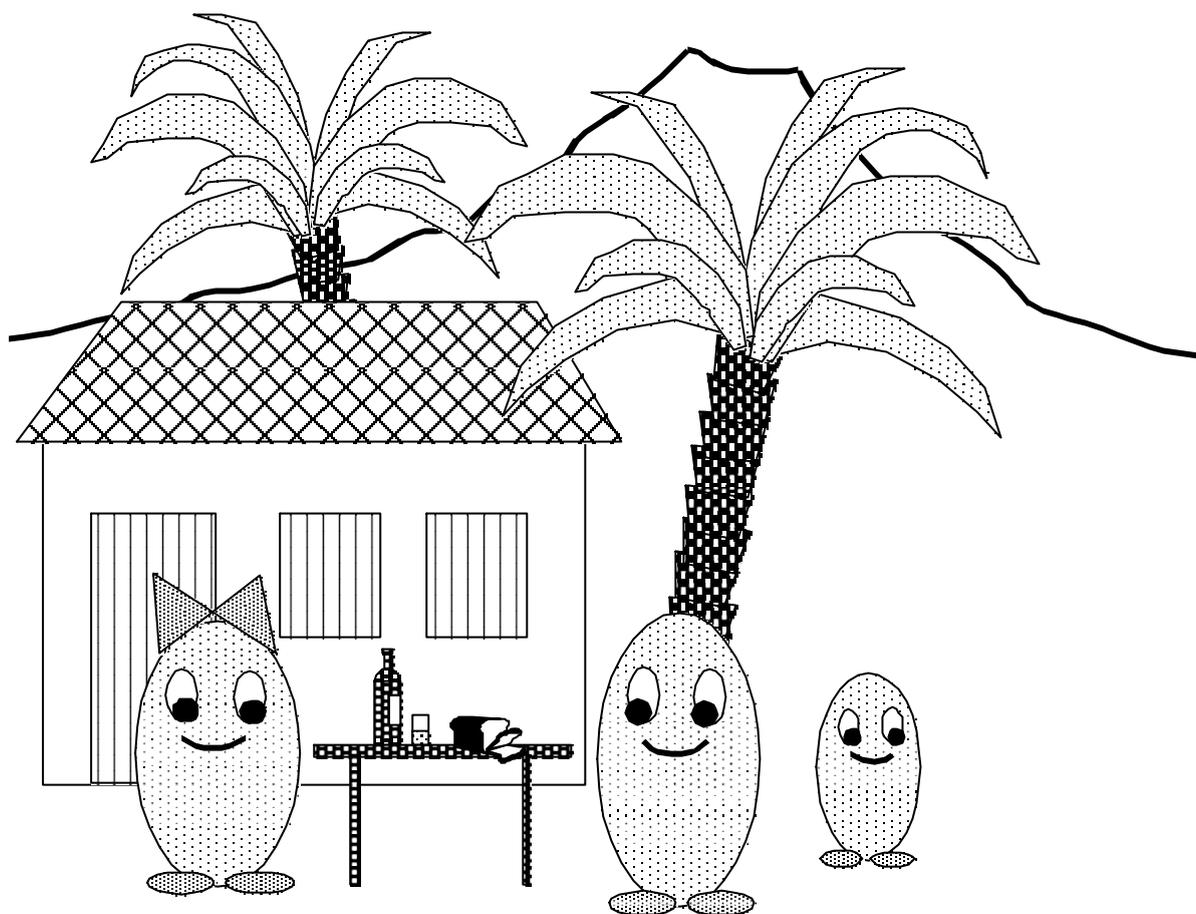


## LOS PELIGROS VOLCÁNICOS

R. Ortiz (Dep. Volcanología, C.S.I.C.)

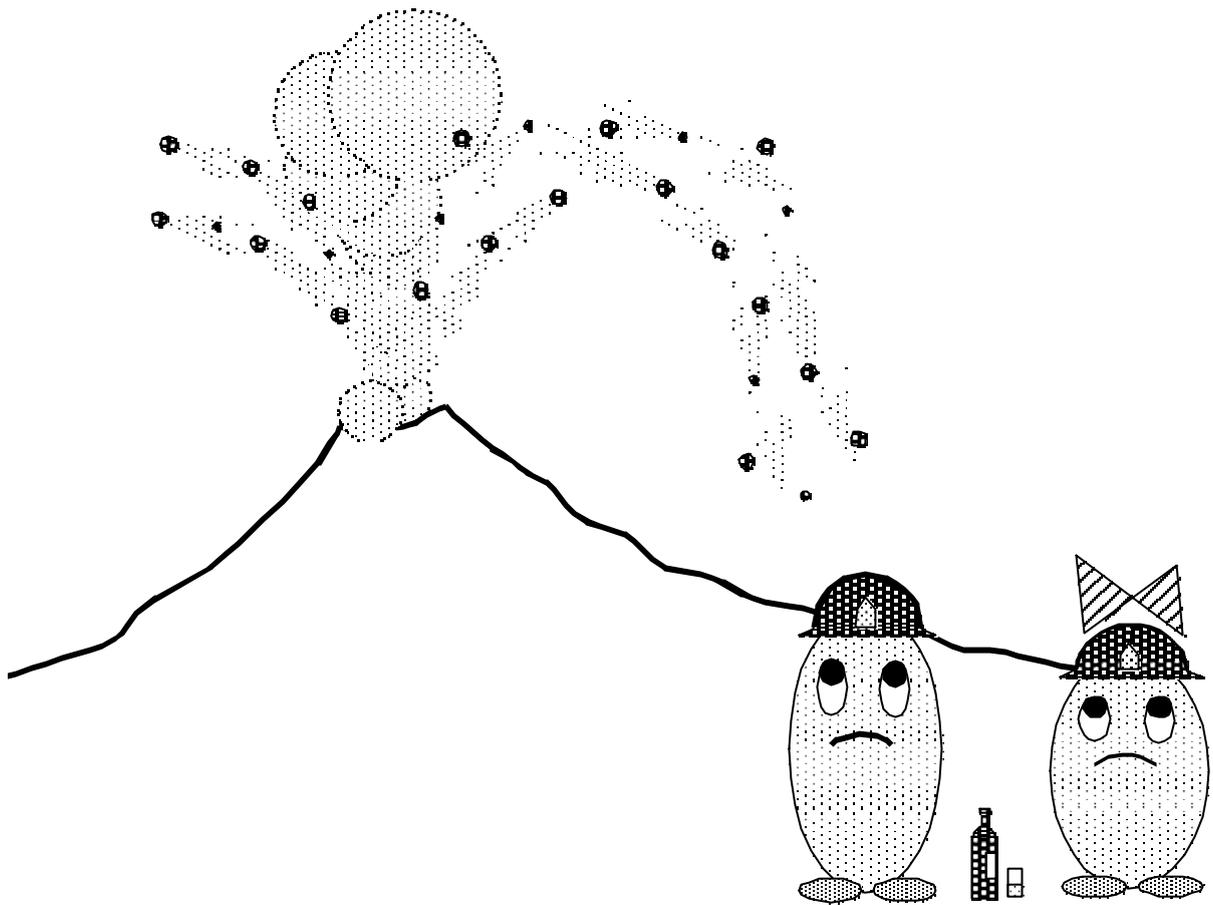
### PRESENTACIÓN

Uno de los aspectos más importantes que deben cuidarse al tratar de mitigar el impacto de los desastres naturales es la educación de la población afectada. La percepción del peligro es la primera acción para la reducción del riesgo. En las siguientes páginas presentamos en un estilo sencillo un documento encaminado a la enseñanza de los factores de peligro volcánico.



