

CAPÍTULO 13

MEDIDAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES ANTE EL RIESGO VOLCÁNICO

E. ANCOCHEA y J. L. BARRERA

Las catástrofes volcánicas a nivel mundial suponen unas pérdidas cercanas al 2 % del total de las catástrofes naturales, frente a las pérdidas producidas por los terremotos, que suponen algo más del 50 % (CDRSCJ, 1989). Ésa es una de las razones por la que la actividad volcánica y sus riesgos está considerada como una manifestación marginal en las políticas científicas de varios países.

El único camino para identificar los volcanes con más probabilidad de entrar en erupción es continuar con el estudio físico y geológico del mayor número de volcanes posibles. Pero todavía hoy, la elección de los volcanes a estudiar está guiada más por criterios científicos que de verdadero riesgo potencial.

Ningún conocimiento del riesgo y de predicción será útil sin la colaboración total y conjunta de las distintas autoridades locales, regionales y estatales. Todavía, la comunicación y el entendimiento entre los científicos, las autoridades y la población son pequeños y, por tanto, deben mejorar.

La comunidad internacional escogió la década de los noventa para el estudio e investigación de las catástrofes naturales. Fue una prueba de concienciación social colectiva esta decisión, pues supuso un reconocimiento de que las catástrofes naturales son devastadoras para algunas regiones de la Tierra y generan pérdidas considerables que retrasan el desarrollo de los países. Después de las catástrofes volcánicas

del Mt. St. Helens (1980) y del Nevado del Ruiz (1985) se hizo patente la necesidad de vigilancia volcánica en varios de los más peligrosos volcanes activos. Este estudio de algunos de los volcanes activos o potencialmente activos fue propuesto por la Asociación Internacional de Volcanología y Química del Interior de la Tierra (IAVCEI) como programa principal de su participación en la década de los noventa. El programa, que finalizó en el año 2000, ha generado hasta el momento una gran cantidad de datos de campo y datos remotos sobre la estructura y comportamiento físico de varios de los volcanes potencialmente más peligrosos como el Taal, Etna, Mauna Loa, Mt. Rainer, Vesubio o Teide.

1. Los efectos de las erupciones sobre el planeta y el hombre

Los efectos que provocan las erupciones volcánicas en los ambientes naturales o en los bienes humanos son enormes y es un asunto ya bastante documentado. Entre los ámbitos naturales y humanos hay algunos como el cambio climático, la navegación aérea y el impacto directo sobre la vida de las personas, entre otros, que están afectados directamente por el fenómeno volcánico.

Cambios climáticos. Las alteraciones que las grandes erupciones producen en el clima

pueden llegar a ser muy apreciables y devastadoras para la salud pública en tanto en cuanto afectan a la composición del aire, la cantidad de radiaciones recibidas y a los cambios térmicos. Estos últimos pueden tener efectos catastróficos sobre la agricultura.

La erupción del St. Helens (1980) y de El Chichón (1982) revitalizó la investigación de los efectos de la actividad volcánica sobre el clima. La expulsión de cenizas a la atmósfera impide la penetración de la radiación solar y el clima se hace más frío. Las erupciones de Laki (1783), Tambora (1815), Krakatoa (1883) o Pinatubo (1991), entre otras, produjeron un cambio de temperatura que se apreció en todo el planeta, sobre todo en el hemisferio norte. La expulsión de gases, principalmente los compuestos de azufre, aumenta la lluvia ácida al transformarse en ácido sulfúrico.

Las erupciones volcánicas contribuyen a la formación de la atmósfera y los océanos desde los tiempos geológicos antiguos y continuarán haciéndolo a pesar de que alguna de sus contribuciones resulten catastróficas para el hombre (Kondratyev y Cracknell, 1998). Los volcanes aportan a los gases de la atmósfera unos 110 millones de tn de CO₂ por año (Fisher *et al.*, 1997).

Las erupciones más intensas son un excelente modelo natural de la respuesta que da el sistema climático global a las perturbaciones producidas por la formación de aerosoles posteruptivos en la estratosfera. Los productos de las erupciones explosivas alcanzan la estratosfera y cambian su composición química afectando al equilibrio de la radiación sobre la Tierra. Estos cambios pueden ser los responsables de las modificaciones climáticas posteruptivas. Entre las altitudes de 20-25 km (capa de Junge) es donde se concentran mayoritariamente los aerosoles volcánicos y donde se producen los cambios más importantes en el régimen de radiaciones.

