programa para centros *escolares*

GUÍA DIDÁCTICA **PARA PROFESORES**

RIESGO VOLCÁNICO

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS

programa para centros *escolares*

GUÍA DIDÁCTICA **PARA PROFESORES**

RIESGO

VOLCÁNICO

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN
CIVIL Y EMERGENCIAS

EDITA
DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS.
MINISTERIO DEL INTERIOR.
ESPAÑA

NIPO
126-04-026-6

DEPÓSITO LEGAL
M- 34933/2004

AUTORES
M.ª de los Ángeles Llinares[1] Ramón Ortiz[2] José Manuel Marrero[2]

1. Consejería de Educación, Cultura y Deporte de Canarias
2. Departamento de Volcanología. Museo Nacional de Ciencias Naturales. C.S.I.C.

IMPRENTA NACIONAL DEL BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO
Avenida de Manoteras, 54. 28050. Madrid

La Volcanología es una ciencia joven que ha experimentado un considerable avance en los últimos años del siglo XX. Este desarrollo permite determinar con bastante aproximación, dónde y cuándo va a producirse una erupción volcánica e incluso adelantar hipótesis sobre el previsible comportamiento de dicha erupción. Se puede afirmar, por tanto, que en la actualidad estamos ante un fenómeno natural susceptible de ser predicho y, en consecuencia, sobre la base de un eficaz sistema de vigilancia, es posible diseñar planes de prevención y mitigación, potenciando las estructuras científicas y de protección civil y acompañado de un gran esfuerzo educacional a todos los niveles.

El Sistema Español de Protección Civil está constituido por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior, los órganos específicos de protección civil de las Comunidades Autónomas y de los Entes Locales y todos aquellos organismos, públicos y privados, que desempeñan funciones en los ámbitos del análisis de riesgos, prevención, seguimiento e información de fenómenos peligrosos, gestión de emergencias y rehabilitación/reconstrucción.

Todo este conjunto de organismos que conforman nuestro Sistema de Protección Civil ha de trabajar y prepararse continuamente para reducir las consecuencias de las catástrofes. La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico es el instrumento técnico-jurídico que marca las pautas de esa tarea al conjunto del sistema.

No obstante, y sin menoscabo alguno de la responsabilidad en tales tareas de los organismos públicos implicados, en definitiva es la sociedad en su conjunto la que, partiendo del adecuado conocimiento de los riesgos y de las formas de evitarlos y reducirlos, ha de producir progresos realmente significativos en el ámbito preventivo. También es tarea de los organismos públicos de protección civil el contribuir a la consolidación de una cultura social preventiva que permita avanzar en la consecución de niveles de seguridad cada vez más importantes.

Esta publicación, destinada a facilitar la introducción de la formación acerca del riesgo volcánico en los niveles escolares, pretende ser una pequeña aportación de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias a los esfuerzos dirigidos a mejorar esa cultura social preventiva en nuestro país y a la vez participar en iniciativas con análogo objetivo llevadas a cabo en los países del Consejo de Europa y en los de la Comunidad Iberoamericana.

Celia Abenza Rojo
Directora General de Protección Civil y Emergencias

1 Conocimientos generales *1*
1.1 Definición de volcán 3
1.2 Origen de los volcanes 3
1.3 Localización geográfica 4
1.4 Procesos volcánicos 6
Los magmas 6
Propiedades químicas 7
Propiedades físicas 7
Evolución de los magmas 8
La actividad eruptiva 9
Productos y morfologías volcánicas 2
Lavas 3
Túneles volcánicos 6
Gases 8
Flujo y caída de piroclastos 9
Lahares 12
Volcanes en escudo 12
Conos de escorias 13
Estratovolcanes 16
Colapso 16
Calderas 17

2 Riesgos volcánicos *19*
2.1 Conceptos básicos 21
Riesgo 22
Peligrosidad 22
Exposición 23

Vulnerabilidad 24
Mapas de riesgo volcánico 24
2.2 Peligrosidad volcánica 25
2.3 Periodos de Retorno 3
2.4 Percepción del riesgo 2
2.5 Vigilancia de volcanes 3
Precursores de una erupción 3
El semáforo de un volcán 5
Sistemas de vigilancia volcánica 2
Observación directa 2
Vigilancia sísmica 2
Deformación 4
Gases 5
Otras técnicas 6

3 Protección ante erupciones volcánicas 7
3.1 Predicción de erupciones 9
3.2 La prevención ante erupciones volcánicas 9
Conocimiento de la actividad volcánica 10
Sistema permanente de vigilancia 10
Ordenación de usos y gestión del territorio 11
Planificación ante emergencias 11
Educación y divulgación 13

4 Medidas de autoprotección 14
4.1 Antes de la erupción. Semáforo verde 17
Conocer el territorio en el que se vive 17
Conocer los peligros volcánicos a los que se está expuesto 18
Conocer el Plan de Emergencia establecido por las Autoridades 21
Conocer el Plan de Emergencia del Centro Escolar 22
Tener un Plan de Emergencia Familiar 22
Hacer un simulacro con la familia 24
4.2 Semáforo en Amarillo 25
4.3 Semáforo en Rojo 26
4.4 Retorno a la normalidad 29

5 Orientaciones pedagógicas 30
5.1 El volcanismo, un fenómeno natural 32
5.2 Orientaciones para Educación Primaria 32
5.3 Orientaciones para Educación Secundaria 33
5.4 Objetivos pedagógicos 34
5.5 Metodología 34
5.6 Desarrollo de los temas 36
Participación de otras áreas 41
5.7 Recursos didácticos 43

6 Apoyo psicológico en crisis volcánicas 45
6.1 Reacciones ante una catástrofe 48
6.2 Fases psicológicas 48

7 Lecturas recomendadas 50

I. *Conocimientos* generales

Volcán Etna (Sicilia, Italia). Erupción 2001. Foto Marco Fulle

La Volcanología es una ciencia joven que ha experimentado un considerable avance en los últimos años del siglo XX. Hoy día, este desarrollo, permite determinar con bastante aproximación dónde y cuándo va a producirse una erupción volcánica, en aquellas zonas de riesgo que cuenten con una adecuada red instrumental, e incluso adelantar hipótesis sobre el previsible comportamiento de dicha erupción, especialmente importante en el caso de erupciones muy violentas. Se puede afirmar así que estamos en la actualidad ante un fenómeno natural susceptible de ser predicho y, en consecuencia, sobre la base de un eficaz sistema de vigilancia, es posible diseñar planes de prevención y mitigación, que sólo se consolidarán, potenciando las estructuras científicas y de protección civil y acompañado de un gran esfuerzo educacional a todos los niveles.

A diferencia de otros fenómenos naturales, el volcánico presenta múltiples facetas; un mismo sistema puede tener tipos muy distintos de erupciones, e incluso durante el desarrollo de una erupción cambiar su dinámica, pudiendo pasar de una actividad relativamente tranquila a otra tremendamente violenta. Por ello, en este capítulo se hace una revisión de los conocimientos básicos de la actividad volcánica, haciendo hincapié en los aspectos más relevantes para la comprensión de la amenaza volcánica.

1.1 Definición de Volcán

Es un punto de la superficie terrestre por donde sale al exterior el material fundido (magma) generado en el interior de la Tierra y, ocasionalmente, material no magmático. Estos materiales se acumulan alrededor del centro emisor, dando lugar a relieves positivos con morfologías diversas. Según esta definición, un volcán no representa únicamente una morfología (en forma de montaña), sino que es el resultado de un complejo proceso que incluye la formación, ascenso, evolución, emisión del magma y depósito de estos materiales.

1.2 Origen de los volcanes

Los volcanes son una manifestación en superficie de la energía interna de la Tierra. La temperatura y la presión se incrementan a medida que nos acercamos al centro de la Tierra, alcanzándose temperaturas de 5000 ºC en el núcleo. El efecto combinado de la temperatura y la presión a distintas profundidades provoca un comportamiento diferente de los materiales que se estructuran en varias capas:

- La corteza, fría y muy rígida, es la capa externa.
- El manto, con temperaturas superiores a los 1000 ºC, presenta un comportamiento semirrígido. En los niveles superiores es donde se originan los magmas por fusión parcial de las rocas que allí se encuentran. En el manto inferior (Astenosfera), los materiales se mueven lentamente debido a las corrientes de convección originadas por las diferencias de temperatura entre la parte superior y el núcleo, provocando el movimiento de las placas tectónicas.
- El núcleo es la parte más interna y más densa de la Tierra. Se encuentra a una temperatura próxima a los 5000 ºC. Debido a esta elevada temperatura, los materiales se comportan como un líquido (núcleo externo); sin embargo, en la zona más profunda se encuentran en forma sólida debido a la elevadísima presión que soportan.

La actual estructura interna de la Tierra se ha ido formando a medida que el planeta ha ido envejeciendo y enfriándose. Inicialmente, toda la superficie estaba constituida por materiales fundidos, que han ido solidificándose en el transcurso de miles de millones de años. La actividad volcánica actual es sólo un resto de este proceso (Fig. 1).

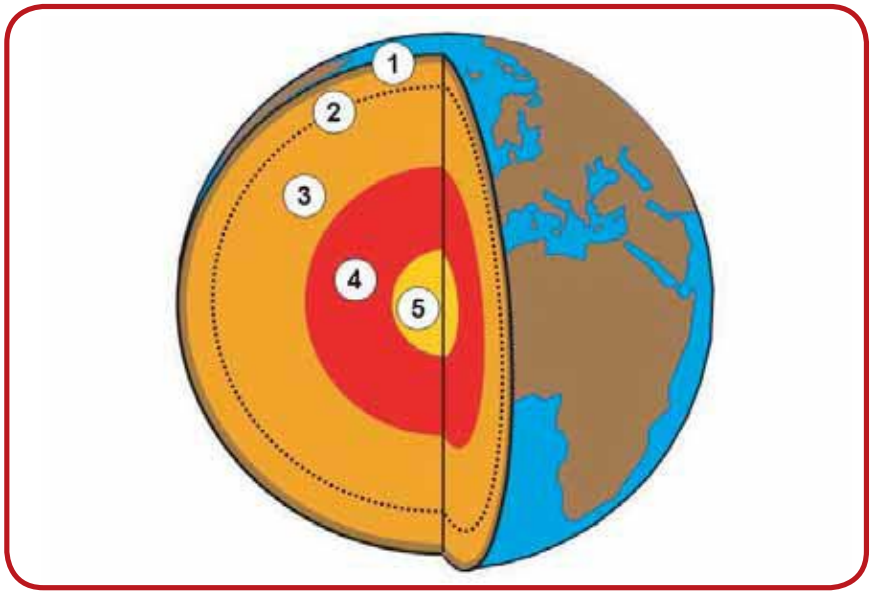


Figura 1. Interior de la Tierra. 1 Corteza, 2 Manto superior hasta 950 Km., 3 Manto Inferior a 15 Km. en océanos y a 45 Km. bajo los continentes, 4 Núcleo Externo a 2900 Km. y 5 Núcleo Interno a 5000 Km. hasta el centro de la Tierra a 6350 Km.

1.3 *Localización* geográfica

La localización geográfica de los volcanes actuales está relacionada con la división en placas de la corteza terrestre. A medida que se fue enfriando la superficie de la Tierra, fueron apareciendo zonas sólidas de materiales ligeros que flotaban sobre otros todavía fundidos. Estas zonas sólidas dieron lugar a las primeras masas continentales que son arrastradas por las corrientes de convección del interior de la Tierra. Con el tiempo, han ido creciendo estas masas continentales, disminuyendo las corrientes de convección y aumentando la rigidez de las capas exteriores al irse enfriando la Tierra.

En la actualidad (Fig. 2), la superficie de la Tierra está dividida en bloques, llamados placas tectónicas, que siguen moviéndose a diferente velocidad (varios centímetros por año). En los bordes de estas placas es donde se concentran las manifestaciones externas de la actividad del interior de la Tierra; procesos orogénicos (pliegues y fallas), volcanes (Fig. 3), terremotos. Estos bordes pueden ser convergentes, divergentes y transcurrentes.

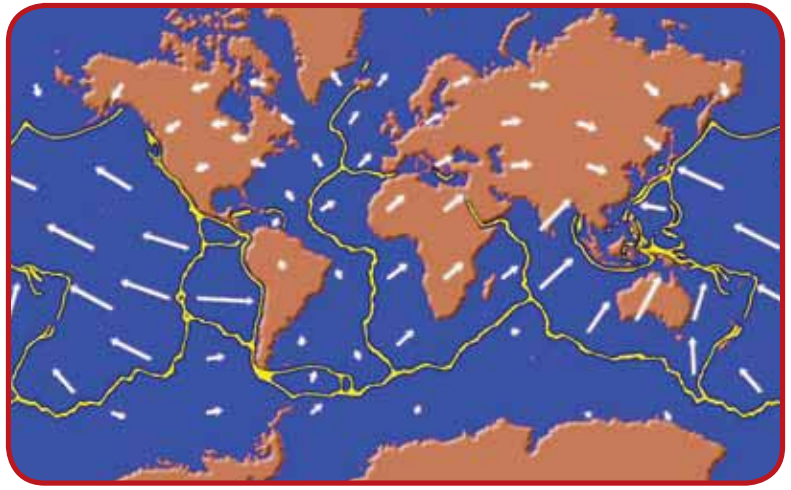


Figura 2. Principales placas tectónicas y dirección de movimiento.

En los bordes convergentes (Fig. 4), una de las placas se introduce debajo de la otra en un proceso llamado subducción, que da origen a una intensa actividad sísmica y a magmas que pueden salir al exterior, formando zonas volcánicas características (Los Andes, Japón…). En los bordes divergentes (Fig. 5), dorsales oceánicas y rift continentales, las placas se separan facilitando el ascenso del magma (Dorsal Oceánica, Islandia, Rift Africano). Existen otras áreas volcánicas situadas sobre fracturas asociadas a los bordes transcurrentes (Islas Azores, Portugal). Otros volcanes están situados en zonas intraplaca (Hawai, USA). En la figura 6 se muestran las áreas volcánicas europeas.

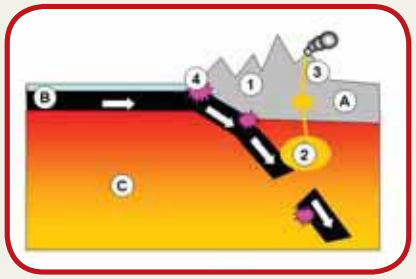


Figura 4. La corteza oceánica (B), más pesada, se hunde debajo de la corteza continental (A) más ligera. Este proceso provoca el plegamiento de la corteza continental (1), fusión de la placa generando magmas (2) que producen erupciones volcánicas (3). El movimiento relativo de ambas placas da origen a terremotos superficiales y profundos (4).

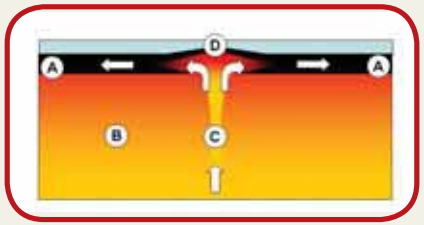


Figura 5. Las placas divergentes (A) se separan como consecuencia del ascenso de material (C) procedente del manto (B), formando nueva corteza en las dorsales oceánicas (D) o rift continentales.

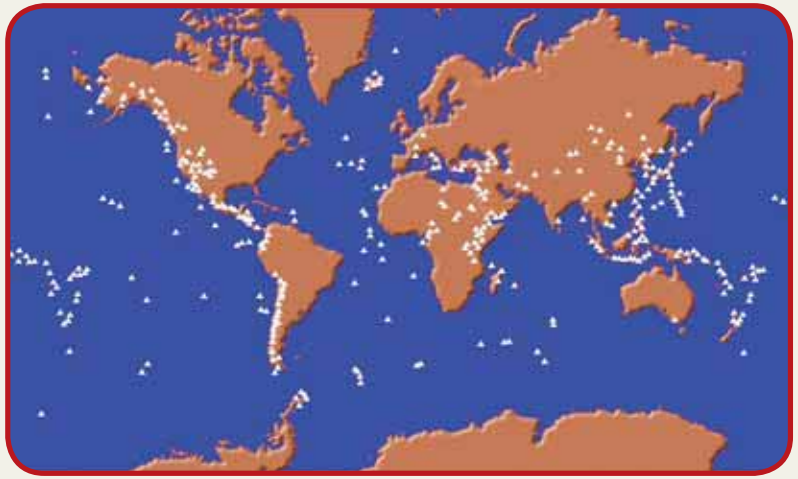


Figura 3. Mapa de situación de los volcanes activos. Obsérvese su distribución mayoritaria siguiendo los bordes de placa.

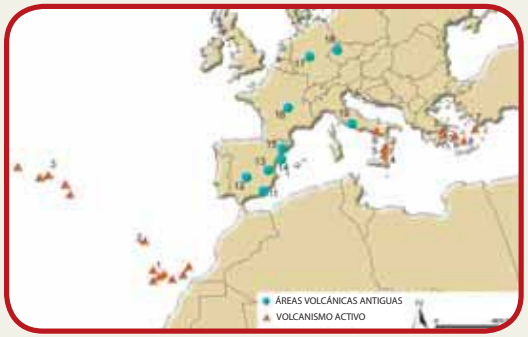


*Figura 6. **Áreas volcánicas activas europeas:** 1 Islas Canarias -Teide- (España); 2 Islas Madeira (Portugal); 3 Islas Azores (Portugal); 4 Sicilia -Etna- (Italia); 5 Islas Eolias -Vulcano, Lipari, Volcanello y Stromboli- (Italia); 6 Nápoles -Vesubio- (Italia); 7 Kos -Kos- (Grecia); 8 Santorini -Santorini- (Grecia); 9 -Milos- (Grecia); 10 Península de Methana -Methana- (Grecia). **Áreas volcánicas antiguas en las que no aparece en la actualidad ningún signo de volcanismo activo:** 11 Almería -Sierra del Cabo de Gata- (España); 12 Ciudad Real -Campo de Calatrava- (España); 13 Valencia -Cofrentes- (España); 14 Castellón -Islas Columbretes- (España); 15 Gerona -La Garrotxa- (España); 16 Cuenca de Limania (Francia); 17 Cuenca del Rhin (Alemania); 18 Praga (Rep. Checa); 19 Roma -Sabatini- (Italia).*

1.4 Procesos volcánicos

Los magmas

El magma es una mezcla de materiales rocosos fundidos (líquido), que puede contener partículas sólidas en suspensión y gases disueltos (Fig. 7). Está formado mayoritariamente por silicatos (SiO_2) y según el porcentaje de sílice que contenga se clasifica en:

- **Básico,** cuando es inferior al 52%.
- **Ácido,** cuando supera el 63%.
- **Intermedio,** cuando el porcentaje está entre el 52 y el 63%.

Las propiedades del magma dependen de la roca origen de las que procede. Una vez que el magma abandona la zona de fusión y empieza a ascender estará sometido a un proceso de enfriamiento y descompresión que hará variar su composición química y sus propiedades físicas.

Propiedades químicas

La composición química del magma depende del tipo de roca del que procede y su evolución hasta salir al exterior. El análisis de la composición de las rocas volcánicas nos proporciona información sobre su origen, dado que no podemos analizar el magma directamente en su lugar de formación en el Manto.

Cada uno de los ambientes geológicos donde se pueden generar magmas (zona de subducción continental, zona de subducción oceánica, dorsal oceánica, rift intracontinental, etc.) impone unas características geoquímicas determina-

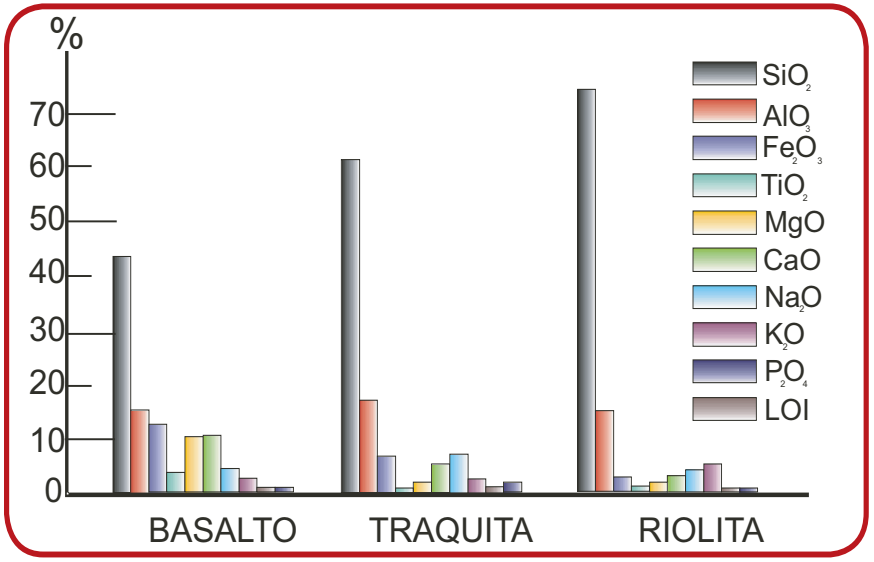


Figura 7. Principales componentes químicos de las rocas volcánicas.

das, así podemos hablar de distintos grupos o series de rocas ígneas (Fig. 8).

Debemos señalar que no hay una serie magmática exclusiva de un ambiente geológico y que en un mismo área podemos encontrar rocas pertenecientes a distintas series, aunque siempre hay un claro predominio de una de ellas.

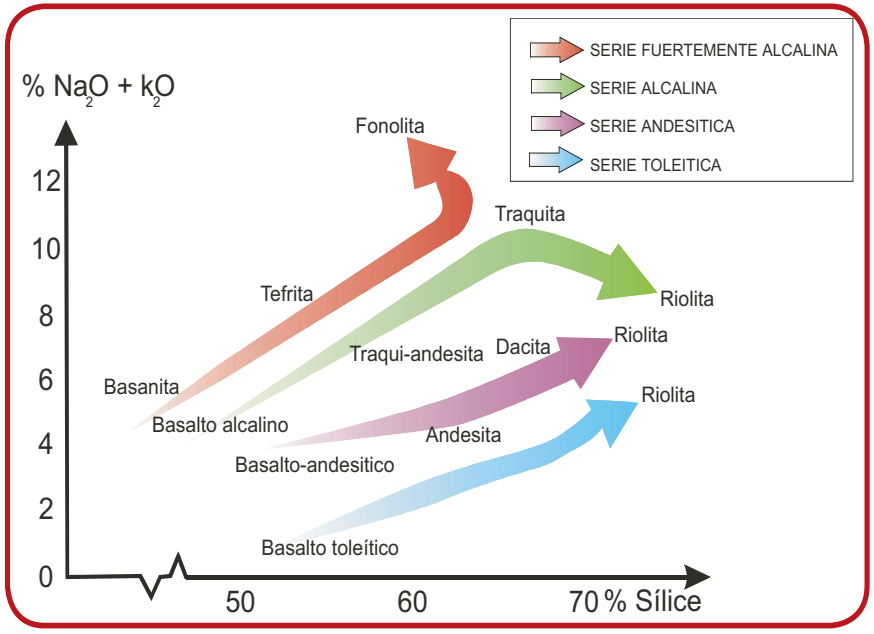


Figura 8. Tipo de rocas en función del porcentaje de Sílice y Álcalis.

Propiedades físicas

- **Temperatura.** Depende de la temperatura inicial de fusión de la roca y del tiempo de ascenso hacia la superficie. La más elevada medida en un volcán ha alcanzado 1170 ºC, aproximadamente, y la más baja unos 400 ºC (Ol Doinyo Lengai, Tanzania).
- **Viscosidad.** Es el parámetro físico que controla el movimiento de un fluido y varía en función de la composición química y la temperatura (por ejemplo: el agua es un fluido poco viscoso y el aceite es un fluido viscoso). En general, el aumento de temperatura disminuye la viscosidad mientras que el aumento del contenido en sílice incrementa fuertemente la viscosidad.
- **Densidad.** Es un parámetro definido como la masa por unidad de volumen (por ejemplo, un kilogramo de hierro y otro de paja pesan igual pero su volumen es distinto). La densidad de un magma depende de su composición química, pero especialmente del contenido en burbujas de gas que lo haría menos denso.

Evolución de los magmas

En los grandes sistemas volcánicos volúmenes importantes de magma pueden quedar retenidos en la corteza a profundidades del orden de 4 a 6 Km. formando cámaras magmáticas. En esas cámaras,

el magma se va enfriando lentamente, variando su composición, pues algunos elementos cristalizan y se depositan en el fondo de la cámara. El magma es cada vez más ligero y más rico en gas, aumentando su viscosidad, disminuyendo la temperatura y enriqueciéndose en SiO_2 (Fig. 9). Esta evolución se traduce en que las erupciones son cada vez más violentas o explosivas. Estos magmas se conocen como magmas evolucionados, mientras que al magma original se le denomina magma primario o magma juvenil. Todo el proceso se conoce como evolución magmática y la vida de un volcán se considera desde que se producen las primeras erupciones y se forman las cámaras magmáticas, hasta que se agotan completando así un ciclo magmático.