## VIVIR CON EL VOLCÁN

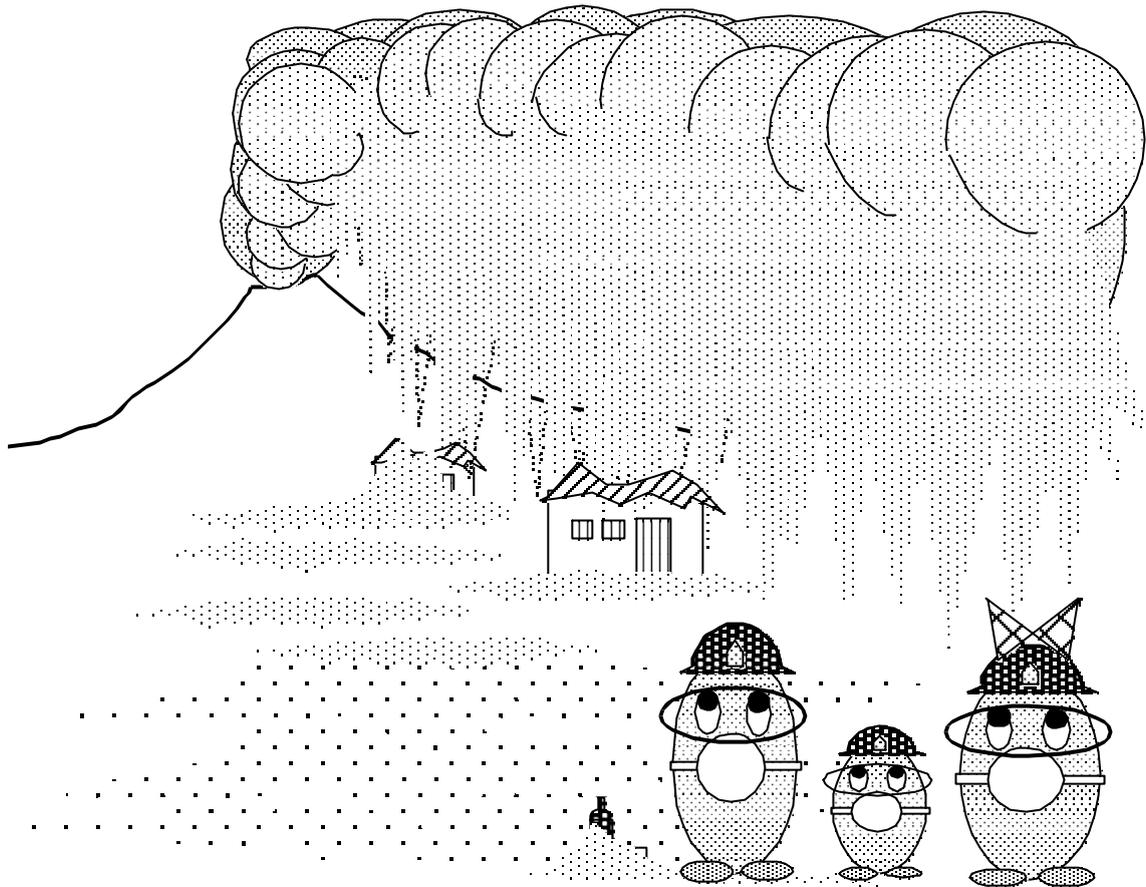
Muchos millones de personas viven cerca de un volcán, la riqueza de sus tierras o la belleza de los paisajes volcánicos son algunas de las razones que han dado origen a estos asentamientos. La mayoría de estos pueblos sabe convivir con el volcán: cuando el volcán va a entrar en erupción recogen sus cosas y se alejan lo suficiente para que no les ocurra nada. Sin embargo, la sociedad moderna es mucho más complicada, depende demasiado de unas complejas infraestructuras (fábricas, carreteras, teléfonos, energía, redes de agua potable, hospitales, etc) y por ello mucho más vulnerable a la acción del volcán.



## PROYECCIÓN DE BOMBAS

Los fragmentos sólidos proyectados por el volcán se conocen con el nombre de *piroclastos*, del griego *piros* fuego y *clasto* fragmento. En función de su tamaño se llaman: cenizas cuando son menores de 2 mm, lapilli (picón en Canarias) entre 2 mm y 64 mm y bombas los más grandes.

Las bombas pueden ser proyectadas a grandistancia, estando el récord en 40 km conseguido por el volcán japonés Asama, aunque generalmente caen en las proximidades del cráter, a pocos cientos de m. Cuando una bomba llega al suelo suele estar ya lo bastante fría para no poder provocar incendios, salvo con materiales muy inflamables. Exceptuando las proximidades del volcán, el riesgo es bajo, pues son pocas las bombas que alcanzan grandes distancias.

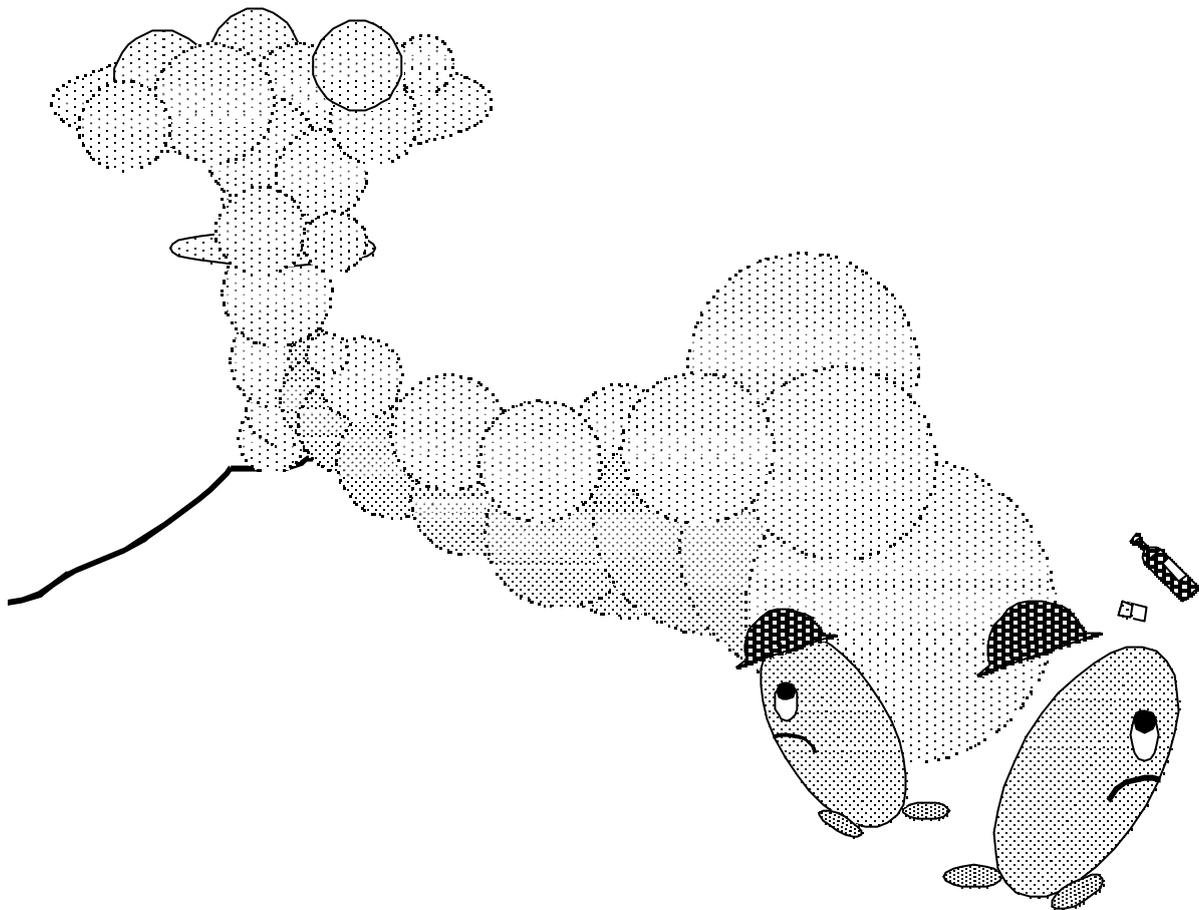


## CAÍDA DE CENIZAS

Las cenizas tienen un tamaño inferior a 2 mm, por ello la columna eruptiva las eleva a gran altura donde son arrastradas por el viento a grandes distancias antes de caer al suelo. Para las personas, el único daño directo que pueden provocar son problemas respiratorios o entrar en los ojos, por lo que es necesario llevar mascarilla y gafas. Cuando se acumulan en los tejados estos pueden llegar a colapsar por el peso de la ceniza, especialmente si se humedece. Por ello cuando caen cenizas volcánicas hay que limpiar continuamente los tejados. Además provocan problemas en las carreteras. Las cosechas quedan destruidas con pocos cm de ceniza, los sistemas de agua potable quedan inutilizados largo tiempo.