Benjamin Franklin, el célebre descubridor del pararrayos, fue el primer científico que asoció las grandes erupciones volcánicas con el cambio climático. Planteó que la gran erupción fisural de Laki (Islandia) en 1783 fue la causa del extremadamente frío invierno de

1783-84 en Europa. No se equivocó, ya que estudios posteriores comprobaron tal correspondencia. Sin embargo, aunque era una cuestión conocida, la relación de las grandes erupciones con los cambios climáticos no se tuvo en mucha consideración hasta la gran erupción del Krakatoa de 1883. Entonces se nombró una comisión para estudiar los efectos de la erupción en el clima.

La erupción del Tambora en abril de 1815 provocó un descenso de la temperatura media de verano en Europa de 1-2,5 °C (en un sexenio, 1811-1817, ya de por sí frío), lo que afectó seriamente a las cosechas. En la Francia napoleónica, los campesinos se sublevaron por la pérdida de cosechas y el consiguiente hambre que padecieron. Desde luego, no asociaron su desastrosa situación a la catástrofe volcánica. Esta erupción tuvo un fuerte efecto dominó. Las anomalías climatológicas comenzadas en el verano de 1815 y continuadas en 1816 causaron un brusco decrecimiento en la producción agrícola, con el resultado del aumento de los precios. Este efecto se tradujo en mayor inflación, desempleo, huelgas, hambre e inestabilidad política en toda Europa (Fisher *et al.*, 1997).

En la erupción del Pinatubo de 1991, la nube de aerosoles formada por encima de los 20 km dio la vuelta completa a la Tierra en 3 semanas (Mc Cormick, 1992).

Las variaciones en la transparencia atmosférica están controladas mayoritariamente por las erupciones volcánicas. El coeficiente de correlación entre la transparencia y la concentración de aerosoles volcánicos emitidos en erupciones de media y alta intensidad explosiva, ocurridas entre 1880-1980, es de + 0,95 (Kondratyev y Cracknell, 1998). Una atmósfera perturbada por los productos de una erupción se caracteriza por un aumento de concentración de CO₂, SO₂ y CH₄, además de aerosoles volcánicos.

Hay otros fenómenos de carácter atmosférico que, sin cambiar el clima a gran escala, van íntimamente ligados con las erupciones. Entre ellos (Blong, 1984) se encuentran las ondas de choque y los sonidos atmosféricos. Durante una erupción explosiva, la condensación

dél vapor de agua se hace a gran velocidad. Esto provoca la aparición de descargas eléctricas que pueden originar, ocasionalmente, tormentas torrenciales que, a su vez, son productoras de lahares o corrientes de barro de diversa intensidad. Sin embargo, lo más común es que los «fuegos de San Telmo» (como se les conoce popularmente) no sean excesivamente peligrosos.

Navegación aérea. Las enormes plumas volcánicas que se levantan a la atmósfera son un peligro permanente para la navegación aérea. Son muchos los accidentes ocurridos por los efectos provocados por las cenizas en suspensión sobre los motores de aviación. Para mitigarlos se está trabajando en mejorar las comunicaciones entre los observatorios volcanológicos y las compañías aéreas mundiales.

En 1988, la Organización Mundial de Observatorios Volcanológicos (WOBO), en cooperación con la Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO) y la Asociación Internacional de Volcanología y Química del Interior de la Tierra (IAVCEI), solicitaron que se mejoraran los contactos institucionales con las autoridades de aviación civil para mejorar las comunicaciones entre observatorios de vigilancia volcánica y el tráfico aéreo. Esto dio como resultado la celebración en 1991 del I Simposio Internacional sobre Cenizas Volcánicas y la Seguridad aérea. Los acuerdos alcanzados se publicaron posteriormente (Casadevall, 1994).