Otros fenómenos que pueden ocurrir son la mezcla de magmas y la absorción de los minerales de la roca encajante (Fig. 10). Por ejemplo un magma puede llevar mucho tiempo retenido en una cámara magmática y verse afectado por una nueva inyección de magma juvenil procedente de las zonas más profundas. Al mismo tiempo, intercambia elementos químicos con las rocas de la corteza que lo rodean.

La actividad eruptiva

La erupción es el resultado de la llegada del magma a la superficie del planeta (Fig. 11). El magma puede llegar directamente desde la zona de generación, situada a 70-100 Km. de profundidad, ascendiendo por fracturas abiertas durante fases distensivas de la corteza. Otras veces lo hace después de haber reposado en cámaras mag-

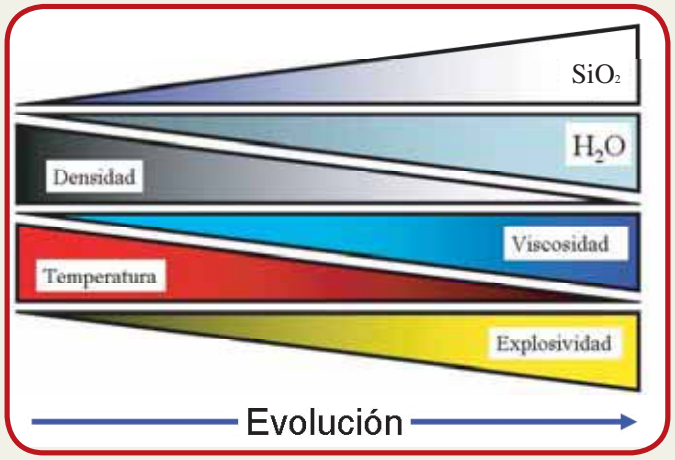


Figura 9. Evolución temporal de los parámetros físicos del magma.

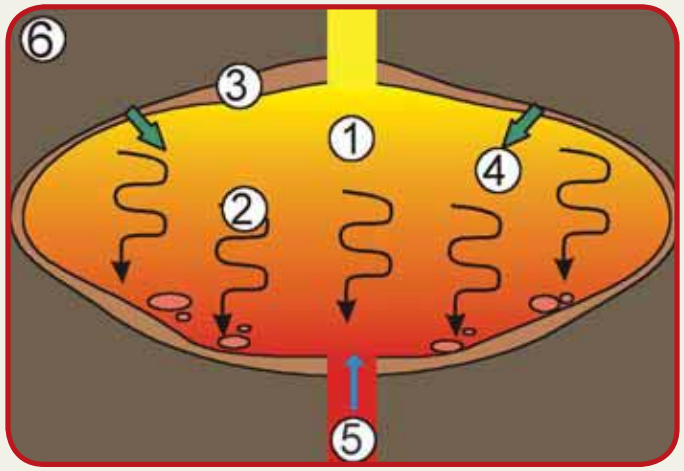


Figura 10. Cámara magmática: 1 magma almacenado; 2 diferenciación, cristalización y deposición en el fondo de la cámara; 3 Roca encajante en contacto con la cámara; 4 Absorción de la roca encajante; 5 inyección de nuevo magma y mezcla en la cámara; 6 sustrato.

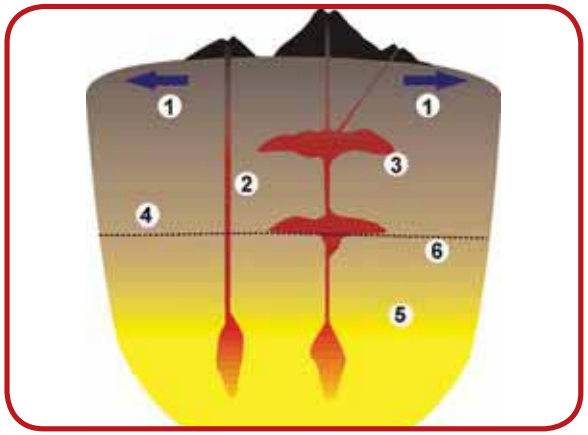


Figura 11. 1 Proceso distensivo; 2 ascenso directo del magma; 3 formación de cámaras magmáticas, modificación de las propiedades químicas y físicas del magma; 4 corteza; 5 manto; 6 límite corteza-manto

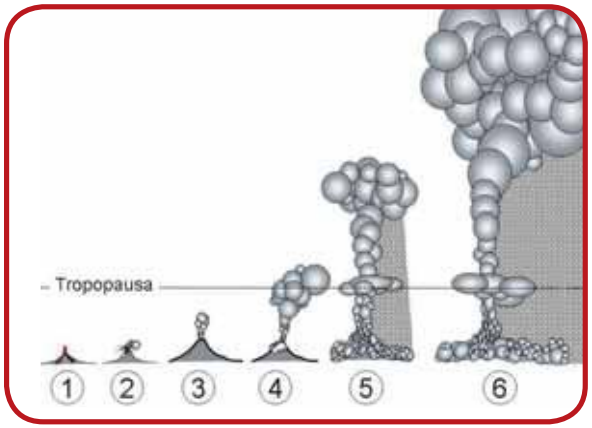


Figura 12. Índice de Explosividad Volcánica (VEI). La violencia de las erupciones (explosividad) se puede medir en función de la cantidad de material emitido y la altura alcanzada por la columna. 1 hawaiana, 2 stromboliana, 3 vulcaniana, 4 subpliniana, 5 pliniana, 6 ultrapliniana.

máticas, interviniendo en el inicio de la erupción diferentes procesos de desgasificación, mezclas de magmas y de la actividad tectónica.

La actividad volcánica se clasifica en función del grado de explosividad y está controlada por la cantidad de gas presente en el magma; a medida que aumenta es mayor la explosividad resultante. El magma contiene gases disueltos con una proporción en peso que puede llegar al 5%; en algunos casos puede incorporar agua procedente del mar o de acuíferos, que se traduce en un incremento del gas disponible. Los componentes principales del gas volcánico son: agua (H_2O, casi el 80% del total), dióxido de carbono (CO_2), anhídrido sulfuroso (SO_2), y ácido sulfhídrico (H_2S) y ya en mucha menor proporción hidrógeno (H_2), cloro (Cl), flúor (F), etc.

La clasificación tradicional de la actividad volcánica y los mecanismos que provocan la erupción están actualmente en proceso de revisión, después de los estudios realizados en las últimas erupciones (Pinatubo 1991. Filipinas; Unzen 1991. Japón; Isla de Montserrat 1997. Puerto Rico; Reventador 2002. Ecuador, etc…). Sin embargo, es conveniente establecer un criterio que nos permita diferenciar, de forma muy general, unas erupciones de otras. En este sentido se ha establecido el *Índice de Explosividad Volcánica* (VEI) en función del volumen de material emitido y la altura alcanzada por la columna explosiva (Fig. 12).

La descarga muy rápida a la atmósfera de un gran volumen de gas y gotas de magma, todo ello a alta temperatura, da lugar a una columna eruptiva que alcanza grandes alturas. A medida que

asciende va enfriándose, hasta llegar a una altura en la que columna y atmósfera tienen la misma temperatura, momento en el que cesa el ascenso. A partir de aquí, los materiales son arrastrados por el viento y empiezan a caer, primero los más grandes y pesados, mientras que los más finos pueden permanecer mucho tiempo en la estratosfera. El índice describe también el grado de inyección de cenizas que la erupción provoca en la atmósfera y estratosfera.

TABLA 1. ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA

<table>
<tr><th rowspan="2">VEI</th><th rowspan="2">Volumen (Km³)</th><th rowspan="2">Altura columna (Km.)</th><th rowspan="2">Descripción</th><th rowspan="2">Tipo</th><th rowspan="2">Fase explosiva (horas)</th><th colspan="2">Inyección</th></tr>
<tr><th>Troposfera</th><th>Estratosfera</th></tr>
<tr><td>0</td><td>fumarolas</td><td>0.1</td><td>No explosiva</td><td>Hawaiana</td><td><1</td><td rowspan="2">Mínima</td><td rowspan="3">No</td></tr>
<tr><td>1</td><td><0.00001</td><td>0.1-1</td><td>Pequeña</td><td rowspan="2">Stromboliana</td><td rowspan="3">1-6</td></tr>
<tr><td>2</td><td><0.0001</td><td>1-5</td><td>Moderada</td><td rowspan="2">Media</td></tr>
<tr><td>3</td><td><0.001</td><td rowspan="2">3-15</td><td>Media</td><td rowspan="2">Vulcaniana</td></tr>
<tr><td>4</td><td><0.01</td><td>Grande</td><td rowspan="2">6-12</td><td rowspan="5">Grande</td><td>Posible</td></tr>
<tr><td>5</td><td><0.1</td><td rowspan="2">10-25</td><td>Muy grande</td><td rowspan="2">Pliniana</td><td rowspan="2">Siempre</td></tr>
<tr><td>6</td><td><1</td><td>Severa</td><td rowspan="4">>12</td></tr>
<tr><td>7</td><td><10</td><td rowspan="3">>25</td><td>Violenta</td><td rowspan="3">Ultrapliniana</td><td rowspan="3">Importante</td></tr>
<tr><td>8</td><td><100</td><td rowspan="2">Terrible</td></tr>
<tr><td>9</td><td>>100</td></tr>
</table>

En la Tierra, todos los meses se producen erupciones con VEI bajos, inferiores a 2; todos los años ocurre alguna con VEI de 3, pero las erupciones con VEI superiores a 6 ocurren muy pocas veces, una o dos por siglo, por lo que conocemos muy poco de ellas.

Este índice nos permite asignar un número 0 a aquellas erupciones en las que la lava se emite de forma tranquila y sin explosiones (Piton de la Fournaise en la Isla de Reunión, Kilauea en Hawai). A medida que se incrementa el contenido de gas en el magma, va aumentando la explosividad y el correspondiente índice, por ejemplo los volcanes Strómboli, Etna, ambos en Italia, Villarrica (Chile) y la mayoría de las erupciones en Canarias tienen habitualmente un índice de 1-2; una erupción como la ocurrida en el volcán Pinatubo (Filipinas) en 1991 alcanzó un índice de 6-7. En Tenerife, las erupciones asociadas a la formación de la caldera de Las Cañadas, poseen índices de 7-8.

Debemos tener presente que en determinadas condiciones, el magma puede incorporar agua procedente del mar o de acuíferos (Fig. 13), con lo que la cantidad de gas disponible puede aumentar considerablemente. Las erupciones en las que se produce la incorporación de agua al sistema, se conocen como hidromagmáticas (Fig. 14 y 15); un magma pobre en gas, que produciría una erupción efusiva tranquila (VEI 0), si incorpora agua de un acuífero se convierte en una erupción moderadamente explosiva (VEI 3). Por ejemplo en Canarias, encontramos erupciones de este tipo en Lanzarote (El Golfo), Gran Canaria (Bandama), en Tenerife (Caldera del Rey), etc.

Productos y morfologías volcánicas

La salida del magma a la superficie se produce en tres formas (Fig. 16): líquido (lavas), gases y proyección de fragmentos sólidos (piroclastos, de piros fuego y clasto fragmento). La cantidad de gas presente en el magma es el condicionante para que la erupción sea tranquila o explosiva, y de que predomine la emisión de lavas o de piroclastos. Recordemos que una explosión es el resultado de la expansión brusca del gas; un material explosivo corresponde a una reacción química que produce en muy poco tiempo una gran cantidad de gas (Fig. 17).

Lavas

Las lavas son rocas de composición homogénea emitidas en forma líquida durante una erupción volcánica. Las propiedades físicas de la lava (especialmente la viscosidad), la variación de temperatura durante su recorrido, el volumen de material emitido y las características del terreno por el que discurre, influyen sobre la morfología final que adquieren. Las lavas muy fluidas se extienden cubriendo grandes extensiones con un pequeño espesor. Las lavas viscosas poseen mayor altura, pero recorren

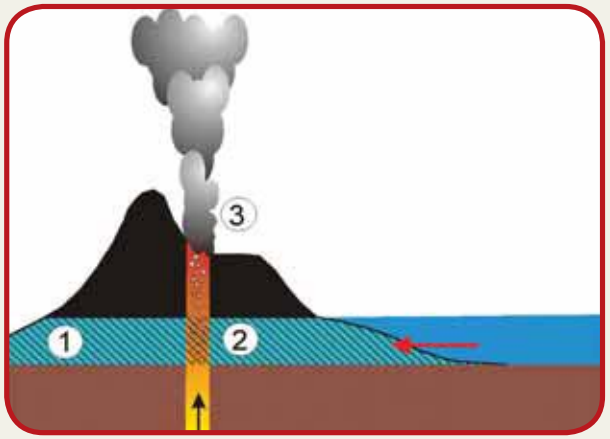


Figura 13. 1 Nivel freático; 2 incorporación de agua al magma; 3 incremento de la explosividad por el aumento de los gases.

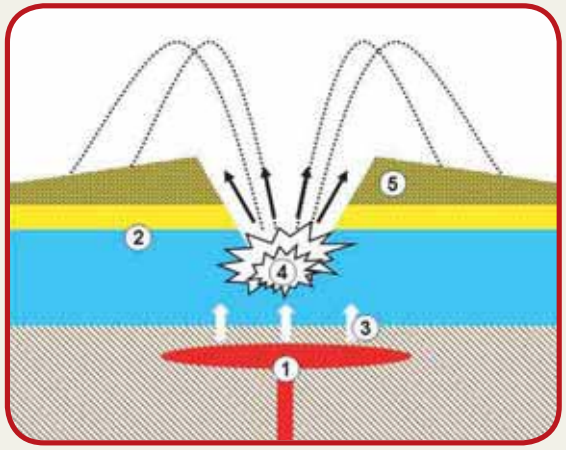


Figura 14. Explosión freática: el magma (1) se emplaza en la base de un acuífero (2) al que calienta (3) provocando su vaporización y explosión (4), produciendo un cráter de amplias dimensiones (5). La profundidad de la explosión está limitada a menos de 100 m a causa de la presión.

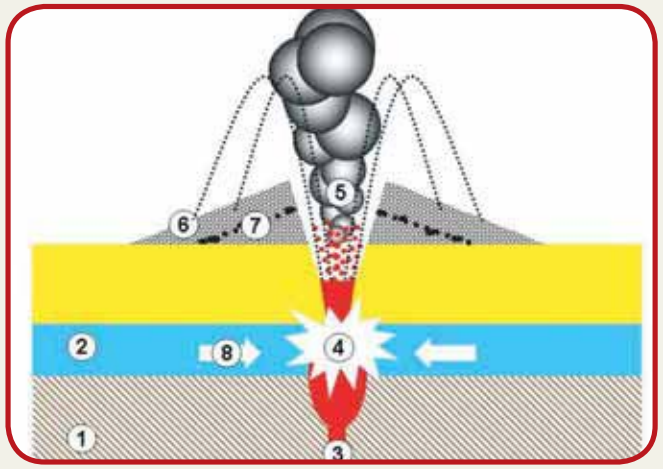


Figura 15. Erupción freatomagmática: el agua se incorpora al magma aumentando la explosividad. 1 zócalo, 2 acuífero (confinado o no), 3 columna de magma, 4 incorporación de agua al magma, 5 columna eruptiva con mayor cantidad de vapor, 6 cono, 7 brecha debida a la explosión producida al interaccionar el magma con el acuífero.

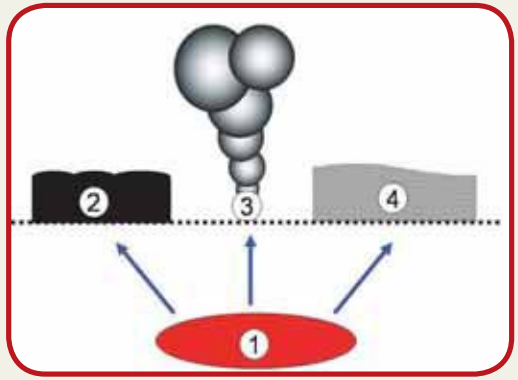


Figura 16. La salida del magma (1) a la superficie se realiza en tres formas: líquido o lavas (2), gas (3) y sólido o piroclastos (4).

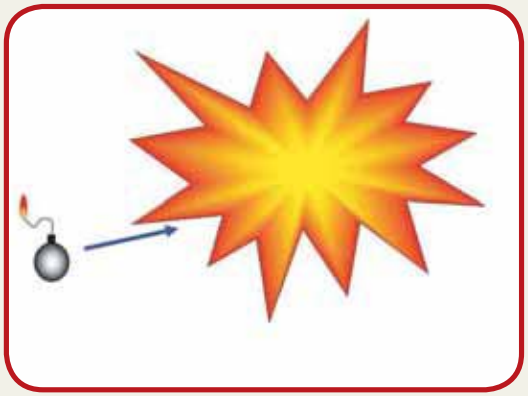


Figura 17. Una explosión es la expansión rápida de un gas.

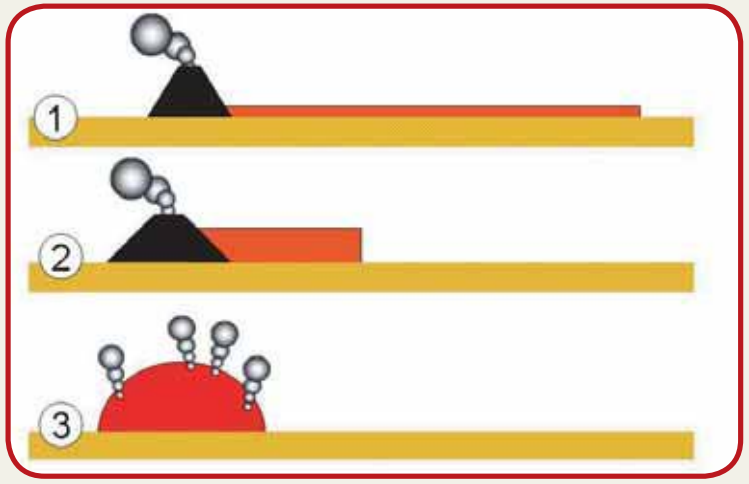


Figura 18. Las lavas muy fluidas cubren grandes extensiones con poca altura (1). Las lavas viscosas recorren poca distancia pero alcanzan gran altura (2). Las lavas muy viscosas se acumulan sobre el centro de emisión, construyendo un domo (3) que puede alcanzar gran altura.

Colada de lava de un cono adventicio del volcán Niragongo (Congo). Foto R. Ortiz.

distancias menores y el caso extremo son las lavas muy viscosas que se quedan sobre el propio centro de emisión, formando un domo (Fig. 18). Es importante decir que las lavas se mueven lentamente, salvo casos muy excepcionales, y lejos de los centros de emisión se mueven a unos pocos metros por hora. Por ello, es muy difícil que causen pérdidas de vidas humanas.

La altura mínima que debe poseer una lava para que pueda moverse se conoce como altura crítica y depende de la cizalla umbral, es decir la cizalla mínima que debe aplicarse para que el fluido pueda moverse. La altura crítica va desde unos pocos centímetros hasta varias decenas de metros; las lavas de la

Domo en el volcán Soufrie´re Hills (isla de Montserrat). Foto R. Ortiz.

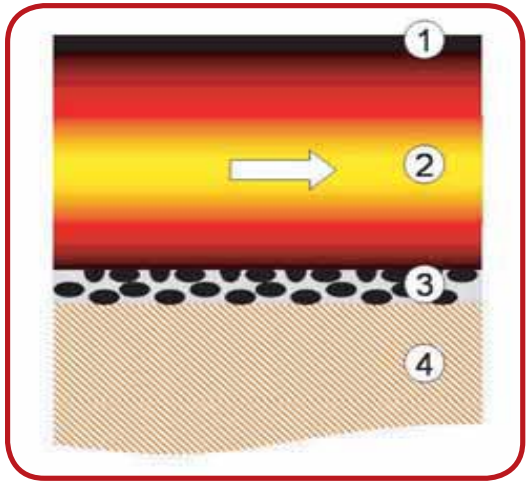


Figura 19. Anatomía de una lava: 1 superficie libre, 2 cuerpo, 3 escoria de base, 4 superficie sobre la que se desplaza.

erupción de Timanfaya (Lanzarote, Islas Canarias) poseen alturas críticas, moviéndose en el plano horizontal, entre 1.5 y 3 m. En el volcán Teide (Tenerife, Islas Canarias) podemos encontrar lavas con más de 20 m. de altura crítica. A medida que la colada se enfría, va aumentando su cizalla umbral y con ello la altura crítica, por eso, a grandes distancias del centro de emisión la colada tiene mayor espesor.

En la anatomía de una lava (Fig. 19) podemos distinguir inicialmente la superficie en contacto con la atmósfera, cuyo aspecto depende del régimen de movimiento de la colada, después observamos el cuerpo de la colada, de aspecto masivo, ya que se enfría lentamente. En la base, encontramos una capa de escorias, formada por el enfriamiento rápido de la lava en contacto con el suelo, más los materiales que ha ido arrastrando y las alteraciones que haya producido por las elevadas temperaturas sobre el propio suelo. El aspecto superficial de una lava (Fig. 20) es muy espectacular, pero meramente anecdótico; ello es debido a la cizalla que el movimiento del interior de la colada ejerce sobre la superficie cuando ésta empieza a solidificarse. Si la cizalla es pequeña, simplemente provoca una leve ondulación en la superficie, que se conoce con el nombre hawaiano de lavas pahoe-hoe, que significa superficie por donde se puede caminar con los pies descalzos. Cuando la cizalla es lo sufi-

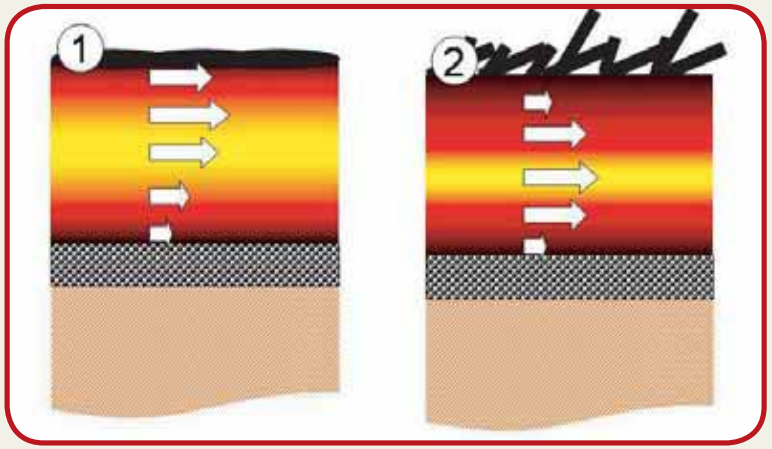


Figura 20. Las lavas pahoe-hoe (1) presentan un aspecto liso, ya que la cizalla superficial durante el movimiento es pequeña. Cuando la cizalla sobre la superficie es grande, ésta se rompe (2), dando origen a una lava aa. El interior, una vez solidificado es idéntico en ambas.

Colada de lava tipo "AA" en La Palma (Islas Canarias). Foto R. Ortiz.

cientemente grande, rompe la capa superficial ya parcialmente solidificada, que después el movimiento irá triturando y redondeando; las superficies así creadas se conocen también con el término hawaiano de lavas aa. Las lavas al enfriarse, experimentan una contracción que produce sistemas de fracturas y disyunciones, siendo los principales tipos las disyunciones columnar y lenticular. Otro aspecto que presentan las lavas es la disyunción esferoidal (en bolas de descamación), producidas por la meteorización e infiltración de la humedad a través de las grietas ya existentes.

Túneles volcánicos

Cuando un gran volumen de lava entra en un área limitada lateralmente, puede alcanzar un espesor muy superior a su altura crítica (Fig. 21). La lava canalizada se enfría por la parte superior, que va solidificándose desde las paredes hacia el centro, dando origen a dos cornisas que pueden llegar a unirse, formando un techo, mientras la lava sigue discurriendo por el interior. Cuando disminuye el ritmo de emisión o al terminar la erupción, el nivel de la lava en el interior del túnel desciende y se vacía parcialmente formando un túnel volcánico (Fig. 22). El burbujeo del gas en la lava, que circula por el túnel, proyecta goterones que quedan adheridos al techo y paredes.