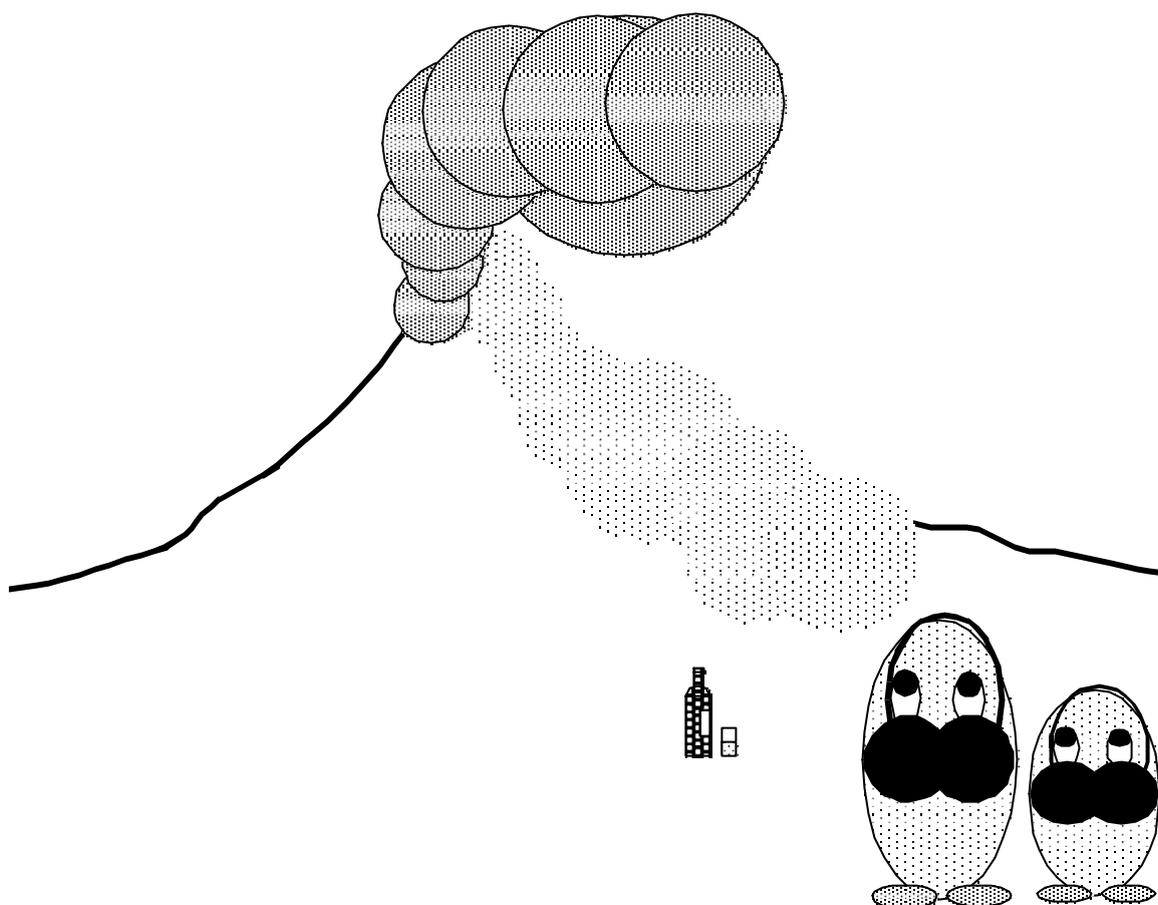
Un tipo de daños provocados por las cenizas volcánicas son los que pueden provocar en las maquinarias: obstrucciones de filtros y conductos, rayaduras en ejes, etc. Estos daños son hoy muy importantes, pensemos solo en los que puede producir en el motor de un avión: 80 millones de dólares en pérdidas en un solo avión a 4000 km del volcán. Igualmente se contabilizan como daños provocados por cenizas fenómenos como el hecho de que los *bolígrafos* dejan de escribir normalmente después de la erupción al rayarse o obstruirse la punta.

Con el paso del tiempo, las tierras cubiertas por las cenizas son más fértiles que antes de la erupción.



### **COLADAS Y OLEADAS PIROCLÁSTICAS**

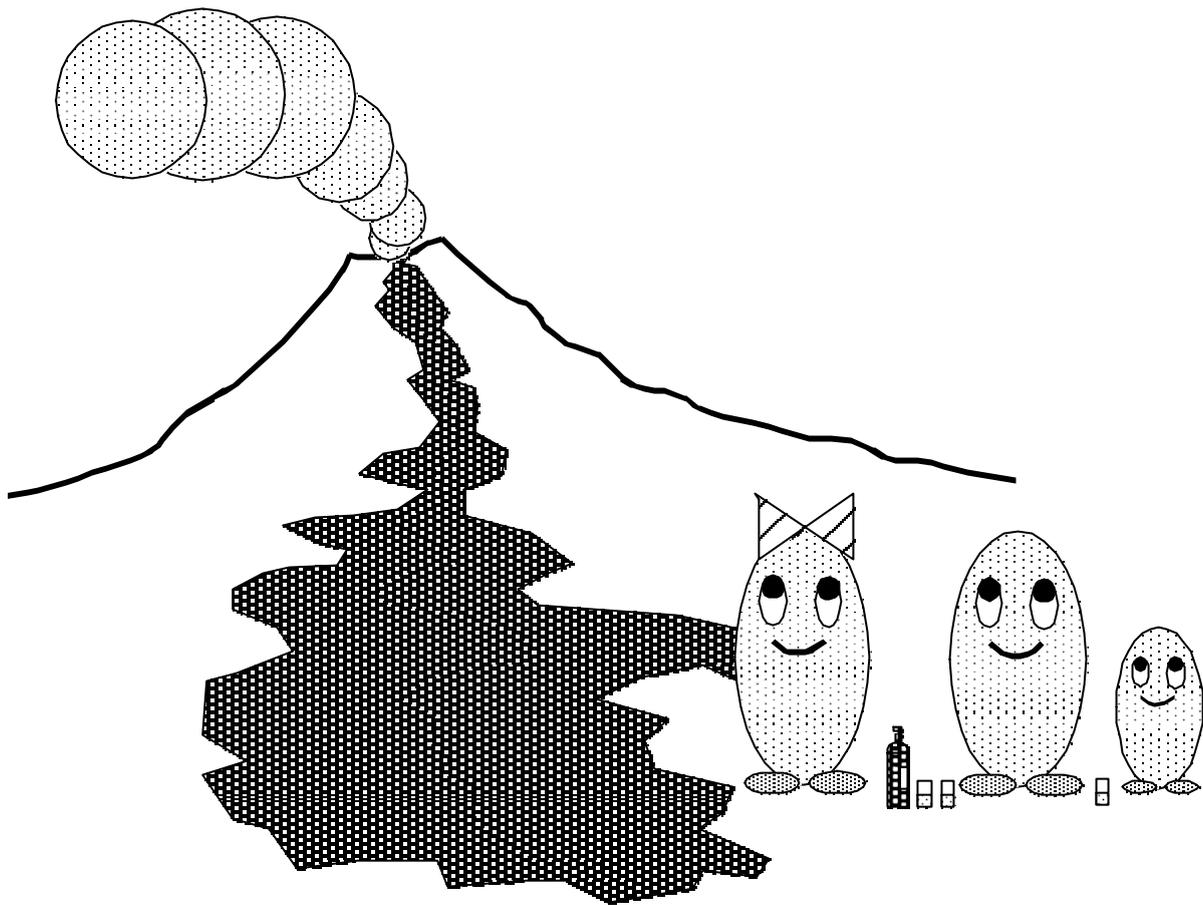
**Las coladas y oleadas piroclásticas son flujos de materiales volcánicos, muy fragmentados, a alta temperatura (mas de 500°C) y que se mueven a gran velocidad (150 m/s). Estos fenómenos son los más peligrosos para el hombre de todos los que ocurrenen un volcán. La fuerza del impacto directo del flujo y las altas temperaturas hace que todo quede muerto y destruido. El alcance de los flujos es de unas pocas decenas de km, y están muy condicionados por la topografía próxima al volcán. La única salvación es huir al menor signo de reactivación del volcán. Estos fenómenos solo se dan en volcanes explosivos.**



## GASES VOLCÁNICOS

En algunos casos del volcán pueden salir gases nocivos, especialmente  $\text{CO}_2$ , que al ser más pesado que el aire se acumula en las zonas bajas, como los fondos de los barrancos, o fluye por los valles, produciendo la asfixia a hombres y animales, mientras que a las plantas no les pasa nada. En general, si hay viento se dispersa rápidamente, diluyéndose a niveles inofensivos. Otros gases, como los compuestos de cloros o azufre, provocan solo molestias, pues no existen en concentraciones suficientemente altas para poder causar daños a distancias moderadas del volcán.