Efectos directos sobre personas. Los efectos directos sobre los humanos se traducen en número de muertos por las diferentes causas asociadas con el fenómeno volcánico. La estimación de fallecidos por erupciones anteriores al siglo XVII es difícil de avaluar debido a la falta de censos y recuentos fiables en muchos países donde se produjeron. Solamente las estadísticas disponibles de los últimos cuatro siglos ofrecen datos bastante orientativos sobre el número de muertos. Entre 1600 y 1982 fallecieron 238.867 personas, de las que el 40 % lo fueron por hambre y el 23 % por coladas piroclásticas y avalanchas de derrubios (Blong,

1984). Si a esta cifra le añadimos las muertes ocurridas desde 1982 hasta hoy, unas 26.000 (ICOG, 1997), la suma total nos da unas 265.000.

2. Medidas estructurales

Prevenir y mitigar los efectos de las diversas causas del riesgo volcánico tiene un éxito relativo según el riesgo del que se trate. No todos los riesgos se pueden prevenir igual. La característica que distingue a la catástrofe volcánica de otros desastres naturales es la multiplicidad de sus elementos peligrosos.

Defensa de las coladas de lava. Las medidas estructurales activas para mitigar el efecto de las erupciones volcánicas van encaminadas principalmente a frenar los flujos lávicos de las emisiones, por ser una de las causas menos complicadas de combatir. En el cuadro 13.1 se relacionan algunos intentos históricos realizados para frenar el avance de las lavas.

Como se observa en el cuadro, las medidas más comunes para la contención o desvío de las lavas es la construcción de dique o barreras. Otras medidas adoptadas con éxito han sido la utilización de chorros de agua para enfriarla. Sin embargo, por experiencia se ha comprobado que los muros o diques no resultan del todo eficaces cuando se trata de lavas viscosas o de lavas de bloques. También se ha comprobado que en la construcción de los diques resulta más eficaz la altura que el tipo de material o forma de la estructura constructiva.

Los primeros intentos para bombear corrientes de lava de los tubos de las coladas y así frenar el avance de coladas se hicieron en la erupción del Mauna Loa (Hawai) en 1935.

En la erupción del Etna (Sicilia) de 1991-1993, la lava amenazaba el pueblo de Zafferana Etnea. Para protegerlo se construyeron primero barreras de tierra y después se desvió la colada a un canal artificial excavado cerca de la boca eruptiva (Barberi *et al.*, 1993).

Defensa contra la tefra (fall). Los piroclastos de caída es la segunda de las causas

CUADRO 13.1. *Intentos históricos para frenar el avance de coladas de lava*
(Fisher et al., 1997)

| Volcán | Año | Medida protectora |
|--------------------|-----------|--|
| Etna (Sicilia) | 1669 | Muros de piedras para proteger Catania. Fracasó. |
| Kapoho (Hawai) | 1960 | Construcción de diques para desviar las lavas «aa». Chorros de agua de coches de bomberos para enfriar y frenar la lava. Fracasó, aunque redujo la velocidad de lava y permitió la evacuación de casas amenazadas. |
| Heimaey (Islandia) | 1973 | Chorros de agua de los barcos del puerto bombardearon 900 l/seg y detuvieron la lava que amenazaba con cerrar el puerto pesquero. Éxito. |
| Mauna Loa (Hawai) | 1975-1976 | Bombeo de la lava a través de túneles. Colocación de diques artificiales desde el aire para desviar las coladas. La erupción cesó. |
| Etna (Sicilia) | 1983 | Construcción de barreras de tierra (de 300-85 m de longitud por 8-20 m de altura) para desviar la lava. Éxito parcial. |
| Motomaki (Japón) | 1986 | Chorros de agua en el frente de la colada para enfriarla. Éxito. |
| Etna (Sicilia) | 1991-1992 | Varios túneles, explosiones artificiales, mallas metálicas y taponamiento de algunos túneles lávicos. Éxito parcial. |

contra la que se pueden tomar medidas preventivas con cierto éxito. Para evitar el hundimiento de los tejados es importante elegir un material de construcción resistente al peso de los piroclastos e, igualmente, configurar un diseño constructivo que no favorezca su acumulación. Evidentemente, la medida inmediata que hay que tomar cuando comienza la acumulación es quitarlos rápidamente. También el colapso de las construcciones se puede producir por el impacto y la acumulación de tefra en las paredes del edificio.

Las personas, para protegerse de los daños que ocasiona al cuerpo las cenizas volcánicas, utilizan los paraguas o impermeables especiales. Es recomendable que las personas con problemas respiratorios utilicen máscaras de gas o trapos para taparse la boca. Si permanecen en el interior de las casas se recomienda que pongan plásticos en puertas y ventanas para aislar la vivienda de la nube de cenizas.