En los túneles, especialmente cerca de los centros de emisión, se producen importantes desgasificaciones; la presión del gas puede ser suficiente para deformar, incluso romper la débil costra que forma el techo del incipiente túnel y producir un pequeño cráter por

donde escapa el exceso de gas, dando lugar a cráteres secundarios denominados hornitos (Fig. 23). La desgasificación también se produce en aquellas zonas donde el régimen de flujo de lava se inestabiliza, por ejemplo, en un cambio de pendiente o en una curva, provocando una acumulación de tensiones que conducen a un debilitamiento de la estructura, colapsando fácilmente el túnel cuando finaliza la erupción (Fig. 24). Estos colapsos del techo de los túneles se conocen en Canarias como jameos.

La formación de túneles volcánicos aumenta la peligrosidad al posibilitar que las lavas canalizadas en el mismo, recorran grandes distancias sin enfriarse. Por ejemplo, las lavas emitidas en una erupción en zonas altas prácticamente deshabitadas, puede llegar hasta las zonas más pobladas situadas a decenas de kilómetros rápidamente, con gran fluidez y a elevada temperatura.

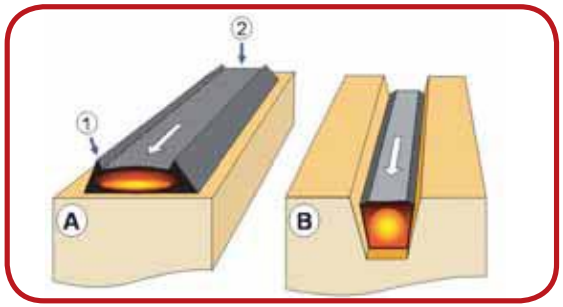


Figura 21. Cuando la lava se mueve sobre una superficie plana (A), la colada se extiende libremente, hasta que su espesor es igual a la altura crítica. Los laterales (1) están formados por acumulación de escorias, poseen una mayor altura y se conocen como labios. La parte central (2) se denomina canal. Si la lava se mueve confinada (B), por ejemplo en un barranco o entre dos coladas anteriores, no puede expandirse y su altura puede superar varias veces la altura crítica, cumpliéndose las condiciones para que se forme un túnel.

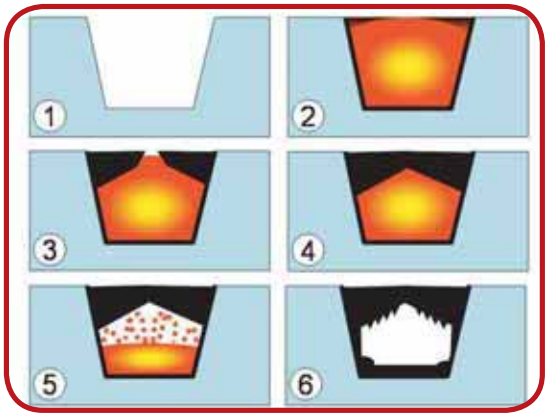


Figura 22. Un túnel volcánico se produce cuando una lava se canaliza en un valle, en un barranco o entre dos coladas anteriores (1). La lava se enfría a través de la superficie libre y las paredes (2). Se forman dos cornisas de lava solidificada (3) que van creciendo hasta unirse (4), formando una bóveda. Al disminuir la emisión el nivel de lava desciende (5). Al terminar se vacía y queda un túnel (6). Las salpicaduras de lava forman goterones en el techo semejantes a estalactitas y estalagmitas.

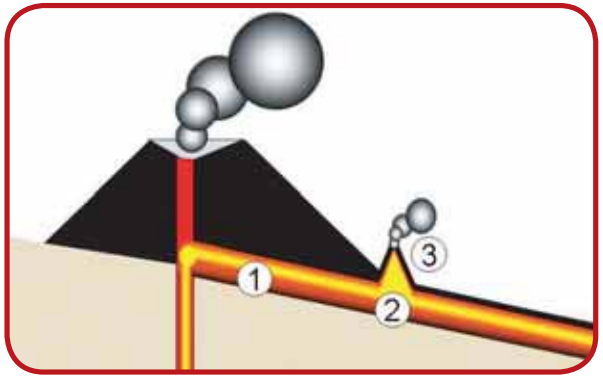


Figura 23. En los túneles volcánicos (1) es muy fácil que se produzca una acumulación de gas (2), que es capaz de romper la costra de lava, parcialmente fría, dando origen a un hornito (3). Se distinguen de los cráteres por su mayor pendiente superior a 35º y su menor tamaño.

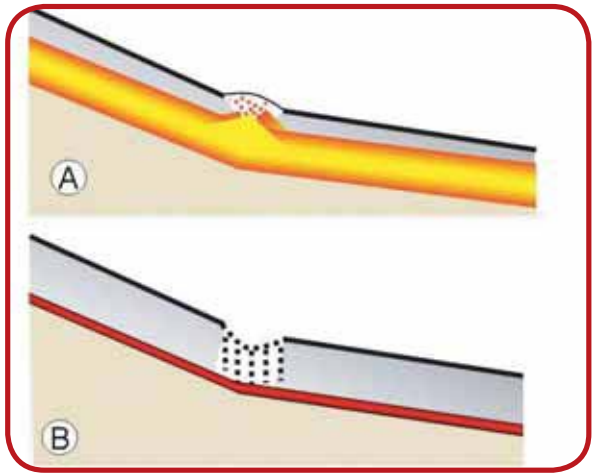


Figura 24. En los cambios de pendiente o de dirección, el flujo dentro del túnel se desestabiliza, produciendo una mayor desgasificación, así como una acumulación de esfuerzos (A). Ello conduce a que la estructura del túnel se debilite y se pueda producir el colapso del techo una vez finalizada la erupción (B). Estos colapsos se conocen en Canarias con el nombre de jameos.

Gases

Los gases, contenidos en el magma, se emiten a elevada temperatura y ascienden en forma de una columna convectiva, hasta llegar a la altura en la que columna y atmósfera tienen la misma temperatura, cesando entonces el ascenso. Esta columna tiene capacidad para arrastrar gran cantidad de piroclastos y materiales sólidos arrancados del conducto. Como ya se ha indicado anteriormente el gas es el causante del mayor o menor grado de explosividad de la erupción. Además de la salida violenta por el cráter durante la erupción, el gas puede escapar por pequeñas fracturas del edificio volcánico y zonas próximas, dando lugar a fumarolas. También puede salir disuelto en el agua de los acuíferos existentes en el área, originando aguas termales y medicinales. Finalmente, algunos gases como el dióxido de carbono (CO_2) pueden escapar por difusión a través del suelo, incluso en áreas muy alejadas del volcán (Fig. 25).

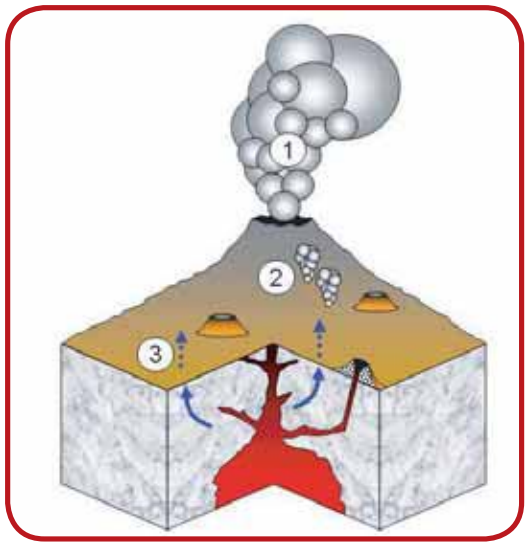


Figura 25. 1 penacho de gases, 2 fumarolas, 3 difusión de gases

Flujo y caída de piroclastos

Los fragmentos sólidos o piroclastos expulsados durante una erupción volcánica proceden de la fragmentación del magma producida por la expansión violenta de las burbujas del gas que

Explosión stromboliana en un cono adventicio del volcán Niragongo (Congo). Foto R. Ortiz.

contiene. Los piroclastos abarcan una gran variedad de tamaños, recibiendo distintos nombres según sus dimensiones:

TABLA 2. TAMAÑO EN MILÍMETROS DE LOS PIROCLASTOS

Bloques	Lapillos	Cenizas
>64 mm	64mm < >2 mm	<2 mm

Estos materiales fragmentarios son arrastrados violentamente por el gas hasta la boca de emisión. Los más grandes son proyectados balísticamente, incluso a grandes distancias (40 km. en el volcán Asama en Japón), mientras que los más pequeños se incorporan a la columna. Una parte de estos materiales se acumula alrededor del centro emisor formando un cono de cinder o escoria.

Algunos fragmentos de magma del tamaño lapilli a bloque son expulsados en forma líquida, enfriándose parcialmente durante su trayectoria de caída, adoptando formas redondeadas o fusiformes que reciben el nombre de bombas. Las escorias se forman por la soldadura de varios fragmentos que al caer no están totalmente fríos. Las pumitas son materiales fragmentarios muy vesiculados (llenos de pequeñas cavidades producidas por la expansión de las burbujas de gas), generalmente de color claro y densidad inferior al agua.

En otros casos, la columna no posee suficiente fuerza ascensional para elevar todo el material incorporado, produciendo el colapso de la misma (Fig. 26); este material cae sobre el volcán, descendiendo rápidamente por las laderas y formando densos flujos que se mueven a gran velocidad (500 km/hora), temperaturas elevadas (700 ºC), con gran capacidad de transporte y pueden recorrer hasta 100 km de distancia. Este fenómeno se conoce como colada piroclástica y es uno de los más violentos que pueden ocurrir en una erupción. También existe otro tipo de flujos, producidos cuando la cantidad de gas es muy superior a la cantidad de ceniza, llamadas *oleadas piroclásticas (surge)* y su movimiento presenta un carácter turbulento.

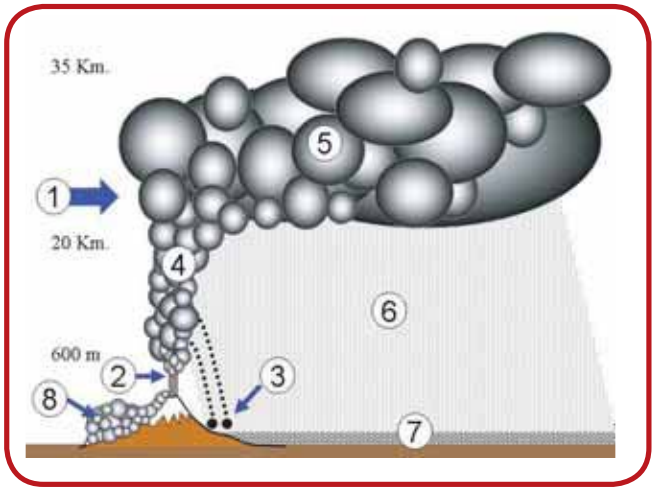


Figura 26. 1 dirección del viento, 2 salida en chorro de la columna, 3 caída de bombas, 4 ascenso adiabático de la columna, 5 dispersión por el viento, 6 caída de cenizas, 7 depósitos de cenizas, 8 colapso parcial de la columna y formación del flujos piroclásticos, que se deslizan a gran velocidad por las laderas del volcán.

Los flujos piroclásticos (Fig. 27), característicos del volcanismo explosivo, descritos anteriormente (colada y oleada piroclástica), son los procesos más violentos que pueden ocurrir en un volcán. Una gran masa de gases y cenizas, a temperaturas superiores a 700 ºC se mueven con una velocidad de 150 m/s (540 Km./h) y pueden recorrer distancias de hasta 100 Km. La alta velocidad de estos flujos se explica porque se mueven sobre un colchón formado por el propio gas. Del flujo se escapan gases y cenizas muy finas, que forman una nube acompañante. Al avanzar el flujo, transporta junto con la ceniza, líticos (fragmentos de rocas, arrancados en el momento de la explosión o de las paredes del conducto) y fragmentos de pómez aplastados por la presión (llamados flamas). El flujo se detiene al perder el gas y si la temperatura es todavía lo suficientemente alta, las cenizas se sueldan. Los depósitos procedentes de las coladas piroclásticas se conocen como ignimbritas. Los piroclastos incorporados a la columna de gas, pueden ser arrastrados por el viento y caer en forma de lluvia de cenizas a grandes distancias.

Las oleadas piroclásticas, al ser menos densas, forman depósitos de poca entidad de carácter turbulento y con estructuras de estratificación cruzada, duna y antiduna. Estos flujos se adaptan en su desplazamiento a la topografía preexistente en el terreno, pero con capacidad suficiente para remontar algunos obstáculos. Es importante reconocer los depósitos de los materiales volcánicos en relación con los procesos que los originan (Fig. 28).

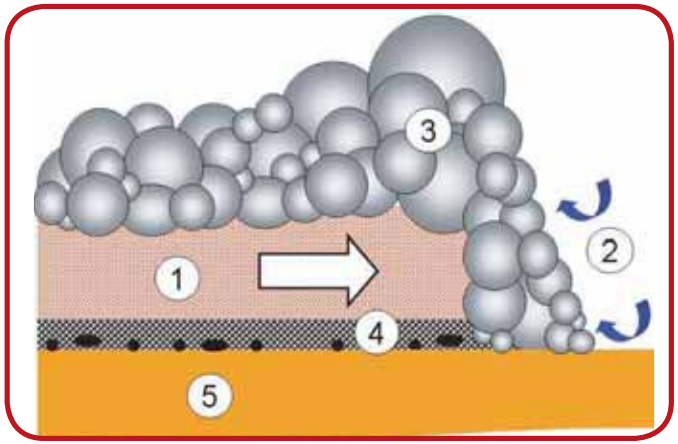
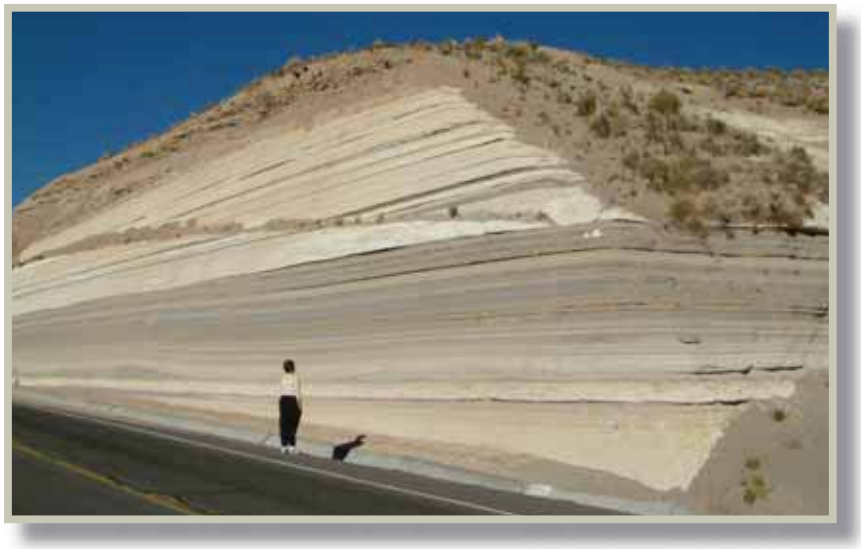


Figura 27. Anatomía de una colada piroclástica: 1 masa de gases y cenizas a alta temperatura, 2 incorporación de aire, 3 nube acompañante formada por gases y partículas muy finas que se escapan del flujo, 4 nivel de base donde se van depositando los bloques más pesados, 5 superficie sobre la que se desplaza.



Depósito piroclástico en el volcán Misti (Perú). Foto R. Ortiz.

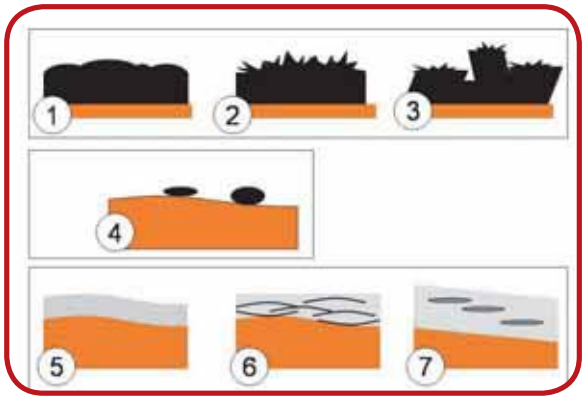


Figura 28. Rasgos característicos de los principales depósitos volcánicos: 1 lavas pahoe-hoe, 2 lavas aa, 3 lavas en bloque, 4 bombas, 5 lluvia de cenizas, 6 oleadas piroclásticas, 7 coladas piroclásticas con flamas.

Lahares

Consisten en una avalancha de materiales volcánicos no consolidados, especialmente cenizas que se han acumulado sobre el cono, y que son movilizados por agua. El conjunto se mueve ladera abajo, canalizándose por los barrancos y cargándose de rocas, troncos, etc., pudiendo recorrer grandes distancias con gran poder destructivo. El agua necesaria para iniciar el proceso puede proceder de lluvias intensas (Pinatubo, Filipinas, 1991) o de la fusión parcial del hielo presente en la cima del volcán (Nevado de Ruiz, Colombia, 1985). Los lahares suelen desenca-

Ciudad de Plymouth (isla de Montserrat).

denarse después de la erupción cuando se combina el máximo de material no consolidado con la presencia de agua y en las grandes erupciones siguen generándose varios años después de finalizada la erupción.

Volcanes en escudo

La erupción más sencilla se produce cuando el magma tiene muy bajo contenido en gas y al llegar a la superficie, a través de la fisura eruptiva, descarga sólo líquido en forma de un surtidor o fuente de lava (Fig. 29), cuya altura depende únicamente de la velocidad de ascenso del magma. Al caer la lava, muy fluida, corre sobre la superficie dando lugar a una colada lávica. La repetición de este proceso, crea una morfología en forma de escudo, de ahí su nombre (Fig. 30). El edificio volcánico formado por superposición de estas lavas basálticas presenta una pendiente suave, que no supera los 10º, mientras que la base puede ampliarse a un centenar de kilómetros. El volcán tipo es el Kilauea en Hawai. En Canarias (por ejemplo en Lanzarote) podemos reconocer los restos de estos edificios que actuaron en las primeras fases de construcción de las islas.

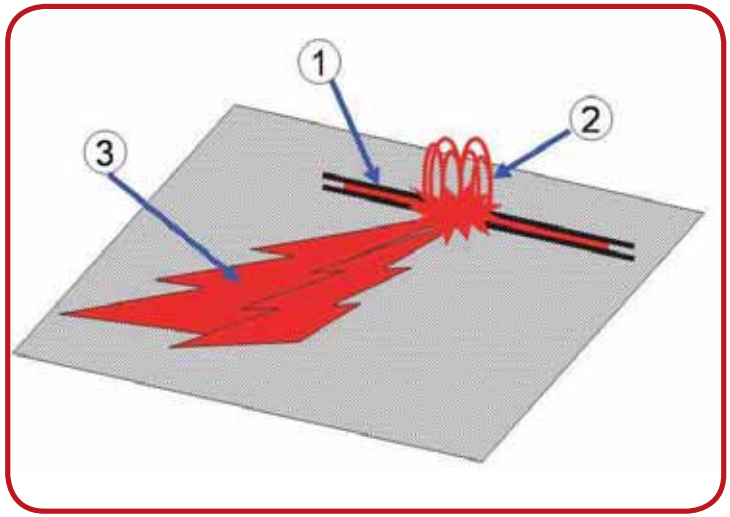


Figura 29. La erupción efusiva es la más sencilla: 1 fractura, 2 fuente de lava, 3 colada de lava.

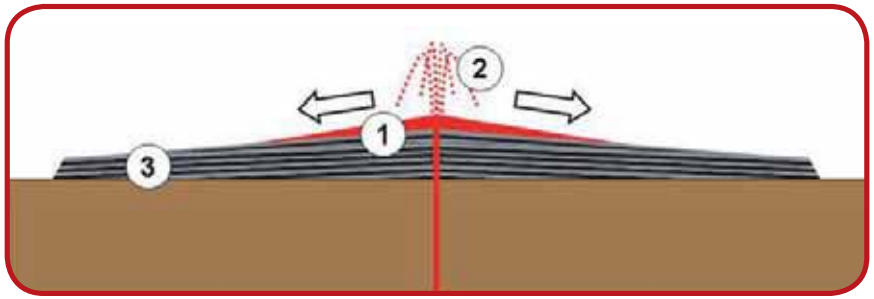


Figura 30. Las lavas muy fluidas procedentes de una fuente de lava (1) se expanden sobre coladas más antiguas (2) dando lugar a un volcán en forma de escudo.

Conos de escorias

Cuando un magma que contiene una cantidad pequeña de gas llega a la superficie, las burbujas de gas se expanden y provocan

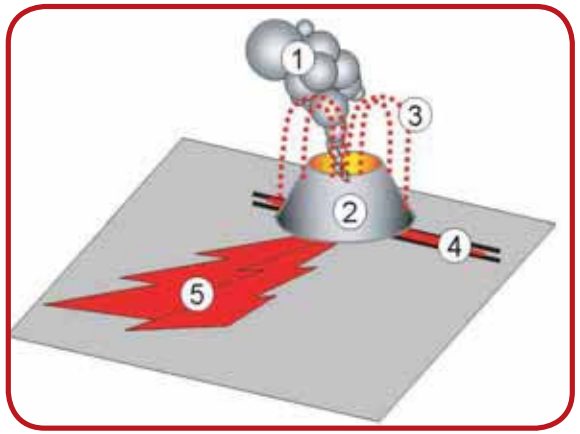


Figura 31. Cuando el magma contiene una pequeña cantidad de gas (1) se forma un cono de escorias (2) por proyección y caída de gotas de magma (3), de la fractura (4) siguen saliendo las lavas (5).

la proyección de pequeñas gotas de lava, que se enfrían en contacto con la atmósfera y caen ya solidificadas (piroclastos), acumulándose alrededor de la zona de emisión y construyendo un pequeño cono de escorias (Fig. 31), nombre debido al aspecto escoriáceo de estos materiales, con una pendiente de 30º-40º de inclinación. Los conos pueden crecer en forma asimétrica cuando el conducto de emisión está inclinado o bien si durante la erupción hay un fuerte viento que acumula los piroclastos en una dirección preferente (Fig. 32). La salida de la lava también puede modificar la forma del cono. En erupciones hidromagmáticas, a causa de su mayor explosividad, se produce una gran variedad de piroclastos, formando conos de menor pendiente, 10º-25º (conos y anillos de tobas).

Pico Partido, cono formado durante la erupción de Timanfaya, en Lanzarote (1730-36). Parque Nacional de Timanfaya, Lanzarote (Islas Canarias). Foto R. Ortiz.

Los conos crecen en aquellos puntos de la fractura por donde sale mayor cantidad de gas que fragmenta el magma (Fig. 33). Cuando dos fracturas se cruzan o la fractura se ensancha, en ese punto se produce una superposición de conos (Fig. 34), que puede alcanzar un gran desarrollo. En general, las lavas salen directamente de las fracturas, lo que produce en ocasiones, que el cono sea arrastrado por las lavas (Fig. 35), rompiéndolo en grandes bloques (bloques erráticos), transportados a considerables distancias; sobre el punto de salida crecerá un nuevo cono, que seguramente correrá igual suerte; los conos que podemos ver después de una erupción son los últimos que se edificaron.

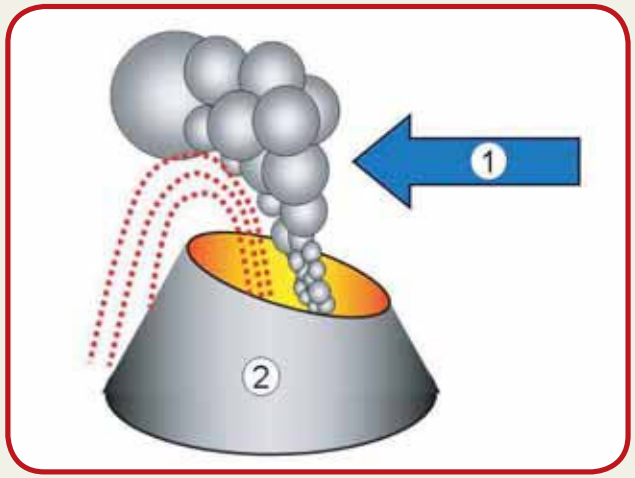


Figura 32. Cuando hay un viento fuerte (1), el cono (2) crece asimétrico, ya que las escorias son arrastradas por el viento.