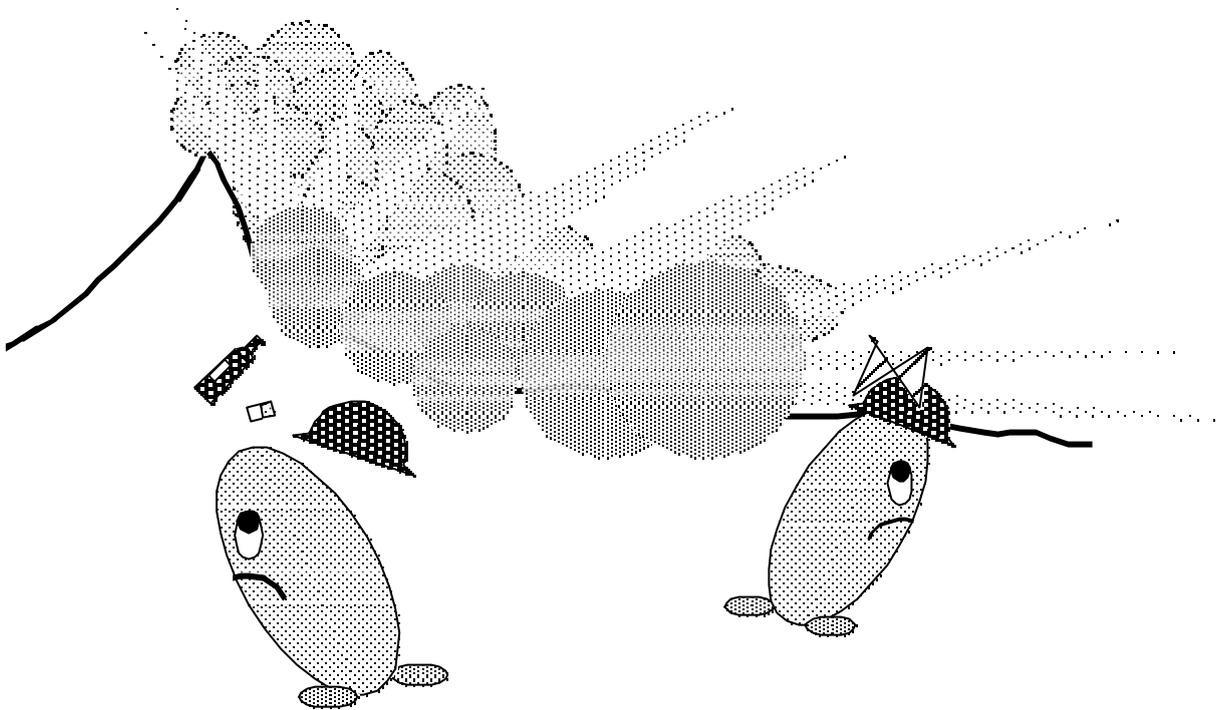
Este fenómeno es peligroso en las proximidades de volcanes activos que tienen un lago en el cráter, pues el gas se acumula en el fondo, saliendo bruscamente en grandes cantidades. la protección es una máscara de gas pero preparada para este tipo de gases.



## COLADAS LÁVICAS

Las coladas lávicas son el fenómeno volcánico más conocido, debido a que presentan poco peligro para las personas, por lo que es posible aproximarse mucho a ella y poderlas fotografiar bien. Las lavas avanzan a bajas velocidades, en general más despacio que un hombre caminando. al enfriarse la capa superficial, cada vez se mueven más despacio, con velocidades de solo unos pocos metros por hora (o día). Evidentemente, destruyen las cosechas, y aunque no destruyen todas las infraestructuras, incluso hay casas que resisten bien las lava, el costo de abrir un camino es mayor que hacerla nueva.

en estos últimos años se está trabajando en desviar las lavas o en frenar su avance, habiéndose conseguido ya algunos éxitos. Aunque las operaciones son costosas, en ocasiones más que lo que se pretende salvar, este es el camino para mitigar los efectos de una erupción lávica

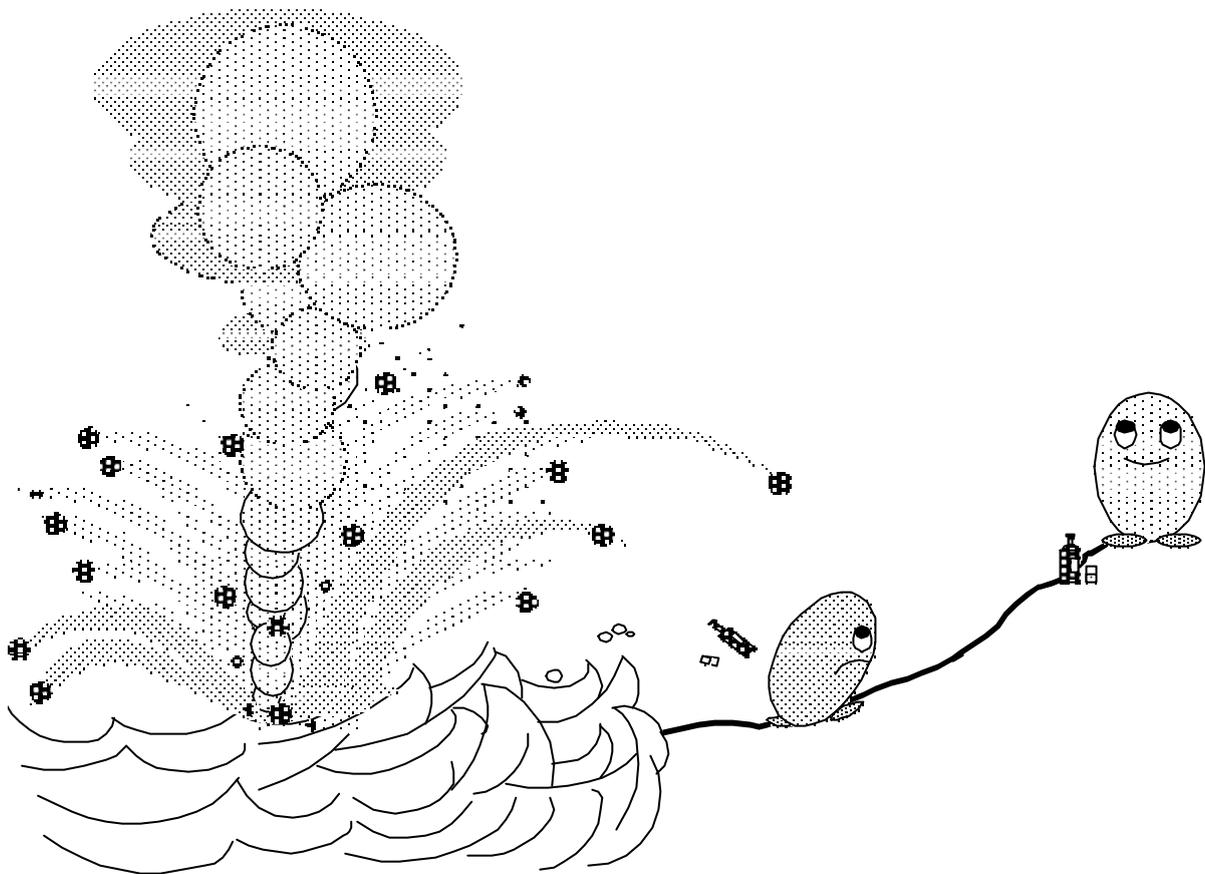


### **DESPLOME DEL EDIFICO VOLCÁNICO**

**Los grandes volcanes se construyen por apilamiento de lavas y cenizas, resultando un edificio cónico muy estable. Sin embargo, si en su interior se producen grandes alteraciones por circulación de gases, si en él se inyectan grandes volúmenes de magma, el edificio se hace inestable, produciéndose la destrucción parcial del mismo.**

**Cuando esto ocurre, un gran volumen de rocas, más material magmático, se esparce alrededor del volcán, en una avalancha de grandes dimensiones y provocando la destrucción total de todo lo que encuentra a su paso. El alcance es de pocas decenas de km.**