Defensa contra las coladas piroclásticas. Resulta muy complicado y con poco éxito la defensa que se puede hacer contra la violencia de las coladas piroclásticas. En una palabra, es muy difícil defenderse de ellas. Se pueden construir estructuras defensivas (parecidas a las de los lahares) para frenar algo el impacto.

También se recomienda sellar puertas y ventanas para evitar la entrada de gases. Otra medida de protección es la de permanecer en refugios subterráneos con víveres y agua para la supervivencia.

Defensa contra los lahares. Debido a que los lahares siguen casi siempre los cauces de la red hidrográfica en dirección hacia las zonas topográficas más bajas, resulta más fácil definir con antelación cuál será el área afectada. Las medidas defensivas incluyen sistemas de alarma en las zonas de cabecera, estructuras constructivas para desviar o frenar el avance, revegetación de laderas o drenaje de lagos cratéricos para disminuir el volumen de agua que podría participar en el lahar. Ya en el volcán Kelut se construyeron presas defensivas para frenar los lahares en 1905 (Smart, 1981).

Otra forma de prevenir los lahares y las coladas de fango es drenando los lagos cratéricos (cuando existen) antes de que haya una erupción con peligro de lahar y descienda peligrosamente por las laderas y cauces de río. En 1919, después de que un lahar enterrara 104 pueblos y causara 5.110 muertos, los ingenieros holandeses idearon un sistema para drenar la mayor parte del agua del lago del cráter del volcán Kelut. En 1926 se excavó un sistema de

túneles en las laderas de la montaña. En la erupción de 1951, el lago estaba muy reducido y el calor magmático evaporó el agua, lo que evitó una nueva catástrofe causada por los lahares. Sin embargo, la erupción destruyó el sistema de túneles y, con ello, la prevención contra futuros lahares. Con la destrucción del sistema defensivo, éstos se repitieron en la erupción de 1966 causando cientos de muertos. Las autoridades decidieron entonces construir un nuevo túnel que hasta el momento ha mantenido reducido el volumen de agua acumulado en el cráter (Time-Life, 1986).

Defensa contra los terremotos. La resistencia sísmica de los edificios está mejor conocida que la resistencia al tefra o al impacto de las coladas piroclásticas. En áreas volcánicamente activas, los edificios deberán construirse con las especificaciones de la norma sismo-resistente. La vulnerabilidad sísmica de un edificio decrece con el incremento de la distancia al epicentro y se incrementa con el aumento de la pendiente del suelo. También, la resistencia es mayor cuanto más duro sea el terreno, de ahí que, si es posible, sea mejor cimentar en roca que en suelo blando poco compactado.

Defensa contra las ondas de choque. La medida más segura para defenderse contra las ondas de choque provocadas por las violentas explosiones volcánicas es la de reforzar los cristales de puertas y ventanas. Hoy en día existen excelentes materiales de vidrio muy resistentes a las ondas de choque.

3. Medidas no estructurales

En el año 2000, la población expuesta al riesgo volcánico se incrementó probablemente en 500 millones de personas respecto al año 1993. Este número es comparable al de la población estimada a comienzos del siglo XVII. Por tanto, los volcanólogos tienen un reto importante en tener que suministrar un fiable y temporalmente acertado aviso de erupción (Tilling y Lipman, 1993).

En las zonas de volcanes activos o poten-

cialmente activos, los tres factores principales para la prevención del riesgo eruptivo son: un *Sistema de Vigilancia* eruptiva que permita detectar con anticipación la posible erupción volcánica, un *Plan de Mitigación del Riesgo Volcánico* que evalúe la peligrosidad, el riesgo y la prevención de la erupción y un actualizado *Plan de Evacuación* para ser aplicado por las autoridades civiles (Protección Civil) y militares.