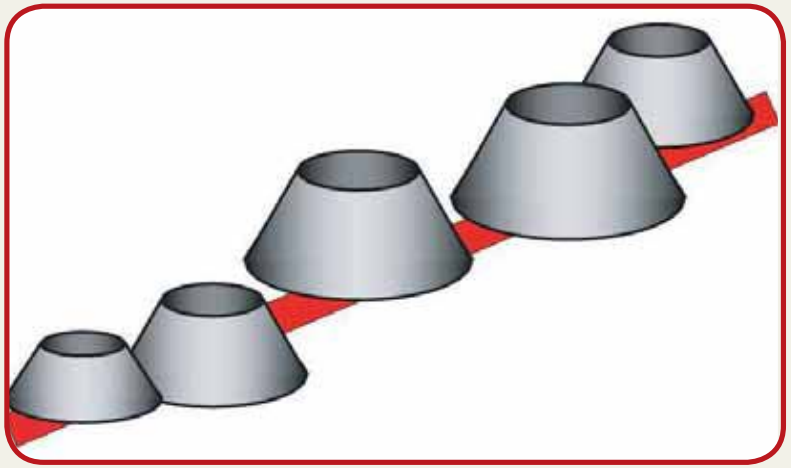


Figura 33. Los conos se alinean a lo largo de las fracturas.

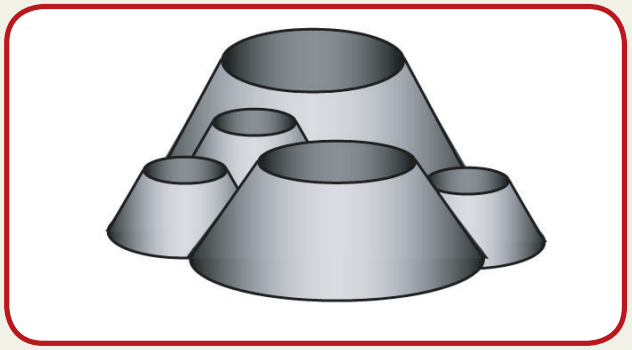


Figura 34. Cuando se cruzan varias fracturas, o ésta es muy ancha, se produce una superposición de conos.

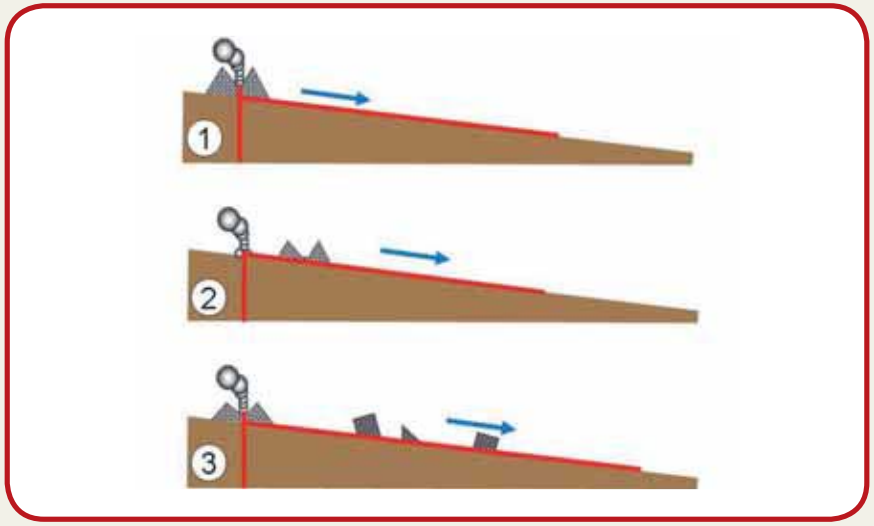


Figura 35. Cono de escorias que se construye sobre el salidero de lava (1). La colada de lava es capaz de arrastrar el cono (2), que terminan rompiéndose en varios bloques (3). Sobre el salidero se inicia el nacimiento de otro cono.

Estratovolcanes

Son edificios volcánicos de grandes dimensiones, formados por la acumulación sucesiva de materiales piroclásticos y coladas lávicas (Fig. 36), emitidas desde un mismo sistema magmático y en diferentes erupciones; pueden tener pendientes que superen los 40°. En general, se trata de sistemas volcánicos complejos, con procesos eruptivos donde intervienen magmas diferenciados, con explosividad muy variable. Ejemplo de estos volcanes son Teide (Tenerife, Canarias, España), Vesubio (Italia), Popocatepelt (Méjico), etc.). Sin embargo, también encontramos grandes estratovolcanes formados por magmas basálticos de explosividad moderada como Villarrica (Chile), Etna (Italia), Pico (Azores, Portugal), etc.

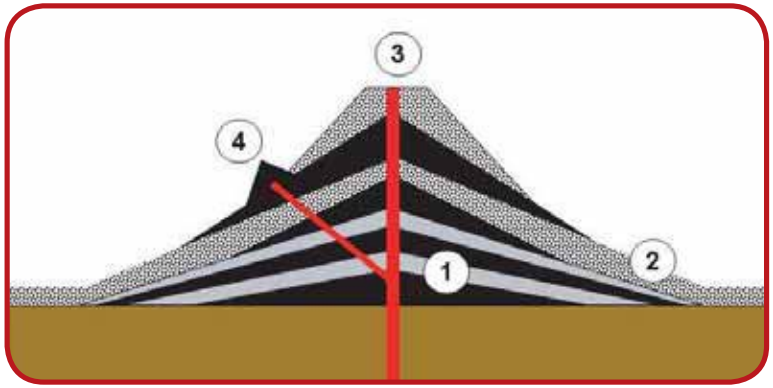


Figura 36. Formación de un estratovolcán: 1 coladas lávicas, 2 depósitos piroclásticos, 3 cráter principal, 4 cono adventicio.

Volcán Teide, Tenerife (Islas Canarias). Foto R. Ortiz.

Colapso

Un fenómeno muy peligroso es el colapso del edificio volcánico, formado por la acumulación de los materiales de sucesivas erupciones sin cohesión entre ellos. La superposición de materiales duros y blandos da lugar a una estructura que, en algunos casos, puede resultar inestable y producir el colapso de una parte del edifico; las capas de materiales blandos y el agua pueden facilitar el movimiento del conjunto. También, la intrusión de un gran volumen de magma en el edificio volcánico puede desestabilizarlo y producir su colapso, como ocurrió en el volcán St. Helens (USA) en 1980.

Calderas

El término caldera es de carácter morfológico y se aplica a relieves en forma de caldero. Actualmente en volcanología se utiliza para caracterizar las estructuras de colapso, formadas después de la salida rápida de un gran volumen de magma que vacía total o parcialmente la cámara magmática, provocando el hun-

dimiento de la estructura que hay encima (Fig. 37). Este colapso reactiva el dinamismo volcánico, generando fases de alta explosividad. El resultado final es una depresión, generalmente de dimensiones kilométricas, con paredes verticales formadas principalmente por los materiales emitidos en esa etapa. Las Cañadas del Teide (Canarias, España), Santorini (Grecia), Campos Flegreos (Italia) y Furnas (Azores, Portugal), son magníficos ejemplos de este proceso.

En el cráter de algunos volcanes se forma un lago de lava que, al vaciarse por disminución de la presión del magma o derrame lávico, da origen a estructuras de tipo caldera. El volcán Masaya en Nicaragua puede servir de ejemplo de este proceso.

Los maares, producidos en explosiones freáticas presentan también el aspecto de una pequeña caldera

Lago de lava en cráter del volcán Masaya (Nicaragua). Foto R. Ortiz.

Caldera de las Cañadas del Teide, (Tenerife, Islas Canarias). Foto V. Araña.

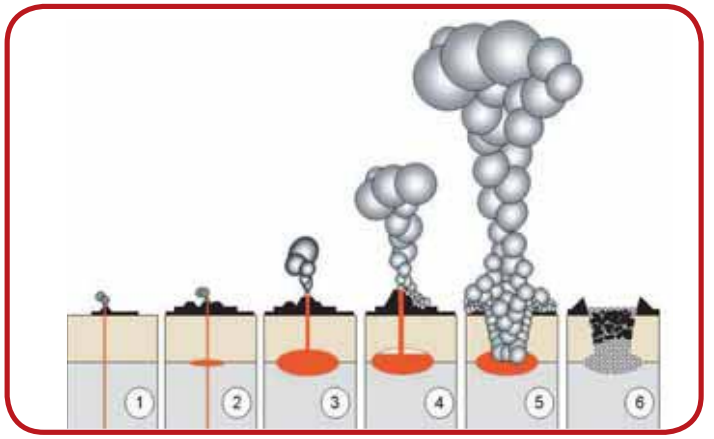


Figura 37. Proceso de formación de una caldera de colapso. Se inicia con una sucesión de erupciones basálticas (1), creándose una incipiente cámara magmática (2), que sigue creciendo y donde se producen procesos de evolución magmática (3), en sucesivas erupciones va aumentando la explosividad y el vaciado de la cámara (4) hasta que el peso de material acumulado, la fracturación del edificio y el vaciado de la cámara conducen al colapso de la estructura en una violenta explosión (5) dando origen a una caldera (6).

II. *Riesgos* volcánicos

Volcán Tungurahua (Ecuador), en la erupción de agosto de 2003. Fotot R. Ortiz.

El riesgo volcánico es un concepto que gradualmente se va teniendo en cuenta, especialmente debido a las últimas erupciones catastróficas ocurridas con pérdida de vidas humanas y al impacto y difusión que éstas han tenido en los medios de comunicación. Paralelamente, también destaca la labor de concienciación y divulgación que se ha estado llevando a cabo por diversos organismos oficiales de todo el mundo, mediante la puesta en marcha de diversas iniciativas. Entre ellas, debemos hacer especial mención al programa *Década para la Mitigación de los Desastres Naturales* 1990-2000, declarado por Naciones Unidas después del desastre provocado por la erupción del Nevado de Ruiz en Colombia en 1985. Así, podríamos decir que en los últimos años se está impulsando una cultura para la mitigación de los desastres naturales a partir de diversas líneas de actuación: desarrollo de metodologías para la estimación objetiva del riesgo, divulgación científica a diversos niveles, programas educativos, etc.

2.1 Conceptos básicos

Riesgo

Desde el punto de vista de la metodología actual, un error frecuente que se da en el análisis del riesgo volcánico es asociarlo al riesgo sísmico (Fig. 38), cuando sólo tienen en común ser los desastres naturales más espectaculares pertenecientes a la actividad interna del planeta. Una diferencia esencial que se da entre ambos radica en que mientras que el riesgo sísmico representa un peligro único

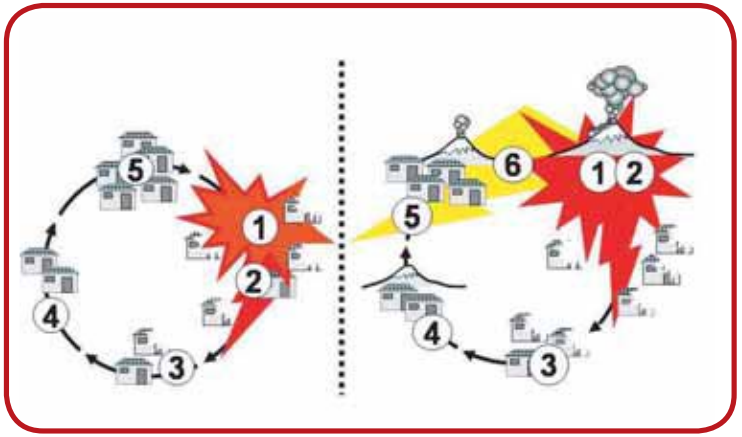


Figura 38. Ciclo de desastre sísmico y volcánico: 1 impacto (terremoto o erupción), 2 socorro por parte de la Protección Civil, 3 reconstrucción, 4 obras de mitigación ante el próximo evento, 5 preparación y educación, 6 crisis volcánica antes de la erupción que puede prolongarse varios años.

(el terremoto) y casi instantáneo, la erupción volcánica puede prolongarse durante meses y los factores de peligro que posee son

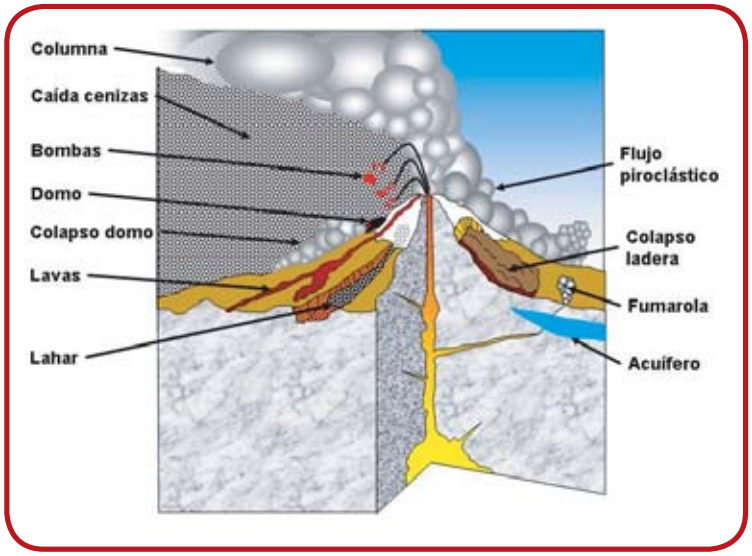


Figura 39. La figura muestra un resumen de los principales peligros volcánicos.

múltiples (Fig. 39): coladas lávicas, flujos de piroclastos y caída de cenizas, lahares y avalanchas, gases, sismos volcánicos, tsunamis, anomalías térmicas, deformaciones del terreno, etc.

El riesgo podría definirse como la expectación de que ciertos eventos produzcan un impacto negativo sobre los elementos antrópicos expuestos de un área; por tanto, si el hombre o sus infraestructuras no están presentes, no habría riesgo. Este análisis se realiza a partir del estudio de even-

tos ocurridos en el pasado y extrapolados al periodo actual, siendo los intereses económicos el parámetro utilizado para cuantificar el riesgo final. De acuerdo con los conocimientos actuales, el problema del análisis del riesgo se enmarca en un ámbito probabilístico que debe unirse al estudio determinista del fenómeno. Así, el riesgo tendrá siempre un valor numérico (monetario o en número de víctimas) que podrá calcularse a partir de las fórmulas empleadas según la metodología seguida y su cuantificación viene determinada por el cálculo previo de la peligrosidad, vulnerabilidad y exposición, siendo el primero el resultado del producto de los tres finales (Fig. 40).

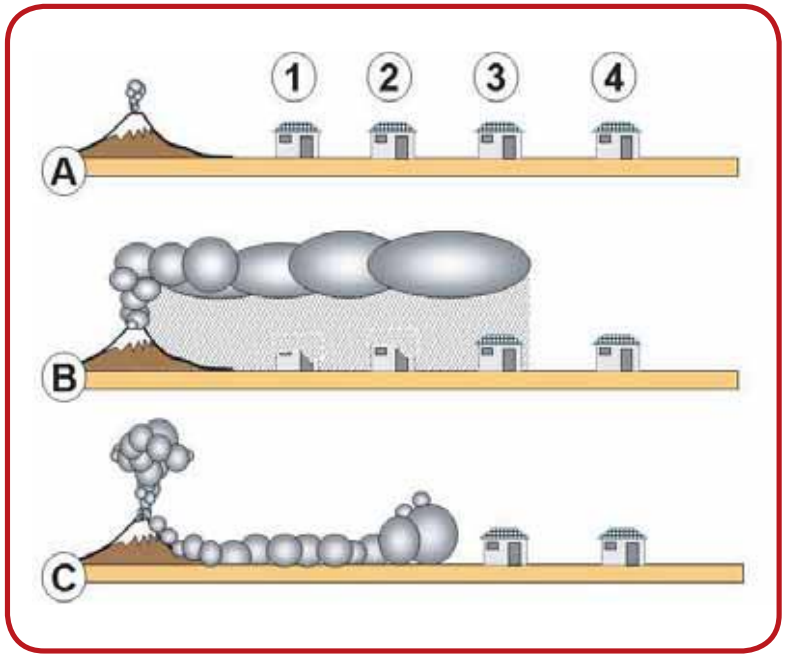


Figura 40. Concepto de riesgo volcánico. La peligrosidad es la probabilidad de que un punto sea afectado por el fenómeno. La exposición son los bienes que hay en cada punto. La vulnerabilidad es el % de daños que produce el evento. En A se presenta un ejemplo con cuatro casas próximas a un volcán explosivo. Ante una caída de cenizas (B) se tienen daños del 60% en (1), del 20% en (2) y 1% en (3). Para un flujo piroclástico (C) tenemos 100% de daños en 1 y 2

Riesgo = *peligrosidad * vulnerabilidad * exposición*

Peligrosidad

La peligrosidad puede definirse como la probabilidad de que un lugar, en un intervalo de tiempo determinado, sea afectado por un evento peligroso.

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 este motivo, la historia eruptiva de un volcán es un factor importante a la hora de determinar su peligrosidad volcánica, al permitirnos definir de forma aproximada su estado actual o más reciente y prever su comportamiento en el futuro (Fig. 41).

Los mapas de peligro expresan el grado de probabilidad de que uno de los fenómenos volcánicos (coladas de lava, caída de piroclastos, lahares, etc.) afecte un lugar concreto en un

determinado intervalo de tiempo. Cuando estos mapas se hacen para una amplia zona (isla o municipio) y un intervalo de tiempo de 100 años, la información obtenida se utiliza como base para los Planes Generales de Ordenación del Territorio.

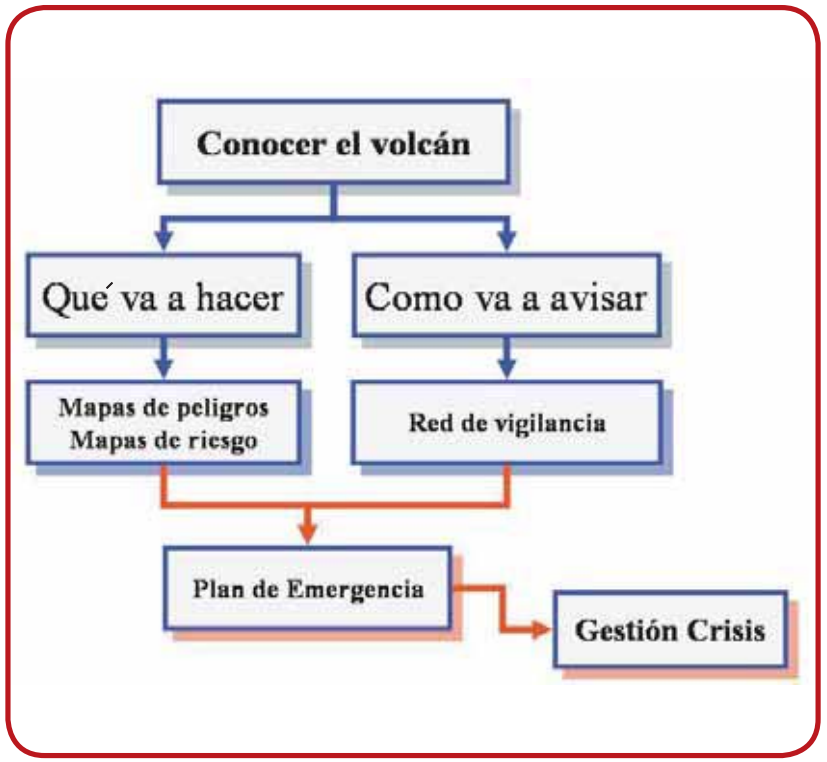


Figura 41. El diagrama muestra los pasos necesarios que deben realizase para la adecuada gestión de una crisis volcánica.

Exposición

Representa el valor de los bienes sujetos a posibles pérdidas, siendo su valor cero cuando no hay ningún bien presente en el área afectada por un fenómeno natural.

Gaetano Calvi: Erupción del Vesubio de 9 de febrero de 1850. Original en el Museo N. Ciencias Naturales. CSIC. Madrid.

Vulnerabilidad

Es el porcentaje esperado de daño (pérdida) que van a sufrir los bienes expuestos si ocurre el evento y 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% ó 55% del total.

No sólo las vidas humanas son los elementos de riesgo, ya que nuestra sociedad posee y depende de estructuras básicas muy vulnerables, como son los sistemas de comunicación o las redes de distribución de agua y energía. Además, la complejidad de la sociedad tecnológica actual hace que sea mucho más vulnerable que las sociedades primitivas de subsistencia.

Teniendo en cuenta lo anterior, el daño causado por 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 origen de peligro, de la topografía, del viento y de otras variables meteorológicas, de la vulnerabilidad y finalmente de todas aquellas medidas que se hayan tomado por parte del hombre para mitigar en lo posible el riesgo (alarmas, sistemas de vigilancia, planes de evacuación, etc.).

Mapas de riesgo volcánico

El mapa de riesgo volcánico (Fig. 42) es la representación espacial de las pérdidas económicas esperadas por la actividad volcánica; se elabora a partir del mapa de peligrosidad incorporando la información económica y las vulnerabilidades asociadas a cada peligro. En base a esta información se pueden establecer medidas encaminadas a mitigar ese impacto.

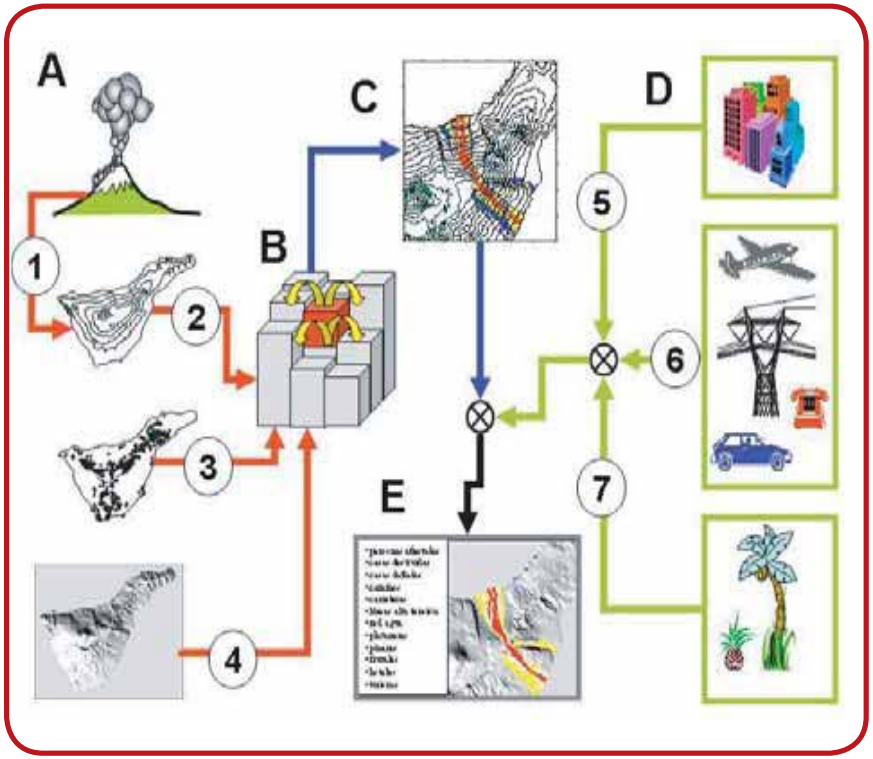


Figura 42. Confección de un mapa de riesgo volcánico. Se empieza (A) por seleccionar el tipo de erupción (1), su localización (2), la probabilidad de que ocurra (3) y la topografía de la zona (4). Con ello se construye un modelo o simulación B que proporciona el mapa de peligros C al que se incorpora la información económica D como exposición y vulnerabilidad (5, 6, 7) y se obtiene el mapa de riesgo E.

2.2 Peligrosidad volcánica

Como ya se ha expuesto anteriormente, 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 las que tenemos noticias.

Se observa, en líneas generales, que las pérdidas en vidas humanas han ocurrido por efectos indirectos (tsunamis, lahares, pérdida de cosechas, etc.) o por una mala gestión de la crisis, pues un volcán no pasa inmediatamente del más absoluto reposo a la más violenta actividad; todas las grandes erupciones vienen precedidas de actividad menor y con la suficiente antelación para tomar las medidas de evacuación de las poblaciones próximas.

La mayor parte de los eventos volcánicos sólo afectan a las proximidades del volcán, como la caída de bombas y las nubes de gases tóxicos, o bien presentan una movilidad baja, como las lavas. Incluso los grandes efectos del volcanismo explosivo están limitados a un entorno de pocos kilómetros, excepto la caída de cenizas arrastradas por el viento a grandes distancias. 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.

El estudio de la peligrosidad volcánica exige dividir cada uno de los episodios volcánicos en elementos muy sencillos que se evalúan independientemente.

Vaciado de uno de los muertos encontrados en Pompeya a causa de la erupción del Vesubio del año 79. Foto R. Ortiz.

TABLA 3. FACTORES DE PELIGRO Y TIPO DE DAÑO

Factores de peligro	Tipo de daño
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

2.3 *Periodos* de Retorno

El Periodo de Retorno para un volcán es el tiempo estimado para que ocurra una nueva erupción (Fig. 43). Este concepto probabilístico es similar a la esperanza de vida para el ser humano en una determinada sociedad.