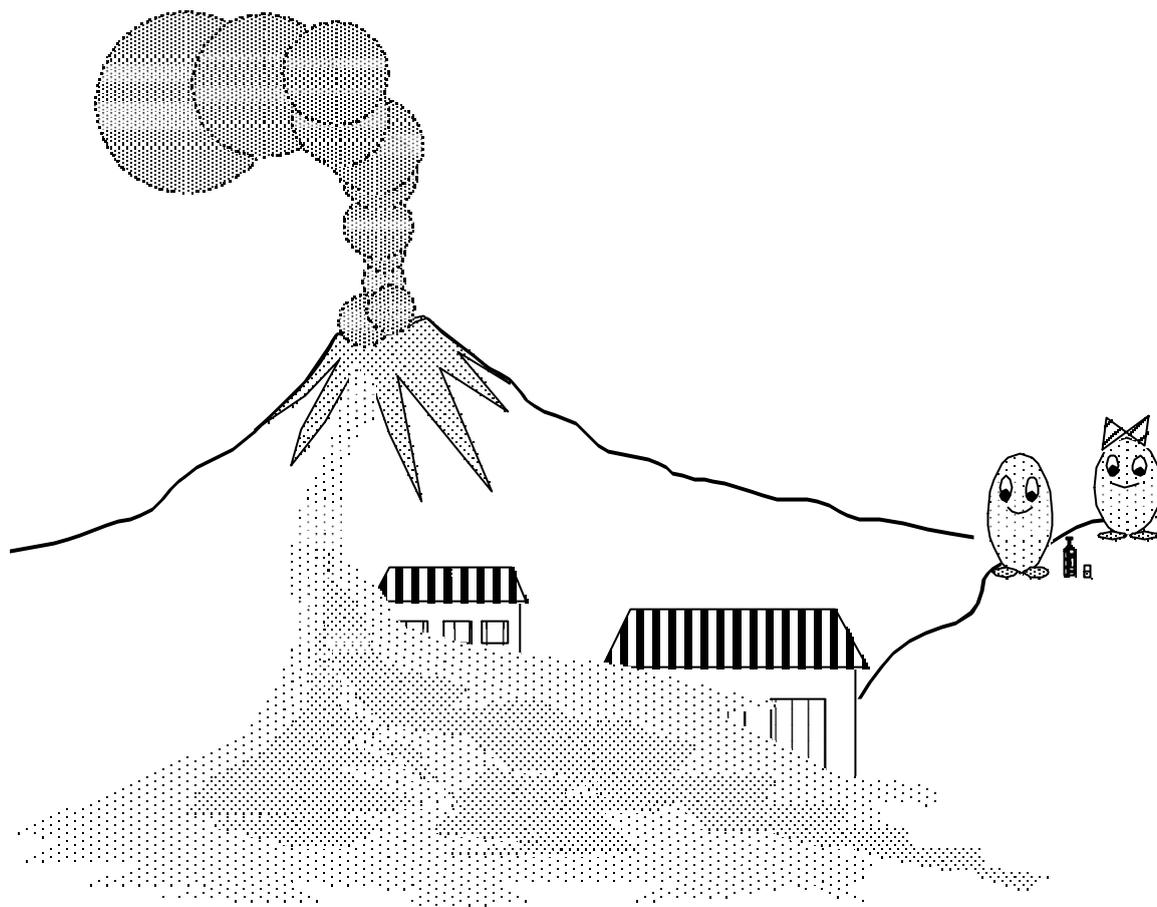
**La única protección es evacuar. Este tipo de fenómeno viene siempre precedido por una deformación y aparición de grietas en las laderas del volcán.**



## TSUNAMI VOLCÁNICO

Los tsunamis (maremotos) se producen generalmente por terremotos submarinos. Pero También las erupciones submarinas o de los volcanes costeros pueden dar origen a un tsunami.

Los daños se producen en la zona costera, alcanzando el agua alturas de varias decenas de metros. La única defensa es evacuar a la población a zonas altas. En el caso de que aparezca un volcán submarino o en la costa deberemos evacuar a la poblaciones costeras próximas.



## LAHAR

Un lahar es una avalancha de materiales volcánicos, mayoritariamente cenizas, movilizada por el agua. El agua suele ser la fusión de un glaciar por el calor de la erupción, el desbordamiento de un lago por la caída de material, o grandes lluvias. Son fenómenos muy destructores, aunque limitados a los valles que parten del volcán. Las distancias recorridas por los lahares son muy grandes, pudiendo superar fácilmente los cien km. Solución, evacuar, aunque basta subir unos pocos metros para estar a salvo.

## NORMATIVAS LEGALES

### 1. DIRECTIVA BÁSICA DE PLANIFICACIÓN DE LA PROTECCIÓN CIVIL ESPAÑOLA ANTE EL RIESGO VOLCÁNICO

**El Consejo de Ministros aprobó, en su reunión del día 19 de enero de 1996, a propuesta del Ministro de Justicia e Interior y previo informe de la Comisión Nacional de Protección Civil, el Acuerdo por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico. A continuación se transcribe el Acuerdo aprobado (BOE núm. 55 4 marzo 1996):**

**Primero:** Se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico que se acompaña como anexo del presente Acuerdo.

**Segundo:** Se crea un Comité Estatal de Coordinación (CECO) con la composición siguiente:

**Presidente:** Director General de Protección Civil.

**Vocales:** Un representante, al menos, de cada uno de los órganos siguientes:  
 Dirección General del Instituto Geográfico Nacional.  
 Consejo Superior de Investigaciones Científicas.  
 Dirección General de la Marina Mercante.  
 Dirección General de Aviación Civil.  
 Dirección General de Alta Inspección y Relaciones Institucionales del Ministerio de Sanidad y Consumo.  
 Dirección de Infraestructuras y Seguimiento para Situaciones de Crisis.  
 Secretaría General-Dirección General de la Policía.  
 Secretaría General-Dirección General de la Guardia Civil.  
 Dirección General de Política de Defensa.

**Secretario:** Subdirector general de Planes y Operaciones de la Dirección General de Protección Civil.

Serán funciones del CECO, las siguientes:

- a) Coordinar las medidas a adoptar para la movilización y aportación de todos los medios y recursos que estando fuera del ámbito territorial de la Comunidad Autónoma de Canarias, sean necesarios para la atención de cualquier situación de emergencia por riesgo volcánico que pueda producirse.
- b) Realizar estudios, informes y propuestas para la elaboración del Proyecto de Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico, previsto en la Directriz Básica, y de las sucesivas revisiones del mismo.
- c) Analizar y valorar el estado organizativo y la operatividad del Plan Estatal, así como el sistema

de coordinación con el Plan de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico de la Comunidad Autónoma de Canarias.

## **DIRECTRIZ BÁSICA DE PLANIFICACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO VOLCÁNICO**

### **1. FUNDAMENTO Y OBJETO**

Aunque los efectos de las erupciones volcánicas pueden ser beneficiosos a largo plazo, con el aumento de la tierra firme, la creación de suelos fértiles para la agricultura o la posibilidad de aprovechamiento de energía geotérmica, allí donde se producen próximas a la actividad humana pueden ser origen de daños muy importantes. Las características que define a la catástrofe volcánica, han puesto de manifiesto la necesidad de contar con sistemas de prevención eficaces, en aquellas zonas, por otro lado bastante bien delimitadas, que pueden verse afectadas. Las medidas preventivas que se pueden adoptar ante este riesgo, consisten principalmente en: la estimación de sus consecuencias, confección de mapas de riesgo, ordenación del territorio, sistemas de vigilancia de la actividad volcánica y la puesta en funcionamiento, en su caso, de los Planes de Emergencia específicos.

La Norma Básica de Protección Civil, aprobada por Real Decreto 407/1992, de 24 de abril, dispone en su apartado 6 que el riesgo volcánico será objeto de Planes Especiales en los ámbitos territoriales que lo requieran, y en su apartado 7.2 que éstos se elaborarán de acuerdo con la correspondiente Directriz Básica. Consecuentemente con ello, la presente Directriz Básica tiene por objeto el establecer los requisitos mínimos que deben cumplir los correspondientes Planes Especiales de Protección Civil, en cuanto a fundamentos, estructura, organización y criterios operativos y de respuesta, para ser homologados e implantados en su correspondiente ámbito territorial, con la finalidad de prever un diseño o modelo nacional mínimo que haga posible, en su caso, una coordinación y actuación conjunta de los distintos servicios y Administraciones implicadas.

### **2. ÁMBITO TERRITORIAL DE APLICACIÓN**

A los efectos de la presente Directriz se consideran dos niveles de planificación: el estatal y el de Comunidad Autónoma, incluyendo en este último los Planes de Actuación que sean confeccionados por las entidades locales. En España la única zona volcánicamente activa, a la luz de los actuales conocimientos, es el archipiélago canario, habiendo sufrido en los últimos cincuenta años dos crisis volcánicas. En consecuencia, en cuanto se refiere al nivel de planificación de Comunidad Autónoma y de las entidades locales, el ámbito territorial de aplicación de la presente Directriz estará constituido por el de la Comunidad Autónoma de Canarias.

La planificación a nivel estatal tendrá por objeto la intervención ante crisis volcánicas ocurridas en dicho ámbito territorial, si bien en su organización quedarán incluidos medios, recursos y servicios ubicados fuera del ámbito citado. Del conjunto de planes elaborados a los niveles anteriormente señalados ha de resultar un sistema perfectamente coordinado que permita una automática integración orgánica y funcional de aquellos, para la eficaz protección de personas y bienes, en los casos de crisis volcánica que puedan hacerlo necesario. Dado que las crisis volcánicas pueden prolongarse considerablemente en el tiempo, resulta necesario prever los mecanismos que garanticen la adecuada coordinación durante todo el período de duración de las mismas y que, a la vez, permitan movilizar los medios apropiados

para hacer frente a cada situación.