En la actualidad, los esfuerzos de los organismos internacionales por mantener un *Sistema de Vigilancia* permanente están dirigidos al desarrollo de sistemas automáticos de control físico y químico continuo que puedan sustituir a las campañas de campo periódicas de toma de datos. El período que transcurre entre los primeros indicios de erupción hasta que ocurre ésta es variable. Depende de la profundidad de la cámara magmática y del grado de apertura que tenga el conducto de emisión. La identificación correcta de los síntomas precursores de una erupción volcánica es fundamental para evitar alarmas falsas. En el período 1959-1980 el volcán Kilauea (Hawai) tuvo 21 intrusiones magmáticas sin erupción posterior y 25 erupciones con los mismos signos precursores que las anteriores (Klein, 1982). Las implicaciones de las alarmas falsas en la Protección Civil son evidentes. Está comprobado que es más fácil predecir una erupción en un volcán efusivo (poco explosivo) activo con alta frecuencia de erupción que en un volcán explosivo que se encuentra inactivo desde hace tiempo. Toda predicción, para que sea útil, tiene que reunir las siguientes características:

- Que se haga con la suficiente antelación.
- Que el inicio de la erupción se calcule dentro de un intervalo de tiempo lo más corto posible.
- Que sea cierta, para evitar falsas alarmas.

Muchos volcanes de alto riesgo se encuentran en regiones subdesarrolladas con alta densidad de población, que no tienen suficientes recursos humanos y económicos para hacer los estudios adecuados de riesgo y prevención.

CUADRO 13.2. *Plan de Mitigación del Riesgo Volcánico*
(Barberi, 1995)

| | |
|--|--|
| <i>Evaluación de la peligrosidad</i> | Historia eruptiva Modelo de comportamiento Modelos físicos Simulación numérica |
| <i>Evaluación de la vulnerabilidad y del valor</i> | Vidas humanas Edificios, industrias Medios de salvamento (<i>lifeline</i>) Aspectos médicos |
| <i>Evaluación del riesgo</i> | Peligrosidad \times valor \times vulnerabilidad |
| <i>Prevención</i> | Planes de emergencia Educación Intervención de mitigación |
| <i>Emergencia</i> | |

Mientras consiguen ser autosuficientes en volcanólogos e infraestructuras organizativas de emergencia, los científicos de países desarrollados deben suministrar asistencia mutua a través de cooperación bilateral o programas internacionales.

4. Protección Civil y planes de emergencia

En el cuadro 11.2 se expone esquemáticamente la estructura de un *Plan de Mitigación* ante el Riesgo Volcánico.

El concepto de *peligrosidad* es un parámetro difícil de cuantificar cuando hay que evaluar el riesgo en términos económicos. Una primera norma que se puede dar con carácter general para mitigar el riesgo volcánico es la de confeccionar un Plan de Ordenación Territorial que prohíba la instalación de bienes valiosos en las proximidades de un volcán potencialmente peligroso.

Las directrices fundamentales que todo Plan de Protección Civil ante el riesgo volcánico (y en general ante cualquier riesgo natural) tienen que plasmarse en un instrumento técnico-jurídico dirigido a definir los requisitos mínimos de actuación que permitan una acción integrada de los distintos servicios y adminis-

traciones en situaciones de emergencia. Para que el plan resulte efectivo es necesario que exista una perfecta coordinación entre el grupo de científicos y las autoridades encargadas de la emergencia. Los científicos deben tener un protocolo de actuación para suministrar una información a las autoridades competentes que sea clara, precisa y no manipulable por políticos o medios de comunicación.

La política integral que una protección civil debe contemplar ante el riesgo volcánico comprende un conjunto de elementos básicos para su planificación relacionados con la estructura expuesta en el cuadro 13.2. Wenger (1989) también definió una serie de recomendaciones muy útiles para los que elaboran los planes de protección civil, tales como: la planificación tiene que englobar a todos los riesgos posibles que se deriven de la erupción; hay que transmitir a través de cursos, jornadas, publicaciones y otros medios de difusión ese proceso de planificación; la planificación debe considerar acertadamente el comportamiento de la población y de los organismos durante la catástrofe; hay que contar con varias fuentes de comunicación para transmitir la alarma y definir la mejor manera de comunicar los mensajes informativos; hay que adaptar cualquier plan de emergencia a las características sociales y culturales de la región amenazada.

Los contenidos fundamentales que se deben incluir en un Plan de Protección Civil son:

Estudio y Prevención del riesgo. Esto requiere tener realizados los estudios de riesgo y tener previstas las medidas que hay que adoptar para reducir la probabilidad de que se produzca el fenómeno catastrófico. Hay que mantener bajo observación continua de vigilancia el volcán ante una posible erupción y disminuir la vulnerabilidad de los elementos de riesgo.