Una erupción es la culminación de un largo proceso que se inicia con la generación de magmas, su ascenso, su posible almacenamiento en cámaras magmáticas y su salida a la superficie. Todo este mecanismo es claramente repetitivo, de tal forma que los tiempos entre erupciones se repiten de forma

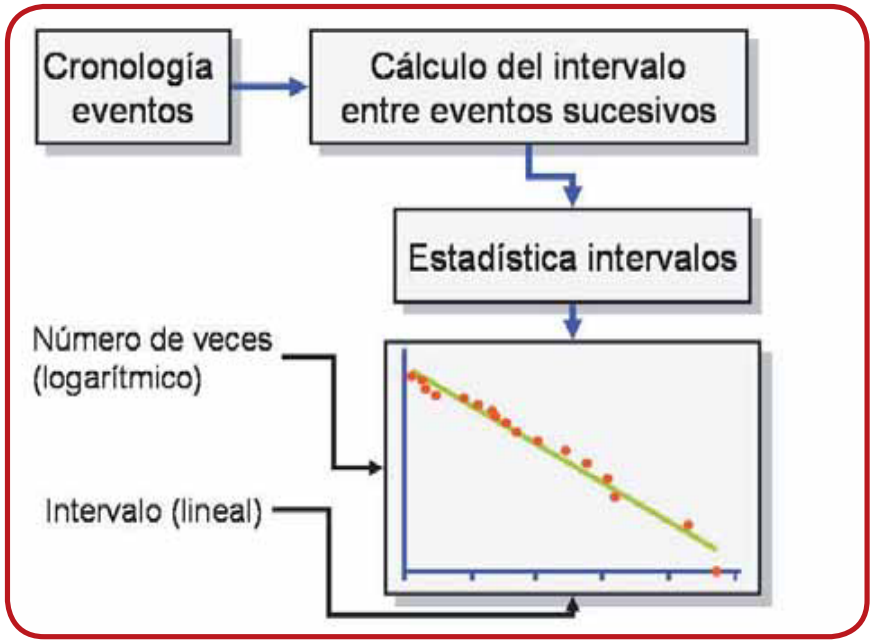


Figura 43. El periodo de retorno se calcula a partir de la cronología de las erupciones del mismo tipo que hayan ocurrido en la zona, se calculan los intervalos entre erupciones y se representa el número de veces que se ha superado cada intervalo sin erupción.

casi constante, pero con las lógicas fluctuaciones derivadas de su propia complejidad. Así, cuando en una región han ocurrido un número elevado de erupciones y están bien datadas, es posible calcular el periodo de retorno mediante métodos estadísticos. En general, las erupciones muy violentas tienen periodos de retorno de varios miles de años, mientras que las erupciones menos explosivas son más frecuentes, con periodos de pocas decenas de años.

En Canarias hay muy pocas erupciones bien datadas históricamente mediante crónicas, por lo que sólo es posible estimar un periodo de retorno medio para todo el archipiélago y para erupciones de tipo efusivo con grado de explosividad bajo. Otro problema que se plantea es la valoración que se haga al comparar diferentes episodios eruptivos en los que la duración y magnitud varían considerablemente; por ejemplo, la erupción de Timanfaya en 1730 (Lanzarote), duró seis años mientras que la del Teneguía en 1971 (La Palma), duró menos de un mes.

2.4 *Percepción* del riesgo

En la introducción, el concepto de riesgo se ha presentado como la expectación de que ciertos eventos produzcan un impacto negativo; ahora trataremos de considerar esta expectación desde el punto de vista del individuo y la sociedad en la que vive.

La palabra expectación hace referencia al conocimiento que el individuo tiene del peligro que lo amenaza, la posibilidad de que ocurra y que le afecte.

El hombre, en función de sus necesidades, está dispuesto a asumir un determinado nivel de riesgo a cambio de los beneficios inmediatos que obtenga; por ejemplo, ocupar áreas próximas a los volcanes para aprovechar la alta productividad de los suelos. Según el grado

Puente provisional para cruzar el corte producido en la carretera por un lahar del volcán Tungurahua (Ecuador). Foto R. Ortiz.

de desarrollo de la sociedad, esta percepción del riesgo variará sustancialmente, tendiendo a aumentar con el bienestar social. Asimismo, en todas las civilizaciones, a través de la Historia, vemos como la percepción del riesgo está determinada en función de los intereses políticos y económicos. Actualmente se utilizan los medios de comunicación para transmitir esta percepción a la población.

Ante los episodios volcánicos con un largo periodo de retorno, tendemos a disminuir nuestra percepción del riesgo, ya que la escala humana de tiempo (la vida media es de 80 años) es muy breve en relación a la dinámica de la Tierra; si viviéramos 1000 años, las erupciones y los terremotos serían tan familiares como las lluvias. La tradición oral permitía a las sociedades tener conocimiento de aquellos fenómenos que les habían afectado en épocas pasadas, manteniendo viva la percepción del riesgo durante miles de años. En la actualidad, el carácter globalizador de los medios de comunicación, permite la rápida difusión de las noticias sobre los desastres naturales, pero el elevado volumen de información hace olvidarlas y despersonalizarlas rápidamente. Esta disminución de la percepción del riesgo en la sociedad la hace más vulnerable.

2.5 *Vigilancia* de volcanes

Precursores de una erupción

Para que un volcán entre en erupción es necesaria una condición imprescindible, **debe existir magma;** si en el sistema no hay magma susceptible de salir es imposible que se produzca una erupción (Fig. 44). Partiendo de este principio, si somos capaces de conocer cuales son las propiedades físicas de este magma (si se mueve, si cambian las condiciones a las que está

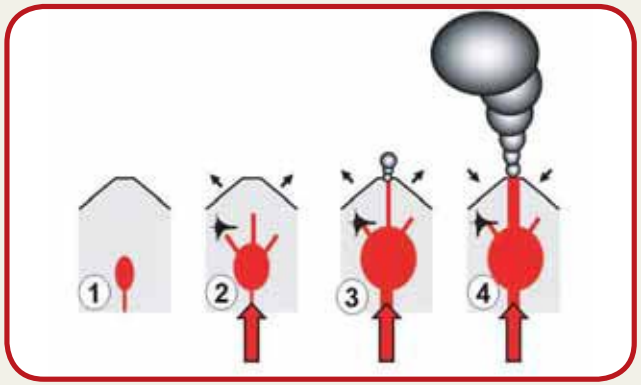


Figura 44. El proceso de inyección y ascenso del magma hasta la superficie es el fundamento de la vigilancia de volcanes. 1 Sistema magmático en reposo, 2 una inyección de nuevo magma produce fracturación (sismos) y deformación, 3 aumenta la inyección, el magma asciende, provoca mayor deformación, más sismos y aparecen los primeros gases, 4 se abren los conductos y se inicia la erupción, la deformación disminuye y continúan los sismos.

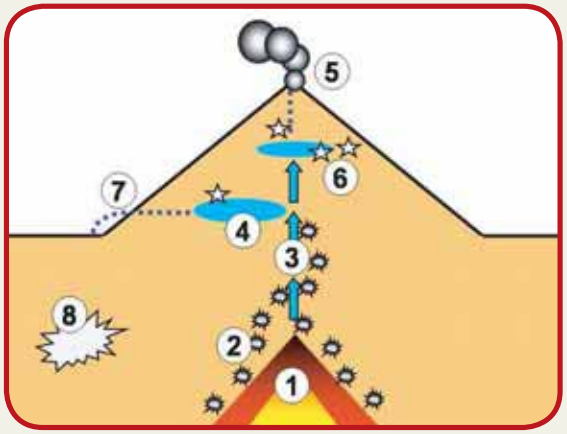


Figura 45. Fenómenos presentes en un volcán activo. 1 sistema magmático. 2 pequeños sismos rodeando el magma. 3 fractura por las que asciende gas. 4 acuíferos geotérmicos. 5 fumarolas. 6 temblores volcánicos. 7 fuentes termales. 8 sismos regionales.

sometido y si ello facilita su salida a la superficie), podremos establecer cuando y cómo será la futura erupción del volcán. El ascenso del magma está condicionado por su viscosidad, por ello es un proceso muy lento, incluso los magmas muy fluidos (basálticos) necesitan más de dos días para alcanzar la superficie desde las zonas de almacenamiento situadas en la base de la corteza. No se conoce ningún volcán que haya pasado de un estado de reposo al de erupción violenta de forma repentina. Aunque en muchos casos, la falta de vigilancia, la ignorancia asumida, o la dejadez ante el evidente incremento de las manifestaciones externas, haya provocado un desastre.

La (Fig. 45) muestra un esquema de la estructura interna de un volcán activo, así como los distintos fenómenos que en él tienen lugar. Hay algunos signos de la actividad volcánica que son apreciables a simple vista: aparición de nuevas fumarolas o cambios en las existentes, variaciones en las propiedades de las aguas termales, en la distribución y temperaturas de los suelos calientes o la apertura de fracturas. Otros fenómenos, como la actividad sísmica o la deformación, requieren el empleo de instrumentos muy sensibles, pues cuando son sentidos directamente por la población podríamos encontrarnos en una fase ya muy avanzada del proceso. El conocimiento que hoy tenemos de los volcanes hace prácticamente imposible que entren en erupción sin que sus signos premonitores hayan sido percibidos, aunque para ello, haya que contar con un mínimo de instrumentación situada sobre el volcán y, especialmente, con

un equipo científico y técnico que analice periódicamente los datos y garantice su correcta interpretación.

En general, cuando el volcán está en reposo la mayor parte de la actividad se debe a la circulación de los gases a través del sistema de fracturas. Estos gases se mezclan con las aguas meteóricas, originando acuíferos geotérmicos más o menos desarrollados, fumarolas, fuentes termales y suelos calientes. La circulación de estos fluidos y especialmente los cambios de fase (líquido–vapor), provocan la aparición de pequeños eventos sísmicos característicos que se conocen como temblores volcánicos (tremor). Los cambios de presión, la inyección o el movimiento del magma generan series de eventos sísmicos, deformaciones en el edificio volcánico, aumento de la temperatura de los acuíferos y cambios en la composición química de los gases. La dificultad radica en poder detectar estos fenómenos, identificar sus causas, establecer los pronósticos de evolución y con toda esta información poder manejar el semáforo del volcán.

Análisis de aguas en la laguna del cráter del volcán Chichón, Chiapas (Méjico). Foto R. Ortiz.

El semáforo de un volcán

Supongamos un volcán adecuadamente instrumentado y bajo continua vigilancia por un equipo científico y técnico. El problema consiste en cuantificar la actividad del volcán en cada momento, y de que modo se puede transmitir esta información de manera clara y precisa a la población y autoridades. Tras diversos ensayos de múltiples y complejas escalas se ha llegado a la conclusión de que la forma más adecuada se reduce a la adopción de un simple semáforo con tres niveles: verde, amarillo y rojo (Fig. 46).

Esto se debe a dos motivos: todo el mundo está familiarizado con el semáforo de tres colores y además la complejidad de una

erupción volcánica no permite gestionar en la práctica más niveles (Fig. 47).

El semáforo del volcán permite definir en cada momento como deben actuar los equipos técnicos que intervienen en la gestión de la crisis volcánica, así como las comunicaciones que deben establecerse con los estamentos de la Protección Civil. Para uso exclusivamente interno de los diferentes grupos que intervienen, en el seguimiento de la actividad volcánica, y sin trascender a la población, se utilizan otros niveles para cada color.

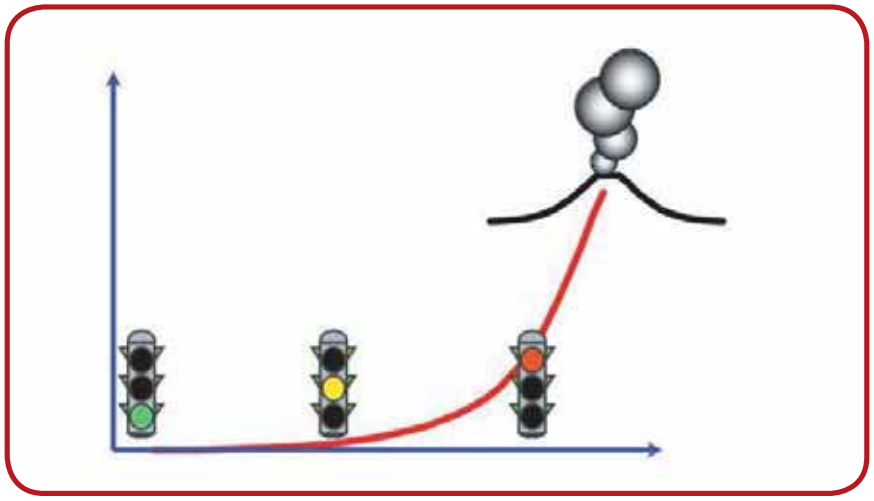


Figura 46. Los indicadores de los cambios en la actividad del volcán (deformación, sísmica, gases, etc.) se aceleran inmediatamente antes de la erupción. Este fenómeno permite controlar el semáforo del volcán.

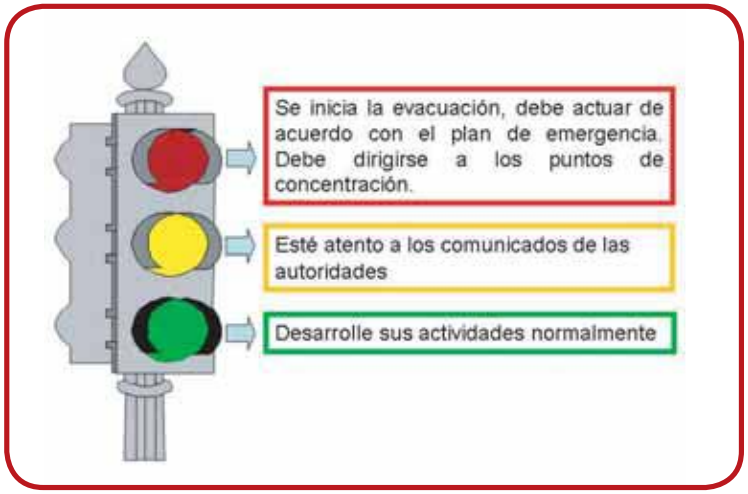


Figura 47. El semáforo es un sistema de comunicación fácilmente comprensible por la población.

Semáforo de Alerta Volcánica, situado al lado de la carretera, volcán Popocatepelt (Méjico). Foto R. Ortiz.

TABLA 4. NIVELES DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

N	Semáforo	Definición	Actuación	Comunicaciones
0	Verde	Estado normal de la actividad	Rutina	Reuniones periódicas de los grupos científicos para análisis de datos y elaboración de boletines/informes anuales
1	Verde	Señales anómalas	Revisión de los instrumentos. Comprobación de los eventos	Consultas entre especialistas implicados
2	Verde	Continúan las señales anómalas	Despliegue instrumentación suplementaria - Declaración, si procede, del paso a semáforo amarillo para su comunicación a las autoridades de Protección Civil. Designación de un Portavoz científico único	Reuniones de especialistas y responsables de los grupos científicos para el seguimiento y evaluación de las anomalías
3	Amarillo	Incremento de la anomalía o aparición de otros indicadores	Despliegue instrumentación de crisis. Delimitación geográfica del espacio potencialmente afectado - Solicitar la Convocatoria del "Comité de Evaluación y Seguimiento de los fenómenos volcánicos" para declarar, si procediera, el paso a semáforo rojo	Comunicación permanente del Portavoz Científico con la autoridad responsable de Protección Civil Reunión de especialistas y responsables de los grupos científicos para el seguimiento y evaluación de las anomalías
4	Rojo	Aceleración de la actividad y/o evidencia de presencia de magma	Se espera el inicio de una erupción	Comunicaciones en el marco del "Comité de Evaluación y Seguimiento..." ampliado en su caso con otros especialistas
5	Rojo	Erupción	Seguimiento del proceso eruptivo	Ruedas de Prensa diarias del Portavoz Científico y los especialistas que se designen

NOTA: Los niveles 0, 1 y 2 pertenecen únicamente al ámbito científico. Aunque la comunicación oficial a Protección Civil se produce al pasar del nivel 2 al 3, conviene realizar una comunicación personal al equipo técnico de Protección Civil cuando se alcanza el nivel 2.

Tan importante es establecer claramente la escala ascendente (inicio de una crisis volcánica) como la descendente (vuelta a la normalidad). Este concepto de semáforo, nacido originariamente para la gestión científica de una crisis volcánica, se puede aplicar también para la gestión de la emergencia, por ejemplo, para la evacuación de las poblaciones situadas en las proximidades del volcán.

Sistemas de vigilancia volcánica

Una erupción es un proceso en el cual se libera la energía contenida en el magma a la superficie de la Tierra, ya sea en la atmósfera o en el mar. En un volcán activo, aún en fase de reposo, se producen múltiples procesos asociados al movimiento de los fluidos magmáticos en el sistema o al reajuste del edificio volcánico. Muchos de estos procesos involucran niveles muy pequeños de energía, siendo muy difícil detectarlos así como identificar sus causas, establecer los pronósticos de evolución y con toda esta información poder gestionar el semáforo del volcán.

En la actualidad, la vigilancia de volcanes se hace midiendo instrumentalmente la actividad sísmica, deformación, emisión de gases y temperaturas anómalas, complementado con la información obtenida a través de la observación directa por el hombre.

Observación directa

Desde los inicios de la Historia tenemos constancia de la observación de los fenómenos volcánicos, recogidos en textos clásicos; por ejemplo la erupción de Santorini (Grecia) y la evacuación anticipada de Pompeya y Herculano (Italia). Los fenómenos fácilmente observables son: ruidos, leves movimientos sísmicos, aparición de fumarolas, contaminación de aguas con gases volcánicos (acidez y olor a huevos podridos), variación del nivel de los pozos de agua, etc.

Vigilancia sísmica

El seguimiento de la actividad sísmica es la más antigua de las técnicas de vigilancia de volcanes, desarrollándose ya a finales del siglo XVIII los primeros instrumentos para el estudio de los temblores del Vesubio.

La instrumentación de cualquier volcán comienza con la instalación de un sismómetro, añadiéndose otras técnicas de vigilancia a medida que las posibilidades económicas lo permiten. Del centenar escaso de volcanes instrumentados que existen hoy, sólo unos pocos cuentan con algo más que no sea vigilancia sísmica; esto se debe al mayor desarrollo que presenta la sismología en todas las Universidades y Centros de Investigación, al menor coste aparente de la instrumentación sísmica y a la mayor facilidad para realizar un análisis elemental de los datos obtenidos. Además,

Colocación de una estación sísmica en la base del volcán Villarrica (Chile). Foto A. Llinares.

al existir más volcanes con instrumentación sísmica, nos encontramos con mayor abundancia de datos y con buenos ejemplos de cómo ha evolucionado la sismicidad antes, durante y después de una erupción.

La actividad sísmica presente en un volcán activo es difícil de clasificar y depende de cada escuela. En general, esta actividad incluso en periodos de reposo, puede ser muy intensa, con una gran cantidad de eventos de poca magnitud (menores de 2 en la escala de Richter) que suelen presentarse en grupos o enjambres (Fig. 48), además de los sismos tectónicos que ocurren en la zona.

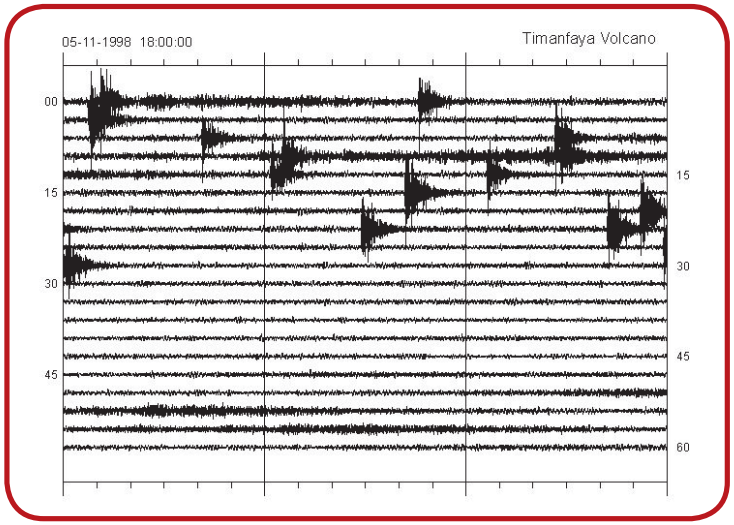
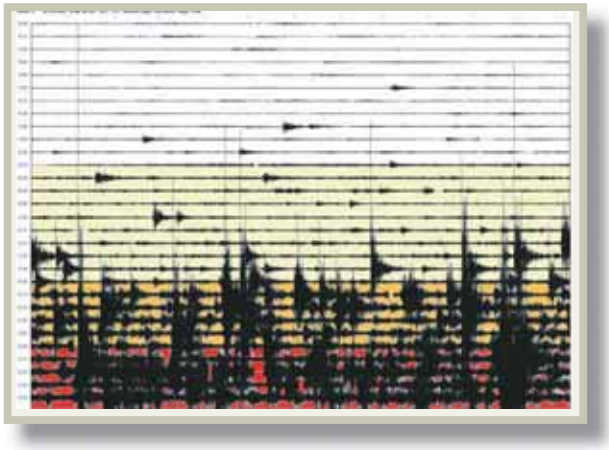


Figura 48. Una hora de registro sísmico en el volcán Timanfaya (Lanzarote). En ella se aprecia un enjambre de sismos volcánicos ocurrido el 5 de noviembre de 1998.



Incremento de actividad sísmica en el volcán Etna al inicio de la erupción de 2002. INGV Italia.

El aumento de la actividad del volcán lleva asociado un incremento de la sismicidad. Estos eventos sísmicos son de pequeña magnitud debido a la escasa energía disponible que puede liberarse como energía sísmica. La fase gaseosa genera leves movimientos sísmicos que son superficiales y sólo pueden ser registrados por estaciones muy próximas. Las explosiones que acompañan a las erupciones también producen un tipo de evento sísmico muy característico, aunque de poca energía. El estudio de las explosiones se realiza combinando un sismómetro con un micrófono, de forma que se pueda separar la onda que llega por el terreno, de la onda sonora que viaja por el aire.

Deformación

El control de la deformación es otra de las técnicas de vigilancia de volcanes más extendidas y eficaces. Es especialmente útil en volcanes donde las características del magma puedan provocar grandes deformaciones del edifico. Un magma muy fluido puede moverse fácilmente por fracturas de pocos centímetros de anchura, produciendo una deformación mínima salvo en los casos donde interviene un gran volumen de magma que provocaría deformaciones apreciables. Por el contrario, un magma viscoso deberá abrir conductos muy amplios, incluso de cientos de metros para poder moverse y las deformaciones serán enormes. Hay que tener presente que la deformación varía con la distancia y sólo muy cerca del centro de emisión alcanza valores importantes.

Medida de la deformación mediante un distanciómetro en el Etna (Italia). Foto R. Ortiz.

Las técnicas para la medida de la deformación utilizan aparatos como el teodolito, nivel, distanciómetro, inclinómetro e imágenes satelitales. El principal problema reside en la dificultad de diferenciar los efectos superficiales producidos por el hielo, agua, viento, vegetación, de los generados por la actividad volcánica a mayor profundidad.

Gases

Las técnicas actuales de vigilancia geoquímica de los volcanes parten de considerar que las emisiones gaseosas están en equili-

Fumarola y depósitos de azufre en Vulcano (Islas Eoleas, Italia). Foto R. Ortiz.

Fuerte emisión fumaroliana en el volcán mejicano Fuego de Colima. Foto R. Ortiz.

brio cuando el volcán se encuentra en reposo. Cuando el sistema volcánico evoluciona, se produce un desequilibrio más o menos fuerte en la composición de los gases y este desequilibrio es el indicador de la actividad. Los gases procedentes del magma circulan por el sistema de fracturas, interaccionando con los distintos acuíferos y saliendo a la superficie en forma de fumarolas o de fuentes termales. El SO_2 y el CO_2 se consideran los componentes más significativos de la presencia de magma. Para obtener información completa sobre la composición del gas volcánico, la única forma consiste en realizar un muestreo directo de las fumarolas, analizándose posteriormente en el laboratorio mediante las técnicas químicas habituales. Esto se debe, fundamentalmente, a que los gases se disipan rápidamente y son fácilmente contaminables, además de salir a elevada temperatura y ser corrosivos, imposibilitando con ello la instalación de sensores de forma permanente. No obstante, se han desarrollado instrumentos que permiten medir gases concretos (CO_2 y SO_2) a distancia de forma automatizada y que son especialmente útiles en las fases de reposo o preeruptiva. Otra técnica consiste en analizar los gases disueltos en las aguas procedentes del volcán, tanto superficiales como de acuíferos.