### **3. EL PLAN ESTATAL DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO VOLCÁNICO**

#### **3.1 Concepto**

El Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico establecerá la organización y procedimientos que permitan asegurar una respuesta eficaz del conjunto de las Administraciones Públicas, en caso de crisis volcánica en la que esté presente el interés nacional, así como los necesarios mecanismos de apoyo al Plan de la Comunidad Autónoma de Canarias.

#### **3.2 Funciones básicas**

Son funciones básicas del Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico, las siguientes:

- a) Prever la estructura organizativa que permita la dirección y coordinación del conjunto de las Administraciones Públicas, en aquellas situaciones de emergencia por crisis volcánica que se declaren de interés nacional.
- b) Establecer el sistema y los procedimientos de información y seguimiento de fenómenos volcánicos, a utilizar con fines de protección civil.
- c) Establecer los mecanismos y procedimientos para coordinar la aportación de medios y recursos de intervención ubicados fuera del ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias, cuando los previstos en el Plan de la misma se manifiesten insuficientes.
- d) Prever los procedimientos de solicitud y recepción, en su caso, de ayuda internacional para su empleo en caso de crisis volcánica.
- e) Establecer y mantener un banco de datos de carácter nacional sobre medios y recursos disponibles en emergencias por crisis volcánicas.

#### **3.3. Contenido mínimo del Plan Estatal**

El Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico deberá establecer la organización y los procedimientos que permitan el eficaz desarrollo de las funciones básicas enumeradas en el punto 3.2 de la presente Directriz, ajustándose para ello a los requisitos que se formulan en los apartados siguientes:

##### **3.3.1 Dirección y coordinación de emergencias declaradas de interés nacional**

En caso de emergencia por crisis volcánica que sea declarada de interés nacional las actuaciones de protección civil que hayan de llevarse a cabo, serán dirigidas y coordinadas dentro de un Comité de Dirección que dispondrá, como órgano de apoyo, de un Comité Asesor y de un Gabinete de Información.

El Comité de Dirección estará formado por el Delegado del Gobierno en Canarias o el Gobernador Civil de Santa Cruz de Tenerife, según el ámbito territorial afectado, y un representante de la Comunidad Autónoma de Canarias, designado por el órgano competente de la misma. Corresponderá al Delegado de Gobierno en Canarias, o, en su caso, al Gobernador civil de Santa Cruz de Tenerife,

la dirección de las actuaciones previstas en el Plan Especial de la Comunidad Autónoma ante el Riesgo Volcánico y cuantas sean necesarias para la protección de personas y bienes.

Corresponderá a la autoridad de la Comunidad Autónoma que forma parte del Comité de Dirección, la coordinación de los medios, recursos y servicios que sean movilizados para hacer frente a la situación de emergencia y cuya titularidad corresponda a la Comunidad Autónoma de Canarias.

El Comité de Dirección ejercerá sus funciones en coordinación con las autoridades de las entidades locales, cabildos insulares y municipios, cuyo territorio se vea o pueda verse afectado por la situación de emergencia, así como los correspondientes Delegados insulares del Gobierno.

El Comité Asesor prestará asistencia al Comité de Dirección de todos los aspectos relativos a lo posible evolución de la crisis volcánica, sus potenciales consecuencias y las medidas a adoptar para la protección de personas y bienes. Para ello, estará integrado por los miembros del Comité Científico de Evaluación y Seguimiento de Fenómenos Volcánicos a que se refiere el punto 3.3.4 de esta Directriz, así como por representantes de los órganos de las diferentes Administraciones implicadas en la emergencia y por los técnicos y expertos que en cada caso considere el Comité de Dirección, en función de los problemas planteados por la emergencia.

En el Gabinete de Información, siguiendo las directrices del Comité de Dirección, se centralizará y preparará la información relativa a la situación de emergencia y las recomendaciones e instrucciones que convenga hacer a la población, para su transmisión a los medios de comunicación social y a cuantos organismos, entidades o personas lo soliciten. El Gabinete de Información estará formado por el personal de la Delegación del Gobierno o, en su caso, del Gobierno Civil, y el de la Comunidad Autónoma de Canarias que sea designado por el Comité de Dirección.

### **3.3.2 Planes de coordinación y apoyo**

Para su aplicación en emergencias de interés nacional o en su apoyo del Plan de la Comunidad Autónoma, en el Plan Estatal quedarán estructurados los Planes de Actuación siguientes:

Plan de evacuación.

Plan de abastecimiento, albergue y asistencia social.

Plan de actuación sobre el agente volcánico.

Plan de coordinación informativa en situaciones de emergencia.

En la organización de estos Planes de coordinación y apoyo, podrán integrarse, además de servicios, medios y recursos de titularidad estatal, los que sean asignados por las Administraciones de las Comunidades Autónomas y de las entidades locales, así como los disponibles por otras entidades públicas y privadas.

### **3.3.3 Sistema de seguimiento e información sobre fenómenos volcánicos**

El sistema de seguimiento e información sobre fenómenos volcánicos a establecer por el Plan Estatal, tendrá por objeto prever la organización que permita la identificación y valoración de aquellos fenómenos que puedan estar determinados por la actividad volcánica o ser indicativos de un incremento

de la misma, con el fin de formular previsiones acerca del posible desencadenamiento de una crisis eruptiva (su localización, el momento de ocurrencia, los agentes con que puede manifestarse, sus probables consecuencias, etc.) así como efectuar el seguimiento de la misma en caso de producirse y adelantar hipótesis sobre su posible evolución. Todo ello como soporte de las decisiones a adoptar por las autoridades competentes para la información a la población y para la puesta en práctica de las medidas de prevención y de protección de personas y bienes que, en cada caso resulten necesarias.

Formarán parte de este sistema la red sísmica de Canarias integrada en el Centro Nacional de Información Sísmica, dependiente del Instituto Geográfico Nacional, con la colaboración de las redes y estaciones de medición de otros organismos que, cualquiera que sea su finalidad principal, estén permanentemente ubicadas en el ámbito territorial de Canarias y puedan proporcionar informaciones útiles para la consecución de los objetivos anteriormente expresados, así como las que puedan instalarse en dicho ámbito, por diferentes entidades públicas y privadas. El Centro Nacional de Información Sísmica, del Instituto Geográfico Nacional, será el órgano encargado de detectar, valorar e informar, en primera instancia, acerca de aquellos fenómenos sísmicos que, por sus características, pudieran tener origen volcánico y, en su caso, ser indicativos de un posible incremento de la actividad volcánica en algún punto del archipiélago canario. Formará parte asimismo del sistema de seguimiento e información sobre fenómenos volcánicos, el Comité Científico al que se refiere el punto 3.3.4 de esta Directriz Básica.

### **3.3.4 Comité Científico de Evaluación y Seguimiento de Fenómenos Volcánicos**

Se constituirá un Comité Científico de Evaluación y Seguimiento de Fenómenos Volcánicos, para el desempeño de las funciones siguientes:

- a) Establecer la tipología de los posibles fenómenos precursores de crisis eruptivas en el archipiélago canario.
- b) Valorar los datos que, en relación con dichos fenómenos, se obtengan de las redes y estaciones de medida y los que puedan resultar de estudios o análisis efectuados en relación con la actividad volcánica.
- c) Formular previsiones sobre el posible desencadenamiento de crisis eruptivas y sus implicaciones en el ámbito de la protección civil.
- d) Establecer la metodología de vigilancia y seguimiento a aplicar en caso de erupción volcánica, valorar los datos e informaciones que en dicho caso se obtengan y formular hipótesis acerca de su evolución.
- e) Formular recomendaciones a las autoridades competentes sobre medidas de intervención para disminuir los riesgos que puedan derivarse de una erupción volcánica.

El Comité Científico estará formado por representantes del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, de la Dirección General de Protección Civil y de la Administración de la Comunidad Autónoma de Canarias. Podrán, asimismo, formar parte del Comité Científico, a propuesta de cualquiera de los órganos que lo componen y por designación de la Presidencia del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, otras personas de reconocido prestigio en disciplinas, relacionadas con las tareas a desempeñar por el Comité. El Comité Científico se reunirá de forma ordinaria, al menos una vez al año, bajo la presidencia del Delegado del Gobierno en Canarias, y de forma extraordinaria cuando de la valoración de los datos aportados por la red sísmica de Canarias del Instituto Geográfico Nacional o de los suministrados por otros

organismos o fuentes, pueda interpretarse la existencia de precursores de fenómenos eruptivos. En el Plan Estatal se especificarán las normas y los procedimientos de actuación del Comité Científico.