Otras técnicas

El seguimiento de las nubes de cenizas es otro tema que se está estudiando intensamente por su relevancia en la seguridad del

tráfico aéreo debido al parecido que tienen estas nubes con las meteorológicas y que los sistemas de radar no son capaces de discriminar adecuadamente.

La combinación en tiempo real de información meteorológica y volcanológica permite para algunos volcanes con pautas repetitivas, desarrollar sistemas para la alerta automática de la presencia de cenizas en la atmósfera. Igualmente, para volcanes en crisis o aquellos que presentan actividad persistente es importante contar con un sistema de cámaras que permita la vigilancia visual de forma remota (Fig. 49); para poder obtener imágenes nocturnas se está ensayando la utilización de cámaras infrarrojas.

En la actualidad se están desarrollando técnicas con sensores remotos desde satélites y aviones, aplicadas a la cartografía de las formaciones volcánicas, la medida de temperaturas, el control de la deformación y el seguimiento de plumas volcánicas, entre otras.

Figura 49. Vigilancia visual de volcanes. Una cámara de vídeo conectada a un computador permite obtener automáticamente imágenes de la actividad del volcán. En general, es suficiente con una imagen cada diez segundos. Se utilizan modos de baja resolución para facilitar la transmisión y almacenamiento de la información. Explosión en el volcán mexicano Colima. (Cortesía Observatorio Volcán de Colima. Universidad de Colima, México).

III. *Protección* ante erupciones volcánicas

Cuerpos de emergencia en la erupción del volcán Reventador (Ecuador). Foto A. García. I. Geofísico, Ecuador.

La erupción volcánica puede prolongarse durante meses y los factores de peligro que posee son múltiples: coladas lávicas, flujos de piroclastos y caída de cenizas, lahares y avalanchas, gases, sismos volcánicos, tsunamis, anomalías térmicas, deformaciones del terreno, etc. Además, un volcán puede presentar fenómenos perceptibles por la población con mucha antelación (incluso durante años) al inicio de una erupción. A todo este periodo se le denomina crisis volcánica, siendo la erupción el final del proceso.

En términos generales, los peligros volcánicos de lavas, flujos piroclásticos, colapsos de ladera y lahares, conducen a la destrucción total de las infraestructuras que encuentran a su paso, de forma que, para salvar la vida de las personas, se debe proceder a la evacuación preventiva de la población de las probables zonas afectadas. Otros peligros volcánicos, como por ejemplo las cenizas, presentan una incidencia variable en función de la distancia al centro emisor y de otros parámetros como el viento.

Si se va a permanecer en una zona de peligro moderado deben seguirse las recomendaciones de las autoridades, y siempre con su autorización expresa. Será necesario adoptar algunas precauciones, por ejemplo el uso del casco, dado que el impacto en la cabeza de una pequeña bomba puede resultar mortal, la mascarilla, que evita inhalar las partículas de cenizas y los gases que

contienen, máscaras autónomas antigás con filtros para gases ácidos y extremar las precauciones al circular por zonas cubiertas de materiales volcánicos recientes.

3.1 Predicción de erupciones

El objetivo de la predicción es determinar con anticipación el lugar y momento del inicio de una erupción y sus características. Su finalidad es prevenir a la población y tomar con anticipación las medidas tendentes a reducir la pérdida de vidas y a mitigar los daños.

En la actualidad, la predicción volcánica alcanza un alto nivel de fiabilidad siempre que se disponga de la instrumentación adecuada y del equipo científico necesario (Fig. 50). Es imprescindible que la población conozca el medio natural (volcánico) en el que vive, tenga percepción del riesgo y asuma las medidas de autoprotección necesarias. Como ejemplo podemos citar la catástrofe ocurrida en el pueblo de Armero (Colombia), que fue arrasado por un lahar provocado por la erupción del volcán Nevado de Ruiz (1985): a pesar de que hubo vigilancia, mapas de riesgo, predicción y orden de evacuación, la población no respondió por desconocimiento de la magnitud real del fenómeno del que se le alertaba.

3.2 La prevención ante erupciones volcánicas

La prevención volcánica se define como el conjunto de medidas adoptadas con el objetivo de reducir el riesgo volcánico e implica actuar antes de que ocurra una erupción y durante el desarrollo de la misma. Cualquier medida de prevención exige un conocimiento previo de los procesos volcánicos y los peligros derivados, en función de las características particulares de cada área volcánica.

Nuestro país tiene un área de actividad volcánica importante, localizada en la Comunidad Autónoma de Canarias; el volcán Teide (Tenerife, Islas Canarias) fue seleccionado, junto a 15 volcanes de todo el Mundo, por Naciones Unidas como volcán laboratorio para el Programa de Riesgo Volcánico de la Década Internacional para la Mitigación de los Desastres Naturales (1990-2000). Este hecho nos indica que el Teide está considerado por la comunidad internacional como un volcán de alto riesgo. El archipiélago canario es de origen volcánico y las erupciones se han ido sucediendo durante más de 20 millones de años; esta actividad continúa en la actualidad y la última erupción ocurrida fue la del volcán Teneguía (Fuencaliente, La Palma), en octubre de 1971.

Cuando se vive en un área volcánica activa es necesario el desarrollo de medidas de prevención centradas en los siguientes ámbitos:

- Conocimiento de la actividad volcánica
- Sistema permanente de vigilancia
- Ordenación de usos y gestión del territorio
- Planificación ante emergencias
- Educación y divulgación

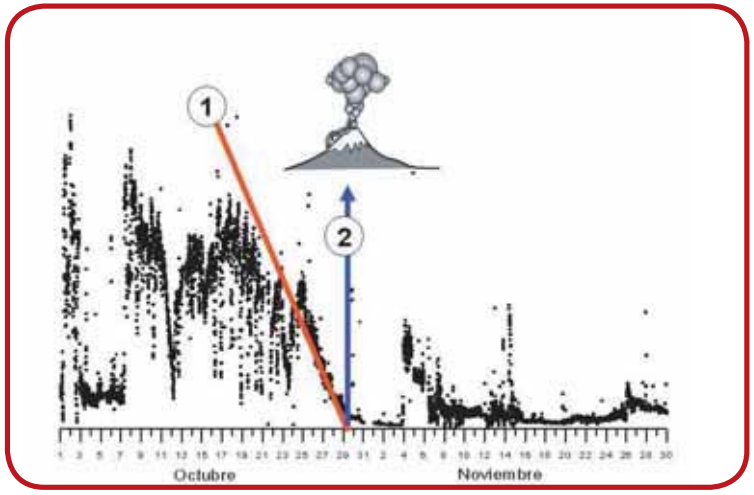


Figura 50. La figura muestra el pronóstico de una explosión en el volcán Villarrica (Chile) a partir del inverso de la amplitud de la señal sísmica. El punto de corte de la extrapolación (1) de los tramos descendentes indica el momento del inicio de la erupción (2).

Conocimiento de la actividad volcánica

El conocimiento de la actividad volcánica de la zona permite determinar las características de las erupciones futuras. Para ello, se estudian las erupciones ocurridas en el pasado desde una óptica multidisciplinar (geología, geofísica, geomorfología, historia, etc.), que nos proporcionan la base del conocimiento sobre el estado actual del volcán y su comportamiento futuro. Con esta información se elaboran los mapas de peligrosidad y riesgo, que incluyen diferentes parámetros y que tienen en cuenta la probabilidad de que ocurra un fenómeno y los daños que puede ocasionar.

Sistema permanente de vigilancia

El sistema de vigilancia será el adecuado a las características de la actividad volcánica presente en la zona, incorporando nuevos instrumentos y técnicas en función del incremento de la actividad y del riesgo. Debe determinar el nivel de actividad del volcán para permitir a las autoridades la gestión de la crisis e informar a la población a través de los diferentes niveles del semáforo.

Estación automática del ITER para la medida de la emisión difusa de gases en el Teide. Foto R. Ortiz.

Ordenación de usos y gestión del territorio

En función de la información proporcionada por los mapas de peligro volcánico se planifica el uso y gestión del territorio, con el fin de mitigar el impacto que pueda provocar la erupción. Estos mapas de peligro deben ser elaborados con anterioridad a los Planes de Ordenación del Territorio para que realmente sean efectivos y adecuados a las características del medio natural en el que se desarrollan.

Planificación ante emergencias

Además de las medidas ya enumeradas, existe también una planificación de Protección Civil ante emergencias producidas por erupciones volcánicas basada en la legislación vigente. Esta planificación constituye una estrategia global de preparación ante catástrofes en las que se incluyen:

- Redacción de planes de actuación
- Organización de medios
- Coordinación de emergencias

La planificación ante una emergencia por erupción volcánica se actualiza a partir de la información aportada por el sistema de vigilancia y los mapas de riesgo establecidos para la actividad que presenta el volcán (Fig. 51). Para la planificación de la emergencia es muy útil construir el árbol de evolución del volcán, donde se contemplan todas las posibilidades que pueden presentarse, con la probabilidad de que ocurran y sus interrelaciones. La implementación del semáforo del volcán es la mejor opción para la comunicación entre los distintos estamentos involucrados y la población.

Es norma habitual utilizar las escuelas como centros de acogida de evacuados por desastres naturales, sin embargo en el caso

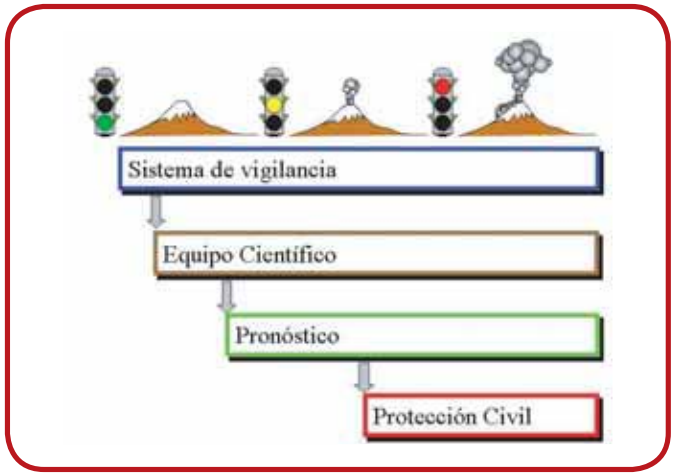


Figura 51. La planificación de la emergencia volcánica implica la existencia de un sistema de vigilancia y un pronóstico sobre la evolución del volcán.

Señalización de puntos de reunión para la gestión de una posible evacuación. Volcán Popocatepelt (Méjico). Foto R. Ortiz.

de las crisis volcánicas en las que se evacua durante un largo periodo o repetidamente, esta medida ha demostrado ser totalmente perjudicial al dejar sin escuelas a la población receptora, por lo que las comunidades deben prestar su colaboración para poner a disposición de la Protección Civil otros lugares de acogida que ocasionen menos problemas.

Según la norma general, en el Sistema de Protección Civil Español, salvo para el caso de emergencias nucleares y situaciones bélicas, la competencia de dirección y coordinación de las operaciones de emergencia corresponde, inicialmente, a la autoridad municipal y, cuando las características de la situación desbordan las posibilidades de ésta, a la autoridad de la Comunidad Autónoma correspondiente. El Ministro del Interior, cuando la emergencia reviste una especial extensión y gravedad, puede declarar la emergencia de interés nacional, pasando entonces la dirección y coordinación de las actuaciones a una autoridad estatal.

Educación y divulgación

Es muy importante que la población, cuerpos de emergencia y seguridad y organismos locales reciban una información precisa sobre los fenómenos volcánicos y las medidas de prevención existentes: de poco sirve un plan de emergencia si éste no se conoce y no es asumido por la población; muchos de los desastres ocurridos se han debido a la falta de conocimiento sobre los fenómenos

que los han desencadenado o a la falta de fluidez de las comunicaciones.

La mitigación del riesgo empieza por la educación de la población (Fig. 52). Los programas educativos dirigidos a cualquier grupo de

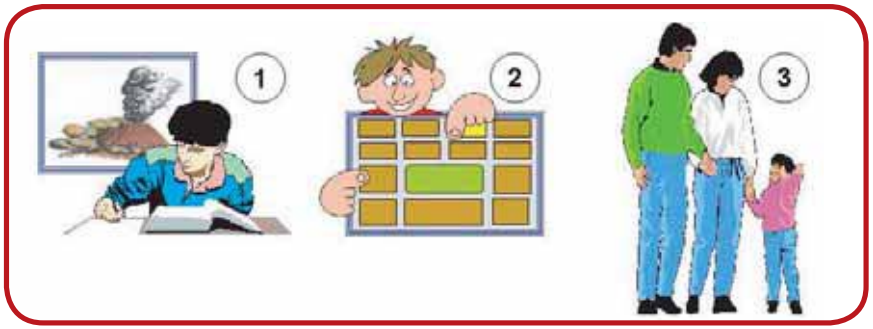


Figura 52. 1 conocer el territorio donde se vive, 2 conocer el plan de emergencia, 3 preparar un plan de emergencia familiar.

edad, deben tener como objetivo principal que la población conozca su territorio, asimile sus peculiaridades físicas y los riesgos inherentes a él y desarrolle técnicas de autoprotección. Todo ello dentro de un marco en el que se mantengan ausentes los sensacionalismos y las situaciones de alarma injustificadas, pero en el que quede bien claro que una erupción puede llegar a ser catastrófica si no se gestiona adecuadamente y se toman las medidas necesarias para la protección de la población. Así mismo, es conveniente desterrar la idea de que el conocimiento del riesgo volcánico supone un impedimento al desarrollo económico de la región.

Alumnos trabajando el tema del volcanismo submarino y el origen de las islas. Programa educativo Canarias Tierra Viva. Foto A. Llinares.

IV. *Medidas* de autoprotección

Podemos definir un desastre como un evento concentrado en tiempo y espacio, en el que la población, o parte de ella, sufre un daño grave y pérdidas para sus miembros, de manera que la estructura social se desajusta, imposibilitando el desarrollo normal de la convivencia y las actividades cotidianas. En los desastres naturales, que afectan a un número muy elevado de personas, es necesario que la población sepa adoptar las primeras medidas de protección de su vida y de sus propiedades, pues la ayuda institucional puede tardar en llegar en función de la magnitud del desastre. Así pues, las medidas de autoprotección son todas aquellas acciones que adopta un individuo para asegurar su propia vida hasta que llegue la ayuda exterior.

El problema más frecuente que se presenta con respecto al comportamiento individual, o comunitario, de la población ante los desastres, es la falta de preparación para afrontarlos en sus tres momentos básicos: antes, durante y después.

- **Antes:** Porque generalmente las personas no consideran la posibilidad de que algún desastre pueda ocurrir o afectarles, sobre todo, si el último ocurrió hace mucho tiempo, razón por la cual no se preparan material ni psicológicamente para enfrentarlos. Esta es la etapa más importante: la prevención.

- **Durante:** Porque en muchos casos, el miedo y la confusión del momento no hacen posible que la persona tome la mejor decisión para actuar en consecuencia y proteger su vida y la de su familia.
- **Después:** Porque la visión de desorden y desequilibrio que puede presentarse a su alrededor, junto a su desgaste emocional y físico, puede llevar a la persona a realizar acciones en su perjuicio, tales como ingerir agua contaminada, encender fuego sin comprobar que no haya fugas de gas y otras actividades que podrían ocasionar nuevos desastres.

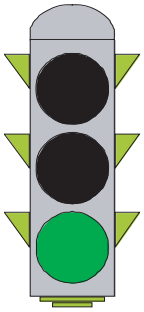
Las personas, familias y comunidades que se han preparado, pueden actuar de manera efectiva para protegerse y, de ser posible, participar en las tareas comunitarias de prevención y auxilio. Las medidas de autoprotección que se recomiendan sirven para salvar la vida, pero deben aplicarse no de forma mecánica e irreflexiva sino manteniendo la calma y actuando con prontitud.

El *semáforo del volcán* es el mecanismo mediante el cual las autoridades responsables informan sobre los diferentes niveles de peligro que presenta la actividad volcánica. El color verde indica que se pueden desarrollar las actividades cotidianas con normalidad. El color amarillo significa que se debe estar alerta y pendiente de lo que digan las autoridades y sobre todo seguir las indicaciones que den. El color rojo es la señal de alarma e indica que la población deberá actuar, con serenidad y rapidez, conforme a las medidas establecidas en los planes de emergencia para su localidad.

Imagen nocturna de la erupción de 1985 de un cono adventicio del volcán Niragongo (Congo). Foto R. Ortiz.

4.1 Antes de la erupción: Semáforo verde

Una persona puede disminuir los riesgos a que están expuestos ella y su familia, aprendiendo qué hacer en caso de erupción volcánica. Esta preparación hay que hacerla mientras el volcán está en reposo e implica dos aspectos:

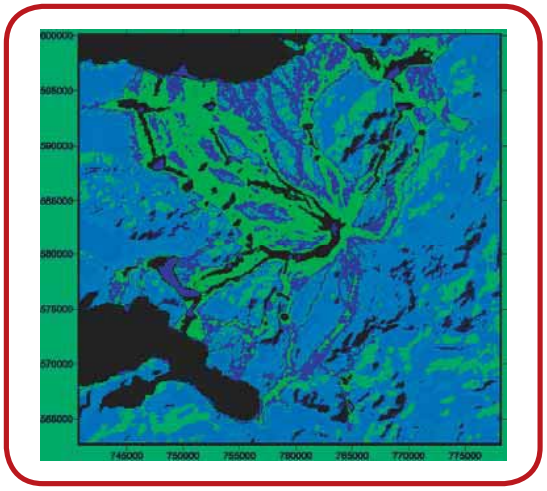


- Preparación psicológica (saber qué hacer y cómo afrontar psicológicamente).
- Preparación material (planes, equipos y provisiones).

Este periodo previo, en que el semáforo está en verde es el más extenso, que puede prolongarse durante años y en el que deberemos prepararnos para que la futura erupción no se convierta en un desastre.

Conocer el territorio en el que se vive

- Aunque haya vivido siempre en un territorio con volcanes, no debe confiarse; recuerde que una erupción puede suceder en cualquier momento y en cualquier lugar. Las señales precursoras no son siempre claramente interpretadas por la población.
- Antes de una erupción volcánica, se produce un aumento gradual de la actividad, que puede prolongarse durante mucho tiempo y ser percibida por la población, por lo que debe mantener la calma y estar atento a las informaciones que emitan las autoridades.
- Debe conocer la red de comunicaciones del entorno en el que reside, desde las vías principales hasta los caminos secundarios, y los tiempos de recorrido hasta el punto de reunión para una evacuación, que le hayan asignado en el Plan de Emergencia de su localidad.
- Debe saber si existen instituciones de emergencia (cruz roja, bomberos, protección civil, centros médicos, etc.) y donde están localizadas.
- Debe tener identificados aquellos elementos que, combinados con la actividad del volcán, puedan convertirse en peligrosos (depósitos de combustible, de gas, líneas de alta tensión, etc.).
- Si observa cualquier cambio (ruido, gases, cenizas, cambio en el nivel de agua de los pozos, pequeños temblores del suelo, etc.), debe comunicarlo a las autoridades.



Mapa de peligrosidad del volcán Villarrica (Chile) para flujos gravitacionales. H. Moreno OVDAS (Chile) y R. Ortiz CSIC (España).

Conocer los peligros volcánicos a los que se está expuesto

En el capítulo 1 se presentan los procesos y productos volcánicos que dan lugar a los peligros a que se está expuesto.

- Los sismos en un área volcánica pueden alcanzar suficiente intensidad para producir caída de objetos y pequeños daños en las viviendas. Debemos asegurar todos aquellos muebles y enseres susceptibles de caer, especialmente los situados en las cabeceras de las camas. Asegure los anclajes o sujeciones de los depósitos de agua para evitar su rotura.
- Las erupciones pueden producir caída de piroclastos; los de mayor tamaño caen relativamente cerca del centro emisor (bombas volcánicas), los más pequeños pueden caer a varios kilómetros y producir daños en las personas, techos y cristales de las viviendas.
- La caída de ceniza puede afectar, en función de los vientos, a zonas muy alejadas del volcán, acumulándose en las terrazas, campos de cultivo, caminos o cualquier superficie expuesta, convirtiéndose en un riesgo para las viviendas y la circulación de vehículos. *Recuerde que estas zonas pueden seguir desarrollando su vida normal, con el semáforo en verde y sin embargo verse afectadas por la caída de cenizas.*

Caída de una bomba en el aparcamiento turístico del volcán Masaya (Nicaragua). Foto INETER. Nicaragua.

- Se recomienda no salir de casa innecesariamente y lavar con agua potable todos los alimentos que vaya a consumir, especialmente las frutas y verduras. Si necesita conducir debe tener en cuenta que la ceniza puede disminuir la visibilidad y hacer que la carretera esté extremadamente resbaladiza.
- La ceniza es muy abrasiva, por lo que debe cambiar frecuentemente los filtros de los motores de los vehículos y proteger la vivienda sellando ranuras de puertas y ventanas para evitar su entrada, pues dañaría los electrodomésticos más utilizados y las llaves del gas. También es muy *densa* y pesa mucho, especialmente si está húmeda, y su acumulación en los tejados puede provocar su hundimien-

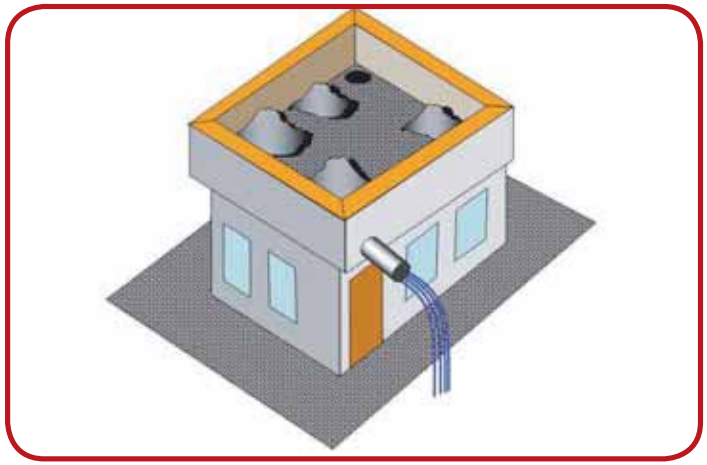


Figura 53. La acumulación de cenizas en los techos debe retirarse antes de producir el colapso del tejado. Hay que evitar que obstruya los sistemas de desagüe, por lo que deben cerrarse e instalar canalones auxiliares.

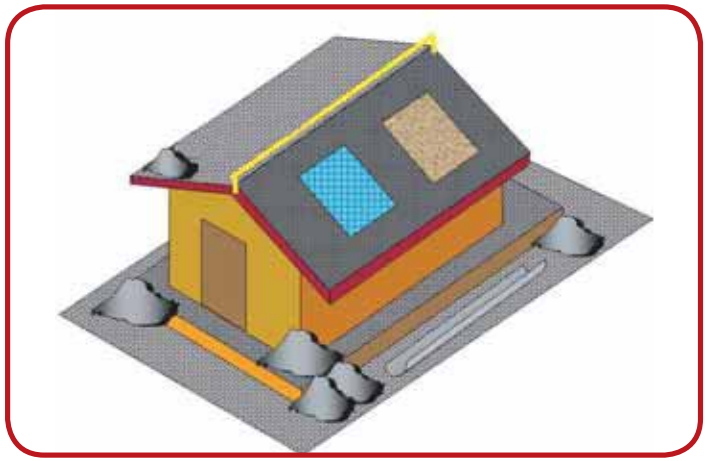


Figura 54. Al retirar la ceniza de los tejados deben extremarse las precauciones, pues es muy resbaladiza. Hay que trabajar con una cuerda de seguridad para evitar caídas. Proteja claraboyas y ventanas.

to (Fig. 53); por ello, debe retirarla frecuentemente e impedir que se acumule, evitando que se introduzca en las canalizaciones de desagüe y las obstruya (Fig. 54).

- Las cenizas pueden llevar gases peligrosos como el flúor, por ello, es conveniente el uso de mascarillas para no aspirarlas y gafas cerradas para evitar el contacto con los ojos; en caso de no disponer de este material debe protegerse la nariz y boca con un paño húmedo. Estos mismos gases se mezclan con el aire dando lugar a una serie de ácidos que son arrastrados por el rocío o la lluvia, generando *lluvia ácida* (Fig. 55) que provoca dolor de cabeza, asfixia, vómitos e irritaciones de ojos y piel, además de dañar las cosechas y las estructuras metálicas.
- Los flujos que proceden del volcán (coladas de lavas, flujos piroclásticos y lahares) presentan peculiaridades propias en función de sus características y de la tasa de emisión y están condicionados por la topografía, por lo que debe evitar circular por los cauces de barrancos o partes bajas próximas al volcán.
- Recuerde que las formas volcánicas son muy inestables, por lo que pueden producirse deslizamientos o colapsos que movilizan gran cantidad de material que se desplaza gravitacionalmente, arrastrando todo lo que encuentra en su camino. Si llega al mar puede provocar un tsunami, por lo que debe tener en cuenta esta posibilidad, evitar las zonas bajas y estar atento a la información que proporcionen las autoridades.

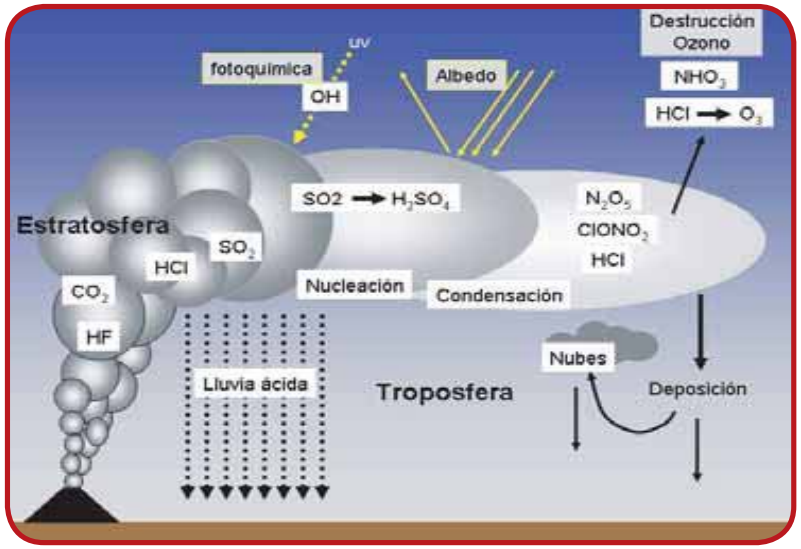


Figura 55. La columna eruptiva es la responsable de múltiples fenómenos que afectan a la vida sobre la Tierra, al reaccionar los gases que contiene bajo la fuerte acción de la radiación ultravioleta en la estratosfera. El más conocido es la lluvia ácida que está producida por la disolución de los gases de la pluma volcánica en agua y su posterior caída.

Conocer el Plan de Emergencia establecido por las autoridades

El Plan de Emergencia, entre otras cosas, especifica las medidas a adoptar en función de la actividad del volcán; como caso extremo figura la *evacuación de la zona,* indicando para ello las rutas de salida los puntos de concentración y los medios de transporte a utilizar si fuera necesario.

- Debe recordar que su domicilio y toda su familia debe estar registrada y actualizada en los archivos municipales para que las autoridades tengan constancia del número total de personas que residen en un área y puedan elaborar correctamente el Plan de Emergencia Local.
- Debe asistir a las reuniones informativas que organicen Protección Civil o las Autoridades de su localidad, y sobre todo participar en los ejercicios y simulacros que se realicen.

La señalización se establece con antelación al inicio de la crisis volcánica.

- Es necesario conocer el Plan de Emergencia con antelación, estar informado en todo momento de los posibles cambios que se realicen y memorizar los puntos de reunión y mecanismos de alerta.
- Informarse cómo puede colaborar con los equipos de Protección Civil, si tiene interés en ayudar al presentarse una situación de emergencia.

Conocer el Plan de Emergencia del Centro Escolar

Todos los Centros Escolares deben contar con un Plan de Emergencia y unas medidas de evacuación. En él se definen los controles y medidas de seguridad que con carácter obligatorio deben regir en los centros escolares. Entre otras cosas, debe contener las instrucciones para la realización, de forma periódica y sistemática, de ejercicios de evacuación en simulación de las condiciones de emergencia de diverso tipo.

En la actualidad, en la mayoría de los Centros, los Planes de Emergencia no contemplan el riesgo volcánico, ya que por las características de este tipo de fenómeno natural es previsible el cierre del Centro Educativo, antes de que sea afectado por el peligro volcánico y haga necesaria su evacuación. Sin embargo, es importante que los alumnos tomen conciencia de los peligros volcánicos y la necesidad de evacuar las posibles zonas afectadas en un determinado supuesto; para ello, los Planes de Evacuación deben ser valorados y asumidos por toda la comunidad educativa y puestos en práctica al menos dos veces durante el Curso Escolar, de acuerdo con la normativa vigente en cada Comunidad Autónoma.

Tener un Plan de Emergencia Familiar

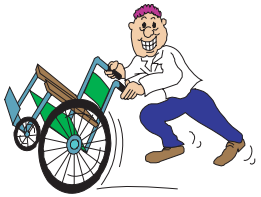
Es mejor prevenir y no es necesario ser especialistas para estar preparados ante una emergencia; sólo se necesita estar informados y bien organizados. Por ello, las familias deben tener un plan que les permita responder a cualquier emergencia que se produzca en el hogar o en su entorno, (por ejemplo incendio, inundación, terremoto, huracanes, erupción volcá-

nica, etc.). Además, es conveniente hacer participar a los más pequeños para que sepan por qué se hace, aprendan qué deben hacer y colaboren con los adultos.

- Hay que decidir de forma clara y concreta que función desempeña cada miembro de la familia durante una emergencia, teniendo en cuenta que ésta puede suceder estando en casa o lejos de ella.
- Todos los miembros de la familia deben conocer la ubicación de la vivienda, sus características y mantenimiento (cañerías, desagües, etc.), sobre todo cerrar las llaves de paso de electricidad, agua y gas.
- Es necesario que todos los miembros de la familia conozcan el Plan de Emergencia preparado por las Autoridades y especialmente el punto de reunión y lugar de concentración asignado en caso de evacuación.
- Es conveniente tener a mano una cartera con las pertenencias y documentos más importantes. Se recomienda, si es posible, tener copias en casa de algún otro familiar que resida en un lugar distinto; esto evita posteriores problemas de pérdida de documentos personales o de la propiedad.

- Debe asegurarse que toda la familia conoce el nombre, la dirección y el teléfono de una persona de contacto (familiar o amigo) que resida en un lugar distinto y alejado al suyo, pues en caso de evacuación pueden quedar separados e incomunicados entre sí.
- Elabore una tarjeta, con los datos personales y teléfonos de contacto para los miembros más pequeños de la familia, que pueda colocarse en lugar visible. Así se evitarán posibles separaciones involuntarias.

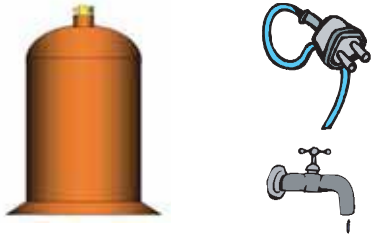
- Establecerá un **Plan de Reencuentro Familiar** para cualquier emergencia, así como una coordinación con la escuela a la que asistan sus hijos. En cualquier momento los miembros de la familia deben saber qué medidas adoptar y quien se encarga de recoger a los más pequeños.
- Recuerde que si en la familia hay niños pequeños, ancianos o alguna persona con dificultades de movilidad, necesitará más tiempo para la evacuación.



- Es conveniente tener un duplicado de las llaves de la casa y el automóvil al lado de la puerta de salida de la vivienda.

- Debe tener preparado una serie de artículos básicos que servirán en el caso de que una situación de emergencia altere sus condiciones normales de vida: botiquín de primeros auxilios junto a las medicinas que de forma habi-

tual tome algún miembro de la familia, comida y agua de reserva, receptor de radio, linterna, velas, pilas de recambio, mechero y cerillas, abrelatas, artículos de higiene, agenda con los teléfonos de contacto y servicios de emergencias.



- Compruebe periódicamente el estado de su vivienda, especialmente el suministro de agua, llaves del gas, sistema eléctrico, desagües y posible acumulación de cenizas en tejados y terrazas. Proteja cuidadosamente los depósitos de agua para evitar su contaminación.
- Aplique las normas de seguridad que han sido definidas en el Plan de Emergencia Local y no haga caso de rumores cuya fuente desconoce. Cuando se trata de una verdadera emergencia, Protección Civil y las Autoridades encargadas de la gestión de la crisis son las responsables de transmitir y difundir la información necesaria; si tiene alguna duda acuda a las Autoridades Municipales.
- Debe recordar y concienciar a su familia las normas básicas de comportamiento ciudadano: no correr, no gritar, no empujar. Muéstrese siempre solidario con la gente que le rodea.

Hacer un simulacro con la familia

Un simulacro nos permite estar bien entrenados para actuar correctamente ante una emergencia y facilita la comprensión y aplicación a los más pequeños. Una ventaja adicional es que fomenta la *Cultura de Protección Civil* entre los miembros de la familia y de la comunidad. Los pasos a realizar en un simulacro para casos de desastres son los siguientes:

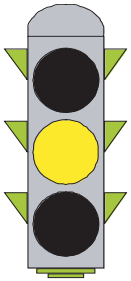
- Imaginar algunas situaciones de emergencia probables en su vivienda y su localidad.
- Asignar responsabilidades a cada uno de los miembros de la familia.

Volcán Llaima (Chile). Foto A. Llinares.

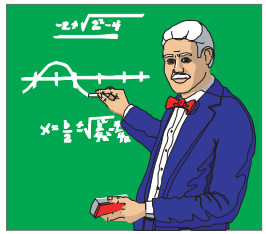
- Emitir la señal de alarma (voz, campana, etc.) para iniciar el simulacro.
- Interrumpir inmediatamente las actividades y actuar según el plan previsto.
  - Cerrar las llaves de paso de electricidad, agua y gas.
  - Recorrer las rutas correspondientes.
  - Conducirse con orden: no correr, no gritar, no empujar.
  - Llegar al punto de reunión convenido.
  - Revisar que nadie falte y que todos se encuentren bien.
  - Evaluar los resultados, ajustar tiempos, movimientos y corregir errores.

4.2 *Semáforo* en Amarillo

El semáforo en amarillo indica la posibilidad de que el volcán pueda afectarnos y significa que debemos estar alerta y pendientes de lo que digan las Autoridades a través de los conductos establecidos y, sobre todo, seguir las indicaciones que den.



- Continuar con las actividades normales, manteniéndose permanentemente informado.



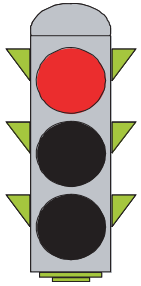
- No se deje llevar por falsos rumores de personas no autorizadas.
- Revisar y poner a punto el Plan de Emergencia Familiar en todas y cada una de sus partes.
- Si en la familia hay ancianos, enfermos, minusválidos, embarazadas o con cualquier otro problema de movilidad o de salud, debe comunicarlo inmediatamente a las autoridades que gestionen el Plan de Emergencia Local.
- Si el Plan de Emergencia Local contempla la evacuación del área en la que vive y usted puede alojarse con algún familiar o en una segunda residencia, debe informar a las autoridades.
- Renovar la serie de artículos básicos que servirán en el caso de que la situación de emergencia altere sus condiciones normales de vida: botiquín de primeros auxilios junto a las medicinas que de forma habitual tome algún miembro de la familia, comida y agua de reserva, receptor de radio, linterna, velas,

pilas de recambio, mechero y cerillas, abrelatas, artículos de higiene, agenda con los teléfonos de contacto y servicios de emergencias.

- Si posee ganado o cualquier tipo de animales, debe consultar con las Autoridades o Protección Civil que hacer con ellos en caso de evacuación.

- No debe olvidarse que el comportamiento de los animales de compañía se puede volver agresivo o defensivo. Si por motivos de la catástrofe hay que evacuar y alojarse en un albergue, no está permitido, como norma general, la entrada de animales por lo que hay que dejarles una ración de reserva de comida y agua para varios días.

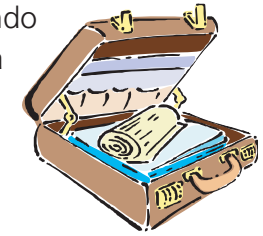
4.3 *Semáforo* en Rojo



Cuando Protección Civil o las Autoridades correspondientes dan la señal de evacuación, es *porque se considera indispensable hacerlo para proteger su vida y la de su familia.* Siga entonces sus instrucciones y mantenga la calma, pero asegúrese que sus familiares están presentes en el punto acordado o sitio de reunión para iniciar la evacuación. No pierda tiempo tratando de llevar pertenencias o animales que sólo dificultan la evacuación.

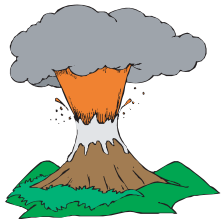
- Recuerde la norma fundamental: **no corra, no grite, no empuje.**
- Conservar la calma, reunir a la familia, ponerles la identificación a los más pequeños y seguir los pasos del Plan de Emergencia Familiar y Local.

- Al evacuar, debe cuidar que puertas y ventanas queden cerradas y señalizar que se trata de un domicilio evacuado (cuando no queda nadie en su interior), siguiendo las indicaciones del Plan de Emergencia Local.
- Ir inmediatamente a los centros de reunión, llevando sólo lo indispensable.



- Si de acuerdo con el Plan de Emergencia Local debe evacuar por sus propios medios, no dude en hacerlo y diríjase al refugio temporal que le hayan asignado.
- Al llegar al refugio temporal, deberá registrarse e instalarse en el lugar que le indiquen.
- Si requiere atención médica, contacte el personal sanitario que actúa integrado con los equipos de emergencia.
- En el refugio temporal muéstrese solidario y colabore en lo que se le pida.
- Si no puede localizar el centro de reunión o no se presenta el medio de transporte para evacuar, aléjese del volcán, evitando circular por barrancos y vaguadas hasta un lugar seguro.
- No se deje llevar por falsos rumores de personas no autorizadas.
- Recuerde que las líneas telefónicas pueden estar saturadas o fuera de servicio y en cualquier caso conviene dejarlas libres para las llamadas de emergencia. No utilice el teléfono si no es estrictamente necesario y no confíe en la telefonía móvil porque es muy vulnerable a los peligros volcánicos.

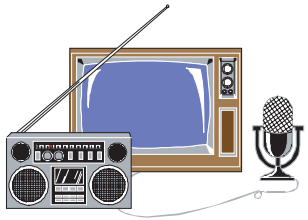
- Hay que tener en cuenta que una erupción volcánica no es un espectáculo exento de riesgos, incluso las erupciones más tranquilas pueden desencadenar fenómenos capaces de ocasionar muertes a kilómetros de distancia. Sólo en condiciones muy favorables es posible contemplar la actividad del volcán, manteniéndose siempre dentro de los límites de seguridad marcados por las autoridades.
- Si ha sido evacuado, no trate de volver a su residencia habitual antes de que las autoridades lo permitan. Recuerde que la actividad volcánica puede durar mucho tiempo y presentar diferentes fases eruptivas, por lo que las evacuaciones pueden repetirse o prolongarse durante cierto tiempo.



Flujo piroclástico originado por el colapso de una colada lávica en el acantilado. Volcán Teneguía 1971, La Palma, Canarias. Foto V. Araña.

4.4 Retorno a la normalidad

- Sólo las Autoridades serán las responsables de comunicar el regreso a las viviendas.
- Antes de entrar a su vivienda, compruebe en qué condiciones se encuentra, si hay ceniza en el techo quítela y si detecta cualquier anomalía y tiene dudas consulte a los cuerpos de emergencia.
- Compruebe antes de su utilización, las instalaciones de gas, agua, electricidad, y limpie cuidadosamente todos los electrodomésticos.
- No debe tomar alimentos o bebidas que puedan estar contaminados.
- En el periodo posterior a su regreso, manténgase atento a la información proporcionada por las Autoridades y al semáforo; la erupción puede continuar sin un riesgo inmediato para su vida.



- Colabore con los cuerpos de Protección Civil y otros organismos en la ayuda a los demás miembros de la comunidad que lo necesiten, con el fin de recuperar lo más rápidamente posible la normalidad.
- Continuar toda la familia con las actividades cotidianas.

Núcleo turístico de Pucón, a la falda del volcán Villarrica (Chile). Foto R. Ortiz.

V. *Orientaciones* pedagógicas

Alumnos de Enseñanza Secundaria en las Cañadas del Teide, Tenerife (Islas Canarias). Foto A. Llinares.

La educación, por su influencia en la formación de las personas, permite que éstas puedan prepararse para percibir, interpretar y reaccionar positivamente ante los desastres. Además, promueve la comprensión de la importancia de participar efectivamente en los planes y actividades de la comunidad, previas a la ocurrencia de un desastre y no solamente, como sucede en la mayoría de los casos, que la participación se da cuando el evento y sus consecuencias se han consumado; de ahí el poco orden y los errores a la hora de solucionar los problemas que se presentan.

También la educación facilita la posibilidad de formar una persona capaz de enfrentar sus propias emergencias y de integrarse eficazmente en las estructuras locales de emergencia, para apoyar el desarrollo de los programas vinculados con las diversas etapas que componen el *ciclo de los desastres.*

El centro educativo es un medio que permite la sistematización de la enseñanza y el aprendizaje de los escolares. La edad de los niños y los jóvenes es propicia para asimilar, con mayor posibilidad de éxito, nuevas formas de percibir los desastres y lograr la formación de actitudes y conductas más adecuadas para enfrentarlos. Esta función educativa está reconocida tanto por los organismos nacionales como por los internacionales, orientando sus esfuerzos hacia la preparación y educación de las futuras generaciones de adultos.

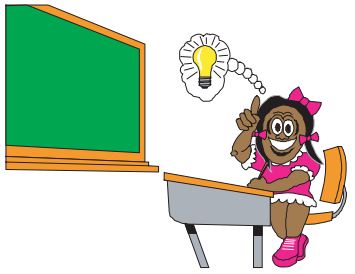
5.1 *El volcanismo,* un fenómeno natural

El profesor debe presentar la actividad volcánica como un fenómeno natural, tan normal como cualquier otro de los que se producen en la Naturaleza. El hombre comprende y acepta mucho mejor los fenómenos más frecuentes como la lluvia, la nieve, el viento, etc. que el volcanismo, con un mayor intervalo temporal de ocurrencia. Como ejemplo podemos referirnos al periodo de vida de una mariposa o mosca, de unos pocos días, en los que probablemente ni siquiera ve llover. El hombre, durante su vida, es posible que tampoco llegue a conocer ciertos fenómenos naturales que ocurren cada cientos o miles de años. Cada volcán tiene su propio ciclo eruptivo, no actúa cuando quiere sino que responde a una serie de pautas definidas con una evolución continuada.

Es necesario modificar el concepto, muy arraigado, de que *un volcán es una catástrofe* y empezar a comprender y asimilar que *el volcán es fuente de recursos* que renueva periódicamente mediante erupciones. Esto explica por qué la gente, desde hace miles de años, ha vivido en áreas volcánicas, dada la riqueza que posee de buenos suelos para la agricultura, minería, turismo, etc. Sin embargo, en los momentos de actividad debemos respetar el fenómeno y comprender que nuestra presencia supone un peligro para nuestra propia vida. Una vez finalizada la erupción podremos volver a disfrutar durante años de los beneficios que nos aporta.

Hay peligros, a los que la población está expuesta, que perdurarán por milenios, como los volcanes, las fallas geológicas, las áreas inundables, etc. y parece difícil, a pesar de los esfuerzos de los gobiernos y de los organismos nacionales e internacionales, que los niveles de vulnerabilidad disminuyan significativamente a corto plazo, provocando muertos y cuantiosas pérdidas materiales. Por ello, sólo una adecuada política de Ordenación y Uso del Territorio combinada con un esfuerzo en educación, permitirá disminuir el impacto final (desastre) que estos fenómenos naturales tendrán sobre la población.

5.2 *Orientaciones* para Educación Primaria



Para llegar a la consecución de los objetivos propuestos podemos hacerlo a través del trabajo de los distintos contenidos del

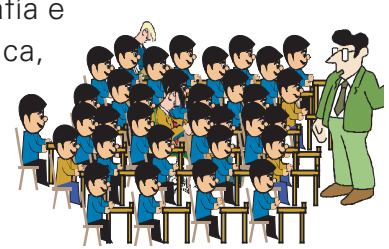
currículo de la Educación Primaria. En las áreas de Conocimiento del Medio Natural y Social, Educación Artística, Educación Física, Lenguaje, Matemáticas y segundo Idioma, se pueden abordar los temas referentes al volcanismo y las medidas de autoprotección.

Hay que tener en cuenta, de modo especial, la edad de los alumnos (6-11 años) y la complejidad del tema a tratar. Aprovecharemos la información y vivencias de los propios alumnos o su entorno familiar, amigos o de la televisión, alejándonos en la medida de lo posible del sensacionalismo. Las clases deben ser en todo momento relajadas y tranquilas, evitando el profesorado mostrar temor o ansiedad al tratar el tema de los peligros y el riesgo volcánico. Deben utilizarse con moderación términos tales como: quemar, sepultar, explotar, arder, empleados para explicar la actividad volcánica, ya que pueden asociarse a imágenes de televisión muy alejadas de la realidad del fenómeno, pero de gran impacto para los alumnos más pequeños.

Los objetivos propuestos sirven para toda la Enseñanza Obligatoria y la Metodología será la que se adapte a los grupos de edad de los alumnos, así como la propuesta de actividades a realizar. Los Contenidos en la Enseñanza Primaria serán más elementales y concretos, dando prioridad al desarrollo de actitudes y valores.

5.3 *Orientaciones* para Educación Secundaria

Al igual que en la Enseñanza Primaria, para llegar a la consecución de los objetivos propuestos podemos hacerlo a través del trabajo de los distintos contenidos del currículo de la Educación Secundaria. En las áreas de Ciencias Naturales, Biología, Física y Química, Geografía e Historia, Educación Artística, Educación Física, Lenguaje, Matemáticas y segundo Idioma, se pueden abordar los temas referentes al volcanismo y las medidas de autoprotección.



Estos alumnos, con edades comprendidas entre 12-16 años, permiten tratar el tema del volcanismo y los riesgos asociados de forma más amplia, profundizando especialmente en el conocimiento de los peligros volcánicos y las medidas de protección ante ellos. Aprovecharemos también las noticias sobre desastres y las vivencias de familiares y amigos, adoptando las mismas pautas de relajación y

tranquilidad indicadas para impartir las clases en los niveles de Enseñanza Primaria. No obstante, a pesar de la mayor edad de estos alumnos, debemos seguir teniendo en cuenta que el tratamiento de la información de desastres producidos por erupciones volcánicas, ha sido manipulado por la televisión y el cine, aportando mayor dramatismo, presentando imágenes alejadas de la realidad y desvirtuando la situaciones de riesgo.

Los contenidos serán tratados con mayor o menor profundidad, dependiendo del nivel al que se dirijan, y las actividades propuestas tendrán un mayor grado de complejidad, requerirán más conocimientos, se aplicarán otras técnicas instrumentales y se procurará una participación más directa de los alumnos en la búsqueda de información, elaboración del tema y propuestas que promuevan una mayor implicación personal.

5.4 Objetivos pedagógicos

1. Conocer su territorio y asimilar sus peculiaridades físicas y su influencia en el desarrollo cultural y económico de la región.
   - Proporcionar a los alumnos las herramientas necesarias, a través de la investigación, para llegar al conocimiento de la actividad volcánica de su territorio y los procesos naturales que se dan en él.
   - Diferenciar los procesos volcánicos.
   - Analizar los peligros volcánicos y su impacto en la sociedad.
   - Desarrollar criterios de protección y conservación de los medios naturales volcánicos en todos sus aspectos (paisajístico, biológico y geológico).
2. Adquirir normas y conductas dirigidas a tener una actuación correcta en caso de eventos volcánicos.
   - Desarrollar las medidas de autoprotección ante los fenómenos volcánicos.
   - Establecer los mecanismos de respuesta solidaria con la comunidad.

5.5 Metodología

El tema de riesgo volcánico se ha desarrollado muy recientemente como consecuencia del esfuerzo científico dirigido a la mitigación de las catástrofes producidas por erupciones tras el

desastre de la erupción del Nevado de Ruiz de 1985. Los primeros capítulos de esta guía recogen los últimos avances en este área de conocimiento, por lo que es conveniente que sean leídos detenidamente por el profesor.

La educación se concibe como un medio que asegura el desarrollo total del individuo, por lo tanto, el profesor deberá lograr a través de las actividades que realice en clase, que los estudiantes no solamente adquieran conocimientos y desarrollen habilidades, sino que también tengan actitudes de solidaridad y cooperación ante las situaciones de desastres que se le presenten a lo largo de su vida, contribuyendo a mejorar la gestión y uso del territorio.