### **3.3.5 Base de datos sobre medios y recursos movilizables**

En el Plan Estatal se establecerán los procedimientos para la elaboración, mantenimiento y utilización de una base de datos sobre medios y recursos estatales, disponibles para su actuación en casos de emergencias volcánicas, así como acerca de los que integren los Planes de Coordinación y Apoyo previstos en el apartado 3.3.3 de la presente Directriz Básica. Los códigos y términos a utilizar en esta catalogación, serán los elaborados por la Comisión Nacional de Protección Civil. De esta base de datos, la parte relativa a especificaciones sobre cantidades y ubicación de medios o recursos de las Fuerzas Armadas, será elaborada y permanecerá bajo la custodia del Ministerio de Defensa, siendo puesto a disposición del CECO en aquellas situaciones de emergencia que lo requieran.

### **3.4 Asignación de medios y recursos de titularidad estatal al Plan de la Comunidad Autónoma y a los Planes de Actuación de Ámbito Local**

Las normas para la asignación de medios y recursos de titularidad estatal a los Planes de Comunidades Autónomas y de actuación de ámbito local ante el riesgo volcánico, serán las aprobadas por Acuerdo del Consejo de Ministros del 6 de mayo de 1994 para los Planes Territoriales, publicado por Resolución de 4 de julio de 1994 de la Secretaría de Estado de Interior, en el "Boletín Oficial del Estado" de 18 de Julio de 1994.

### **3.5 Aprobación del Plan Estatal**

El Plan Estatal será aprobado por el Gobierno, a propuesta del Ministro de Justicia e Interior, previo informe de la Comisión Nacional de Protección Civil.

## **4. EL PLAN DE COMUNIDAD AUTÓNOMA**

### **4.1 Concepto**

El Plan de Comunidad Autónoma ante el Riesgo Volcánico establecerá la organización y los procedimientos de actuación de los recursos y servicios de su titularidad y los que pueden ser asignados al mismo por otras Administraciones Públicas o por otras entidades públicas y privadas, al objeto de hacer frente a las emergencias por crisis volcánicas.

### **4.2 Funciones básicas**

Serán funciones básicas del Plan de Comunidad Autónoma ante el Riesgo Volcánico las siguientes:

- a) Zonificar el territorio en función de la peligrosidad volcánica.
- b) Concretar la estructura organizativa y funcional para la intervención en emergencias por crisis volcánicas que tengan lugar dentro de su ámbito territorial.
- c) Prever los mecanismos y procedimientos de coordinación con el Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico, para garantizar su adecuada integración.

- d) Establecer directrices para la elaboración de Planes de Actuación de Ámbito Local y los sistemas de articulación con las organizaciones de los mismos.
- e) Especificar procedimientos de información a la población y del sistema de alerta de la misma en caso de crisis volcánica.
- f) Catalogar los medios y recursos específicos a disposición de las actuaciones previstas.

### **4.3 Contenido mínimo del Plan de Comunidad Autónoma**

El Plan de Comunidad Autónoma ante el Riesgo Volcánico deberá ajustarse a los requisitos que se formulan en los puntos siguientes:

#### **4.3.1 Objeto**

El objeto del Plan de Comunidad Autónoma será establecer la organización y los procedimientos que permitan el eficaz desarrollo de las funciones enumeradas en el punto 4.2 de la presente Directriz.

#### **4.3.2 Zonificación del territorio en función de la peligrosidad volcánica**

El Plan especificará la zonificación del territorial de la Comunidad Autónoma de Canarias en función de la peligrosidad volcánica. Dicha zonificación vendrá reflejada en mapas, de cartografía oficial, y estará digitalizada en un formato que permita su tratamiento mediante un sistema de información geográfica. La zonificación vendrá expresada en valores probabilísticos y, en los casos en los que no sea posible un mayor detalle, se diferenciarán tres grados de peligrosidad: baja, media y alta.

#### **4.3.3 Información a la población y sistema de alertas ante crisis volcánicas**

En el Plan de Comunidad Autónoma se preverán los procedimientos para informar a la población acerca de las características del riesgo volcánico en las islas Canarias y las medidas adoptadas para su vigilancia y seguimiento, así como sobre las medidas de protección previstas en la planificación de protección civil frente a dicho riesgo. Asimismo en el Plan se dispondrán los procedimientos para informar y alertar a la población en el caso de desencadenamiento de una crisis volcánica, de acuerdo con las directrices que emanen del órgano de dirección que corresponda. En tales casos, los medios de comunicación social colaborarán de acuerdo con lo previsto en el artículo 4.6 de la Ley 2/ 1985, de 21 de enero, sobre Protección Civil.

#### **4.3.4 Estructura y organización**

El Plan especificará la organización jerárquica y funcional con que se dirigirán y llevarán a cabo las actuaciones de protección de personas y bienes en el ámbito territorial de la Comunidad Autónoma, en caso de ocurrencia de crisis volcánica.

- a) Dirección y coordinación. En el Plan se establecerá el órgano que haya de ejercer la dirección del mismo, al que le corresponderá declarar la activación del Plan, decidir las actuaciones más convenientes para hacer frente a la situación de emergencia y determinar el final de ésta, siempre que no haya sido declarada de interés nacional. Estas funciones serán ejercidas dentro de un Comité de Dirección en aquellas situaciones que, aun no habiendo sido declaradas de

interés nacional, se determinen en el Plan de la Comunidad Autónoma. En tal caso, la representación del Ministerio de Justicia e Interior en dicho Comité, corresponderá al Delegado del Gobierno en Canarias o, según el ámbito territorial afectado, al Gobernador civil de Santa Cruz de Tenerife. El Plan especificará asimismo la composición y funciones del Comité Asesor y del Gabinete de Información, como órganos de apoyo a la dirección del mismo. Del Comité Asesor formarán parte los miembros del Comité Científico de Evaluación y Seguimiento de Fenómenos Volcánicos al que se refiere el punto 3.3.4 de la presente Directriz, así como un representante del Instituto Nacional de Meteorología.

- b) Grupos de acción El Plan establecerá la organización de grupos de acción, con especificación de sus funciones, estructura, composición y medios, para el desempeño de las actuaciones siguientes:
- Reconocimiento y evaluación de la situación y de los daños.
  - Actuación sobre el flujo de lava.
  - Evacuación, albergue y asistencia social.
  - Retirada de piroclastos de cubiertas de edificaciones y de las vías y centros de comunicación terrestres, marítimos y aéreos.
  - Extinción de incendios.
  - Abastecimiento y control sanitario de agua, alimentos y ropa.
  - Distribución de mascarillas y filtros entre la población.
  - Asistencia sanitaria.
  - Rescate y salvamento.
  - Seguridad ciudadana y control de accesos.
  - Información a la población.
  - Control y reparaciones de urgencia de estructuras e instalaciones cuyo deterioro pueda dar lugar a peligros asociados o constituyan servicios básicos para la población.
  - Asegurar las comunicaciones.

#### **4.3.5 Operatividad**

En el capítulo dedicado a la operatividad del Plan se regulará la actuación de los diferentes elementos de la estructura operativa establecida de acuerdo con lo previsto en el punto 4.3.4 de esta Directriz. La descripción de la operatividad se efectuará en función de las fases y situaciones de emergencia que se consideren más adecuadas, de acuerdo con el previsible desarrollo de una hipotética crisis volcánica.

#### **4.3.6 Mantenimiento del Plan**

En el Plan habrán de considerarse las actuaciones necesarias para garantizar, tanto que los procedimientos de actuación previstos sean plenamente operativos, como su actualización y mantenimiento a lo largo del tiempo. Tales actuaciones se referirán básicamente a:

- Recepción de información periódica sobre el seguimiento de la actividad volcánica.
- Comprobaciones periódicas sobre la operatividad del plan.
- Programa de ejercicios de adiestramiento.
- Programa de simulacros.

- Información y formación a la población.
- Sistemática y procedimiento de revisión del Plan.

#### **4.3.7 Base de datos sobre medios y recursos movilizables**

En el Plan se establecerán los procedimientos para la elaboración, mantenimiento y utilización de una base de datos sobre medios y recursos, propios y asignados a aquél, así como su localización en el territorio y, en su caso, sus condiciones de disponibilidad en situaciones de emergencia. Los códigos y términos a utilizar en esta catalogación serán los elaborados por la Comisión Nacional de Protección Civil.