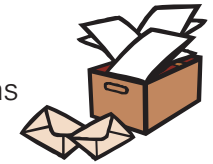
Como norma general, el estudio del medio natural debe realizarse desde lo más próximo hasta lo más lejano. Los medios audiovisuales facilitan, en la actualidad, el conocimiento de territorios alejados que pueden resultar más atractivos para el escolar que su entorno inmediato, pero también se planteará a los alumnos problemas de su propio interés y de su realidad, para que, a partir de la información que adquieran, puedan diseñar opciones de solución a problemas concretos, utilizando los mecanismos e instrumentos más adecuados.

El marco curricular debe ser flexible, o sea, que las situaciones de aprendizaje deben responder a una realidad concreta, de tal manera que si esa realidad varía, también lo haga el trabajo programado que debe adecuarse a los nuevos problemas, necesidades y a los recursos de que se disponga.

Los pasos metodológicos a seguir, integrados en las diversas áreas curriculares, son:

1. Planteamiento del tema
   - Preguntas sobre el conocimiento que los alumnos tienen de los volcanes.
   - Lluvia de ideas.
   - Búsqueda de información: con observación directa y a través de libros y/o Internet. Es preciso concretar qué criterios se van a utilizar para la elaboración de los contenidos objeto de estudio.

2. Aporte de datos



   - Ordenación y estructuración de las respuestas y la información obtenida de los alumnos.
   - Aporte de material gráfico y audio visual.

3. Elaboración de los contenidos.
   - Los datos obtenidos por los alumnos se integrarán a los contenidos básicos del tema, elaborados a partir de los textos de los libros escolares correspondientes a los temas de volcanes y medio natural y el material proporcionado por esta guía.

4. Puesta en común.
   - La fluidez de la comunicación sobre el trabajo que se está realizando es un aspecto metodológico importante y muy valorado por los alumnos que en todo momento se sienten partícipes y protagonistas.
   - Debe permitirse expresar las vivencias subjetivas de los alumnos para desarrollar aspectos distintos pero complementarios para su formación total.
5. Valoración e interpretación de la información.
   - Cuestionaremos el poblamiento y ocupación de las áreas volcánicas.
   - Se valorará el impacto que han tenido las erupciones volcánicas sobre la población.
   - Reflexionaremos sobre la necesidad de establecer una Ordenación del Territorio coherente con la actividad volcánica.
6. Toma de decisiones
   - Después de la valoración e interpretación es necesario llegar a una postura de compromiso, ya que si se ha estudiado el volcanismo es para adquirir unos hábitos, actitudes y valores encaminados a desarrollar medidas de autoprotección y solidaridad.
   - Discutiremos un Plan de Emergencia para una erupción volcánica que afecte a nuestra localidad.
   - Se participará en la revisión del Plan de Autoprotección del Centro para complementarlo con las medidas necesarias ante una emergencia por erupción volcánica.
7. Difusión a la comunidad educativa.
   - Plantearemos la conveniencia de mostrar a la comunidad educativa los trabajos realizados para difundir el conocimiento de los procesos volcánicos y las medidas de autoprotección.

5.6 *Desarrollo* de los temas

Como ejemplo de desarrollo del tema del volcanismo se propone a continuación una estructura que pueda ser utilizada como guía para la programación del trabajo a realizar en el aula. Se pretende que este modelo sirva para todos los niveles de la Enseñanza Obligatoria, disminuyendo o aumentando el grado de dificultad de los contenidos y las actividades, acorde con el nivel educativo que corresponda.

Como ayuda para la consecución de los objetivos marcados y facilitar la realización de actividades, se adjunta un material de apoyo que debe ser revisado previamente por el profesor.

Áreas de conocimiento

- Medio Natural y Social.
- Geografía e Historia
- Ciencias Naturales
- Biología.
- Física.

Temas, Contenidos y Objetivos

Tema 1: Los volcanes

Objetivos

- Determinar la estructura de la Tierra.
- Conocer el origen de los volcanes, su actividad y materiales.
- Distinguir las principales partes de un volcán.

Conceptos

- Estructura de la Tierra. Placas tectónicas. Deriva continental.
- Origen de los volcanes.
- Zonas volcánicas.
- Partes de un volcán.
- Actividad volcánica, procesos y materiales.

Procedimientos

- Enumeración de los desastres naturales más frecuentes.
- Análisis de las erupciones volcánicas más conocidas.
- Comentario de las noticias de prensa y/o televisión sobre catástrofes naturales que hayan ocurrido recientemente.
- Dibujo de las capas de la Tierra.
- Confección de un puzzle con las principales placas tectónicas.
- Señalización de las partes del volcán en un dibujo.

- Coloreado de un mapa con las áreas volcánicas (Canarias, España, Europa, resto del mundo).
- Construcción de la maqueta de un volcán a partir de un modelo recortable.
- Contestar un cuestionario sobre el tema.

Actitudes

- Mejora de la percepción del territorio volcánico para realizar una correcta gestión y uso del mismo.

Tema 2: El paisaje volcánico

Objetivos

- Interpretar el paisaje volcánico.
- Conocer las diferentes formas del relieve volcánico.
- Asociar las formas volcánicas a los procesos eruptivos.

Alumnos de Enseñanza Secundaria en el volcán Chinyero, Tenerife (Islas Canarias). Foto A. Llinares.

Conceptos

- Formas volcánicas.
- Beneficios económicos en las zonas volcánicas.

Procedimientos

- Confección de un mural con fotos de volcanes.
- Interpretación y comentario de los volcanes en el arte.
- Elaboración de un dossier con ejemplos de la vegetación y fauna que se encuentran en las áreas volcánicas de España y otras partes del mundo.
- Análisis de la economía de un área volcánica, agricultura, turismo, etc. y elaboración de un mapa temático.

- Clasificación de forma sencilla de las rocas volcánicas más frecuentes: color, densidad, textura.
- Interpretación del mapa geológico de un área volcánica.

Actitudes

- Valoración de los beneficios de las zonas volcánicas para la economía.

Tema 3: Peligros volcánicos

Objetivos

- Conocer los peligros volcánicos.
- Valorar su incidencia en la población, el medio y las infraestructuras.
- Analizar y comprender los mapas de peligrosidad y riesgo.
- Establecer prioridades para la ordenación y uso del territorio volcánico.

Conceptos

- Tipo de peligros volcánicos.
- Alcance de los peligros volcánicos.
- Mapas de peligrosidad.
- Ordenación y uso del territorio.
- Efectos sobre la población, el medio y las infraestructuras.
- Mapas de riesgo.

Procedimientos

- Visita, si es posible, de zonas volcánicas.
- Simulación de flujos de lava en la maqueta de un volcán con pueblos situados en su base.
- Simulación de una explosión hidromagmática calentando aceite en una sartén y añadiéndole unas gotas de agua que hacen saltar el aceite, lo que, en un fenómeno volcánico correspondería a los piroclastos. Advertencia, debe extremarse la precaución al agregar el agua para evitar quemaduras.
- Lectura y comentario de las siguientes erupciones históricas: Vesubio (79 d.C), Krakatoa (1888), Mont Pelé (1902) y Nevado de Ruiz (1985).
- Resolución de problemas de Física relacionados con la actividad volcánica: tasa de enfriamiento de una lava, proyección balística de bombas, velocidad de caída de las cenizas.

- Análisis de un mapa de peligros volcánicos.
- Estudio de un mapa de riesgo volcánico.
- Recopilación de propuestas para optimizar la gestión y uso del territorio volcánico.

Actitudes

- Desarrollo de una actitud positiva y de comprensión ante los procesos volcánicos y su repercusión en el hombre.

Tema 4: Protección ante erupciones

Objetivos

- Analizar los diferentes Planes de Emergencia.
- Aprender medidas de autoprotección ante erupciones volcánicas.
- Comprender y cumplir adecuadamente las directrices marcadas por los Planes de Emergencia.

Conceptos

- Planes de Emergencia Local, Escolar y Familiar.
- Medidas de autoprotección.

Procedimientos

- Señalización, a partir del plano del centro educativo, de los principales elementos destacados: biblioteca, sala de audiovisuales, escaleras, puertas de acceso, polideportivos, gimnasio, etc., además del aula ocupada por el grupo de alumnos.
- Interpretación del Plan de Autoprotección y Evacuación del Centro Escolar.
- Realización de un ejercicio de evacuación.
- Dramatización de una erupción volcánica y la Evacuación del pueblo.

Actitudes

- Tomar conciencia de las necesidades básicas del ser humano como ser sociable y la forma de hacer frente a ellas.
- Contribuir a la mejora y éxito del plan de autoprotección del centro escolar.

Tema 5: Organismos y cuerpos de emergencia

Objetivos

- Conocer las estructuras y servicios de los organismos y cuerpos de emergencia.
- Localizar cada uno de ellos en el mapa del municipio.

Conceptos

- Tipos de organismos.
- Localización espacial en tu entorno.
- Funciones principales.

Procedimientos

- Visita a las instalaciones de un cuerpo de emergencia.
- Recopilación de información sobre las actuaciones de los cuerpos de emergencia.
- Ubicación en un mapa local de los cuerpos de emergencia.

Actitudes

- Fomento del deseo de participación en las instituciones de emergencia.

Tema 6: Colaboración ciudadana ante los desastres naturales

Objetivos

- Desarrollar sentimientos de colaboración ante las catástrofes naturales.
- Contribuir a mejorar la gestión y uso del medio natural.

Conceptos

- Participación individual.
- Participación de las organizaciones nacionales e internacionales.

Procedimientos

- Dramatización de una crisis volcánica y su gestión, en la que los alumnos desempeñan los roles de los diferentes agentes implicados: autoridades, ciudadanos, científicos, cuerpos de emergencia y medios de comunicación.

Actitudes

- Asimilación y valoración positiva del análisis de los riesgos volcánicos y de las medidas de protección necesarias e imprescindibles para proteger la vida y bienes de una comunidad.

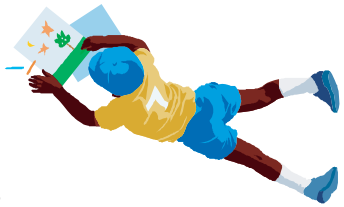
Participación de otras áreas

Otras áreas de la enseñanza pueden tomar parte en el desarrollo de los temas mencionados, sin necesidad de modificar su programación curricular. A continuación daremos algunos ejemplos de cómo pueden ser integradas y colaborar en la mejor asimilación de conocimientos y actitudes por parte del alumno, relacionados con el riesgo volcánico.

Área de Educación Artística

La expresión plástica le permite al alumno concretar vivencias de una forma inmediata y le facilita el conocimiento de la realidad. Se pueden proponer diferentes trabajos, utilizando las técnicas más adecuadas a cada nivel.

- Dibujo y pintura de volcanes: acuarelas, óleo, témperas, ceras, pastel, carbón, etc., destacando la coloración de los elementos volcánicos.



- Collage sobre los volcanes y la población.
- Dramatización: representación teatral de una catástrofe volcánica.

Área de Tecnología

Esta disciplina es de gran utilidad para la elaboración de maquetas e instrumentos científicos, que ayudan en gran medida a la comprensión de los procesos dinámicos de la Tierra.

- Elaboración de una maqueta donde se aprecie la parte interna de un volcán.
- Simulación de coladas mediante la reacción de vinagre con bicarbonato en la maqueta de un volcán con pueblos localizados en su base.
- Construcción de un sismógrafo con materiales reciclables.
- Aplicación de los sistemas informáticos para realizar simulaciones.
- Uso de Internet para la recopilación y elaboración de datos.

Área de Educación Física

El conocimiento de su propio cuerpo y las relaciones espaciales, facilitan al alumno el aprendizaje de técnicas de autoprotección, así como a colaborar en los planes de emergencia.

- Toma de conciencia del cuerpo y el control de la tensión, relajación y respiración.
- Práctica de las relaciones espaciales y temporales.
- Distinguir las señales acústicas de aviso y aprender a reaccionar adecuadamente.

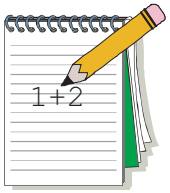
Área de Lenguaje

Este área fundamental del aprendizaje juega un papel importante en el desarrollo del tema de riesgo volcánico. Los conocimientos que se adquieren tienen un significado y expresión lingüística que debemos reforzar y practicar en el aula. Al hablar de las medidas de autoprotección es fundamental que comprendan el por qué de ellas y el significado exacto de los términos empleados.

- Búsqueda de significados a palabras relacionadas con el tema.
- Lectura de crónicas referentes a erupciones volcánicas.
- Discusiones y debates sobre los riesgos volcánicos.

Área de Matemáticas

Conviene realizar actividades prácticas con los números, el espacio y la medida para facilitar la comprensión de los mapas de riesgo.



- Realización de planos: casa, clase, colegio, barrio, etc.
- Cronometrar los tiempos de desplazamiento entre diferentes puntos del municipio: casa-colegio, casa-ayuntamiento, colegio-ayuntamiento.
- Confección de estadísticas sobre la actividad volcánica en un área concreta; por ejemplo, Canarias.

Área de Química

La relación de este área con el tema a tratar es muy importante desde los orígenes de la volcanología como ciencia. Los gases

como motores de la erupción y la composición química de los magmas son temas fundamentales en el estudio de los procesos volcánicos.

- Estudio de la composición química de los magmas y su evolución.
- Análisis de la composición química de las manifestaciones hidrotermales y fumarolas.

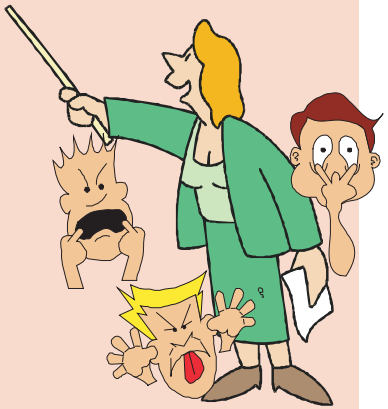
Área de Ciencias de la Salud

La actividad volcánica, incluso en su nivel más moderado, representa un serio peligro para la salud, especialmente para las poblaciones situadas muy cerca de los volcanes. La emisión de gases y contaminación de aguas son los peligros más frecuentes e importantes y que afectan a un mayor número de personas. En las zonas volcánicas es frecuente que las aguas contengan trazas de metales pesados, como mercurio o arsénico, que son tóxicos y acumulables, o exceso de flúor, igualmente peligroso, especialmente para la infancia. Adoptar las medidas de autoprotección adecuadas y seguir las normas establecidas en los Planes de Emergencia son fundamentales para disminuir el riesgo.

- Desarrollo de la capacidad de detectar la presencia de gases tóxicos por los síntomas que aparecen en nuestro cuerpo, detectamos por los sentidos u otras manifestaciones.
- Estudio de la composición química de las aguas para consumo y de la normativa que regula este servicio.
- Prácticas de primeros auxilios.
- Utilización de mascarillas.

5.7 Recursos didácticos

- Póster y folletos elaborados conjuntamente con la guía.
- Juego de la oca con las distintas manifestaciones de la actividad volcánica.
- Recortables de volcanes.
- Maquetas de volcanes que simulen erupciones y afecten a edificaciones.



- Reconocimiento de formas y materiales volcánicos en el entorno del alumno.
- Jugar a ser un volcanólogo reconociendo en campo la actividad pasada de un volcán.
- Jugar a crisis volcánicas (volcanólogos, alcalde, periodistas, bomberos, policía, turistas, población, etc.).
- Analizar algunas erupciones bien conocidas o documentadas.
- Hacer una colección de fotos, sellos, etc., de los distintos tipos de actividad volcánica.
- Llevar un diario de la actividad volcánica en el mundo.
- Elaboración de un sismógrafo casero.
- Hacer un mapa de peligros volcánicos.

Direcciones INTERNET (actualizadas a 31 de agosto de 2004):

- Dir. Gral. de Protección Civil y Emergencias (España)
  http://www.proteccioncivil.org
  http://www.proteccioncivil.es
- Consejo Superior Investigaciones Científicas
  http://www.csic.es
- Instituto Geográfico Nacional (España)
  http://www.geo.ign.es
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanología (Italia)
  http://www.ingv.it
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Méjico)
  http://www.cenapred.unam.mx
- Stromboli on line
  http://www.educeth.ch/stromboli/index-en.html
- Servicio Geológico USA
  http://volcanoes.usgs.gov/educators.html

- Global Volcanism Program
  http://www.volcano.si.edu/index.cfm
- Volcano World
  http://volcano.und.nodak.edu/vw.html
- Mitos y volcanes
  http://xoomer.virgilio.it/perin.valeria/mito/index.htm

Otras páginas interesantes

http://vulcan.fis.uniroma3.it
http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work
http://www.decadevolcano.net
http://boris.vulcanoetna.com

VI. *Apoyo* psicológico en crisis volcánicas

Pompeya es el símbolo de ciudad destruida por un volcán. Sin embargo su destrucción fue debida a un terremoto que ocurrió 16 años antes que entrara en erupción el Vesubio.
Foto A. Llinares.

Cuando una persona sufre un acontecimiento traumático, que ocurre de forma repentina y representa un peligro real para su vida o la de los demás, provoca en ella una serie de reacciones psicológicas, tales como, temor, miedo, ansiedad, etc. Estos síntomas varían en función de diferentes factores, sociales, individuales y de la propia magnitud del evento.

En el caso del riesgo volcánico, a diferencia del riesgo sísmico, el impacto no es inmediato y el problema no radica en la erupción del volcán, sino en el desarrollo de la crisis volcánica que puede prolongarse durante años, en los que se repiten las evacuaciones preventivas y las zonas de exclusión se mantienen indefinidamente sin que la población vislumbre el final de la crisis. La actividad va aumentando paulatinamente y cada vez son más los signos percibidos por la población como temblores, ruidos, olores, etc. Por lo general, las autoridades locales, por miedo a la influencia negativa sobre el turismo y otros intereses económicos, tratan de ocultarlo, o dan consignas demasiado tranquilizadoras, como decir que está todo solucionado, lo que da lugar a la circulación de rumores.

La falta de educación en estos temas hace que la situación se vuelva muy peligrosa, ya que la población carece de mecanismos de respuesta ante el fenómeno que se les avecina. Es muy frecuente que una población tenga que ser evacuada en repetidas ocasiones, ya que no es posible tener la certeza del evento y de su magnitud. Cada vez que se espera un posible impacto que pueda resultar catastrófico se debe proceder a la evacuación preventiva. Y la población debe aprender a vivir en esas circunstancias.

Esta situación puede generar una serie de reacciones psicológicas que se pueden incrementar si la gestión de la crisis no es la adecuada y la población se considera abandonada por las autoridades.

Es natural que tanto los jóvenes como los adultos sientan cierto temor ante un fenómeno natural desconocido, de larga duración e incapaces de controlar. Los niños, especialmente los de menor edad, pueden tener ciertas reacciones psicológicas que se pueden agravar en algún momento si piensan que pueden ser dañados (lo que más les impacta es la percepción de fuego y la posibilidad de ser quemados) por el volcán o quedar separados de su familia. *Por ello, la reacción de los padres y profesores ante la situación de emergencia es fundamental para transmitir tranquilidad y seguridad; debemos trabajar en el aula el desarrollo de la capacidad de comunicación, la transmisión de emociones y sentimientos y favorecer el control cognitivo de la situación de riesgo.*

6.1 *Reacciones* ante una catástrofe

Las personas reaccionan ante las catástrofes de formas diferentes, con manifestaciones de temor, miedo, ansiedad, etc., según la influencia de los factores ambientales, individuales y sociales.

Durante la crisis de la caldera de Campos Flegreos (Italia 1983-85) parte de la población fue evacuada, debiendo permanecer durante meses en caravanas y vagones de ferrocarril. Foto R. Ortiz.

Factores ambientales

Dependerán de las características del fenómeno volcánico, su duración, intensidad, grado de destrucción y número de víctimas, si las hay.

Factores individuales

La personalidad de cada individuo juega un papel determinante en la forma de afrontar y evaluar una situación de catástrofe natural. En el caso concreto de jóvenes o niños, con una personalidad no desarrollada, no se sienten capaces de asumir sólos este acontecimiento, por eso es fundamental la actitud que manifiesten los adultos.

Factores sociales

El apoyo familiar y social reforzará la sensación de pertenencia a un colectivo que actúa protegiendo al individuo.

6.2 *Fases* psicológicas

Fase de shock

Durante esta fase, las reacciones emocionales suelen ser de llanto, incredulidad, odio y negación, y se caracterizan por una limitada capacidad de pensamiento y acción.

Hay un alto nivel de ansiedad, con reacciones fisiológicas (taquicardias, mareos, sudoración, tensión muscular, etc.) y reacciones motoras extremas de hiperactividad o hipoactividad. Debemos recordar que requiere más atención la respuesta hipoactiva que la hiperactiva, aunque esta última sea más llamativa.

Fase de reacción

Aparecen reacciones emocionales muy fuertes, generalmente de enfado y odio, y en algunos casos, cuando hay víctimas mortales, aparecen asociadas al sentimiento de culpa (se cree que algo se descuidó en el momento de la catástrofe).

Las reacciones más frecuentes consisten en evitar los lugares o hechos relacionados con la catástrofe, alteraciones del sueño y la alimentación.

Aparece una pérdida de confianza en sí mismo y una disminución en el sistema de creencias y valores.

La mayoría de las personas resuelven esta situación de catástrofe paulatinamente, restableciendo su equilibrio y superando la situación con nuevas estrategias de afrontamiento. Sin embargo, en otros individuos estas reacciones se agudizan, interfiriendo en su vida social, laboral y familiar y generando trastornos psicopatológicos.

Deberemos tener en cuenta que es imprescindible reducir la indefensión de los afectados para que puedan volver a la creen-

cia de que los hechos son ordenados, y que uno mismo, tiene cierta capacidad de acción en las situaciones que ocurren. Para ello es esencial volver a la rutina diaria lo más rápidamente posible valorando la capacidad de reacción para afrontar la situación.

Al mismo tiempo, debemos proporcionar la información correcta sobre el fenómeno que acontece para que el niño o joven pueda entenderlo y asuma las medidas de autoprotección como algo imprescindible para su vida, hablando libremente de sus experiencias y situaciones.

VII. *Lecturas* recomendadas

Volcán Arenal (Costa Rica). Foto R. Ortiz.

ALEXANDER, D. (1993). *Natural Disasters.* UCL Press. Londres. 631 pp.

ARAÑA, V.; CARRACEDO, J.C. (1978). *Los Volcanes de las Islas Canarias* (Serie 3 volúmenes). Ed. Rueda. Madrid.

ASTIZ, M.; GARCÍA, A., editores (2000). *Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica.* Cabildo de Lanzarote. Servicio de Publicaciones. 458 pp.

CAS, R.; WRIGHT, J. (1987). *Volcanic Successions.* Allen & Unwin Publish. London. 528 pp.

CHESTER, D. (1993). *Volcanoes and society.* E. Arnold. Londres. 351 pp.

HARALDUR SIGURDSSON. Editor. (2000). *Encyclopaedia of Volcanoes.* Academic Press, San Diego, 2000. 1417 pp.

KRAFT, M.; KRAFT, K. (1987). *Volcanoes du Monde.* Flammarion Edit., France. 190 pp.

KOVACH, R. L. (1995). Earth's Fury. *An introduction to natural hazards and disasters.* Prentice Hall. New Jersey. 214 pp.

MARTÍNEZ DE PISÓN, E.; QUIRANTES, F. (1981). *El Teide. Estudio Geográfico.* Interinsular Canaria S.A. Santa Cruz de Tenerife.

MINISTERIO DE JUSTICIA E INTERIOR. (1996). *Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico* (BOE nº 55, de 4 de marzo de 1996).

ORTIZ, R., editor (1996). *Riesgo Volcánico.* Serie Casa de los Volcanes. nº 5. Cabildo de Lanzarote. 304 pp.

ROMERO, C. (1991). *Las manifestaciones volcánicas históricas del Archipiélago Canario.* Consejería de Política Territorial. Gobierno de Canarias. Sta. Cruz de Tenerife. Dos volúmenes, 1407 pp.

ROMERO, C. (1992). *Estudio Geomorfológico de los Volcanes Históricos de Tenerife.* Cabildo de Tenerife. Santa Cruz de Tenerife. 265 pp.

ROMERO, C. (1997). *Crónicas documentales sobre las erupciones de Lanzarote.* Fundación Cesar Manrique. Lanzarote. Colección Torcusa, Madrid. 167 pp.

RUMEU DE ARMAS, A.; ARAÑA, V. (1982). *Diario pormenorizado de la erupción volcánica de Lanzarote en 1824.* Anuario de Estudios Atlánticos, 28: 15-61.

TIEDEMANN, H. (1992). *Earthquakes and Volcanic eruptions.* A Handbook on Risk Assessment. Swiss Re. Zurich. 951 pp.

SCARPA, R.; TILLING, R. I. editores (1996). *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards.* Springer-Verlag, Berlin. 841 pp.