En esta base de datos no podrán figurar medios o recursos de las Fuerzas Armadas, ni de Cuerpos y Fuerzas de Seguridad del Estado.

#### **4.4. Planes de Actuación de Ámbito Local**

El Plan de la Comunidad Autónoma establecerá dentro de su respectivo ámbito territorial, directrices para la elaboración de Planes de Actuación de Ámbito Local (cabildos insulares y municipios), y especificará el marco organizativo general que posibilite la plena integración de los mismos en la organización de aquél. Los Planes de Actuación de Ámbito Local se aprobarán por los órganos competentes de las respectivas corporaciones y serán homologados por la Comisión de Protección Civil de la Comunidad Autónoma de Canarias.

#### **4.5. Aprobación del Plan de la Comunidad Autónoma**

El Plan de Protección Civil de la Comunidad Autónoma ante el riesgo volcánico será aprobado por el órgano competente de la misma, previo informe de la Comisión de Protección Civil de la Comunidad Autónoma de Canarias y homologado por la Comisión Nacional de Protección Civil.

## **2. ELABORACIÓN DE PROGRAMAS NACIONALES PARA REDUCCIÓN DE DESASTRES NATURALES**

Para la elaboración de un plan de emergencia volcánica deben darse antes una serie de condiciones previas (UNDRO 1987):

- a) **Que en cualquier comunidad expuesta al peligro volcánico hay una conciencia general de riesgo para la vida y los bienes, así como el deseo de una participación colectiva para reducirlo.**
- b) **Que existe una estructura legislativa dentro de la cual sea posible planificar, organizar y llevar a efecto, tanto a nivel nacional como local las medidas apropiadas de protección, incluyendo si es necesario la evacuación de las áreas amenazadas y asistencia a los evacuados.**
- c) **Que el conocimiento científico de los volcanes potencialmente peligrosos sea lo suficientemente avanzado que permita elaborar escenarios de las erupciones posibles, de sus efectos destructores y de las consecuencias económicas y sociales,**
- d) **Que sea posible tener algún sistema de alerta para las erupciones inminentes, bien sea a partir de signos visibles de actividad volcánica o de monitoreo científico de los volcanes, y que esta alerta se dé con el tiempo suficiente para permitir que se ejecuten las acciones apropiadas.**
- e) **Que si las condiciones anteriores han sido realizadas, se prepare un plan de emergencia para cada volcán potencialmente peligroso.**

Por otra parte, el plan de emergencia para cada volcán potencialmente peligroso deberá contener los siguientes elementos (UNDRO 1997):

- a) **Identificación y cartografía de las zonas amenazadas, censo de población y bienes transportables (excluyendo efectos personales).**
- b) **Identificación de zonas de refugio seguras adonde la población pueda ser evacuada en caso de una erupción peligrosa.**
- c) **Identificación de las rutas de evacuación, su mantenimiento y limpieza.**
- d) **Identificación de los puntos de reunión para las personas en espera de ser evacuadas.**
- e) **Medios de transporte, control de tráfico.**
- f) **Alojamiento y facilidades en las zonas de refugio.**

- g) Inventario del personal y equipo para misiones de búsqueda y rescate.**
- h) Hospitales y servicios médicos para atender heridos.**
- i) Seguridad en las áreas evacuadas**
- j) Procedimientos de alerta.**
- k) Formulación y comunicación al público de alertas, medios de comunicación en emergencias.**
- l) Posibilidad de revisar y actualizar el plan.**

**Un punto importante que debe considerarse desde un principio es la relación entre la escala del tiempo de los eventos volcánicos (desde que aparecen los primeros signos de actividad hasta que la erupción alcanza proporciones catastróficas puede variar desde unas pocas horas a muchos meses) y el tiempo necesario para realizar las diferentes medidas de protección que depende del tamaño del área de riesgo, la densidad de población y asentamientos, el grado de movilización de la población, la disponibilidad de comunicación y transporte y en general del grado de desarrollo tecnológico. Puede ser estimado en horas o días.**

**En la práctica es apropiado prepararse para dos tipos de acción:**

- a) Respuesta para crisis volcánicas que se desarrollan gradualmente, durante la cual se pueden esperar pronósticos de erupciones peligrosas por lo menos con 24 horas antes de ocurrir**
- b) Respuesta inmediata: para una situación que requiere la evacuación inmediata de las personas por cualquier medio disponible.**

**El plan de emergencia debe considerar las acciones a realizar en tres situaciones distintas:**

- a) Planificación rutinaria a largo plazo**
- b) Peligro inmediato de erupción volcánica**
- c) Crisis volcánica (comienzo o alta probabilidad de erupción)**

**En las dos páginas siguientes se presenta un esquema genérico del proceso que puede seguirse para elaborar las normativas legales en un Programa Nacional para la reducción de Desastres Naturales, aplicada al caso de Riesgo Volcánico**

# MODELO DE PROGRAMA NACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES VOLCÁNICOS

CONSTITUCIÓN DE COMITES  
NACIONALES PARA LA REDUCCIÓN  
DE DESASTRES NATURALES

Por decisión gubernamental y del parlamento  
(Ej. mediante Ley o Decreto)

IDENTIFICACIÓN DE DEFICIENCIAS Y  
PRIORIDADES EN CONOCIMIENTOS TÉCNICOS

FÍSICAS	SOCIALES	INFRAESTRUCTURA
Capacidad para evaluar la peligrosidad	Conciencia pública del problema	Planificación urbanística
Zonificación de la peligrosidad	Identificación de comunidades vulnerables	Localización de edificios y obras públicas vulnerables
etc.	etc.	etc.

ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE ALERTA Y DE  
ACTIVIDADES PREVENTIVAS EN LOS PLANES NACIONALES,  
REGIONALES Y LOCALES

ZONIFICACIÓN DE LA PELIGROSIDAD VOLCÁNICA				
Actividades	Resultados	Organismos	Plazos	Costes
Investigación científica multidisciplinar	Mapas de riesgo Normas de construcción Planes de evacuación Sistema de Información Geográfico	Institución de ingeniería, investigación, planificación. Servicios de emergencia Obras Públicas Comunicaciones	Décadas	

PRESENTACIÓN DE LOS PROGRAMAS  
NACIONALES AL GOBIERNO  
PARA SU APROBACIÓN

ADQUISICIÓN DE COMPROMISOS POR  
PARTE DEL GOBIERNO

POTENCIACIÓN DE LOS PROGRAMAS NACIONALES A  
TRAVÉS DE ORGANISMOS E INSTITUCIONES IDÓNEAS

SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LOS  
PROGRAMAS NACIONALES

Programa Gubernamental  
Decisión sobre presupuesto y financiación

INFRAESTRUCTURA DE LOS PROGRAMAS NACIONALES

Actividades	Resultados	Plazos	Seguimiento	Costes
Información al público sobre alertas y comportamientos adecuados en caso de catástrofes específicas	-folletos -manuales -videos -módulos educativos -ensayos	Años  Meses	Desarrollo de planes preventivos	

OBJETIVOS ESPECÍFICOS A CONSEGUIR

Determinación de los riesgos en el país  
Prevención nacional o local y preparación de planes  
Sistemas de alarma globales, regionales, nacionales y locales

<b>ESTRUCTURA TÍPICA DE UN PLAN PARA DESASTRE VOLCÁNICO</b>	
Introducción	Autoridad legislativa Documentos relacionados
El Objetivo Definiciones y abreviaturas El país (región, estado)	Topografía Clima Demografía Industria Estructura del gobierno
El peligro volcánico	Historia eruptiva Peligros volcánicos (por categoría)
Dirección y coordinación	Autoridad y responsabilidad a cada nivel Autoridades de directivas y puestos Definición y papel del servicio de emergencia
Grupos de planificación	Convenios para planificación sectorial
Ayuda externa	Convenios y autoridad para solicitar ayuda fuera del área de planificación
Centros de operación de emergencia Activación de las organizaciones	Sistemas de alerta Recibo y difusión de advertencias
Información operativa Organización de contraparte para casos de desastre	Departamento de Gobierno Ministerio de Defensa Gobierno Local Organizaciones voluntarias Convenios de coordinación
Administración Procedimientos financieros Aprovisionamiento	Procedimientos para compras de emergencia Autoridad para emitir requisiciones
Información pública	Anuncios que requieren acción Comunicados de prensa Emisiones de emergencia Emisiones en varios idiomas
Planes secundarios	Comunicaciones, policía, bomberos, médicos, rescate, bienestar, vivienda, obras públicas, transporte, energía, servicio de registro y seguimiento

basado en UNDRD/DHA, 1991