La prevención debe tener en cuenta algo más que el fenómeno natural, pues la repercusión de una catástrofe volcánica tiene una fuerte componente social. De ahí que en los equipos multidisciplinares que componen los grupos de estudio y prevención sea necesario contar con sociólogos, psicólogos y otros especialistas en ciencias sociales.

Planificación de emergencias. Supone tener previstas las acciones a desarrollar en caso de erupción, así como la estructura funcional y orgánica para ejecutarlas. Pero difícilmente se podrán hacer previsiones organizativas que tengan éxito si previamente no se tienen en cuenta los factores de riesgo existentes, su distribución territorial y sus probables consecuencias sobre bienes y personas.

Actuación en emergencias. Comprende el conjunto de medidas que las distintas autoridades, bien dirigidas y coordinadas, tienen que poner en práctica ante el caso de erupción inminente para alertar a la población y a todos los servicios de intervención previstos en la planificación. Entre las medidas fundamentales está el suministro y la puesta a disposición de los servicios de intervención de todos aquellos medios, recursos y servicios de primera necesidad.

El Plan de Evacuación. De todas las medidas que hay que tomar en una situación de emergencia, la más difícil de adoptar es la de dar la orden de evacuación. Aunque hay una creencia muy extendida de que la población coopera y evacua rápidamente cuando lo indican las autoridades, varios estudios en Estados

Unidos indican que la mayoría de las personas no obedecen fácilmente ante avisos de evacuación. Numerosos factores influyen en la colaboración de los ciudadanos con las autoridades cuando éstas ordenan la evacuación, como son: alojamiento alternativo, protección de sus casas y bienes, alimento, empleo. También, consideraciones políticas pueden influir en la decisión de evacuar.

Las evacuaciones producidas por erupciones volcánicas son muy variables en número y condiciones, desde pocas personas por unos pocos días, a asentamientos permanentes para miles de personas. Por la experiencia de evacuaciones realizadas en bastantes crisis volcánicas se concluye que (Blong, 1984):

— La evacuación forzada es relativamente ineficaz.

— La evacuación voluntaria requiere a menudo incentivos.

— Los planes de evacuación deben ser conocidos por la población antes de que ocurra la crisis volcánica.

— La evacuación depende de una eficaz comunicación y transporte.

— Las rutas de evacuación deben estar claramente indicadas y libres hasta que se termine la evacuación.

— Las familias deben evacuarse juntas.

— Muchos de los evacuados no usan los medios públicos que se ponen a su disposición.

Rehabilitación. Comprende el conjunto de actividades dirigidas a restablecer lo antes posible todos los servicios públicos fundamentales que están previstos destruya o afecte la erupción. Igualmente es necesario rehabilitar lo antes posible las condiciones ambientales y socioeconómicas mínimas para normalizar la vida de las comunidades afectadas.

Actividades de Formación, Información y Divulgación del plan. Mucha parte del éxito de las medidas previstas en los apartados anteriores pasan por tener bien desarrolladas las actividades de formación, información y divulgación de las mismas. Si la población no conoce a través de las autoridades los planes de

emergencia elaborados por los técnicos, el riesgo de caos ante una erupción se tiene asegurado. Es muy importante que los ciudadanos conozcan las medidas de prevención a adoptar y el comportamiento que deben seguir en caso de emergencia.

Los datos suministrados por la monitorización del sistema de vigilancia de un volcán o la previsión de erupción no reducirán el riesgo volcánico a menos que puedan ser comunicados con efectividad, y en tiempo oportuno, por las autoridades encargadas de la emergencia.

Bibliografía

- Barberi, F. (1995): «Mitigación de riesgos volcánicos», en *Reducción de Riesgos Geológicos en España*, ITGE-Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, pp. 49-54.
- Barberi, F.; Carapezza, M. L.; Valenza, M. y Villari, L. (1993): «The control of lava flow during the 1991-1992 eruption of Mt. Etna», *Journal Volcanology Research*, 56, pp. 1-34.
- Blong, R. J. (1984): *Volcanic Hazards: A Sourcebook on the Effects of Eruptions*, Orlando, Florida. Academic Press. 424 pp.
- Casadevall, T. J. (1994): «Volcanic ash and aviation safety», Proceedings of the First International Symposium on Volcanic Ash and Aviation Safety. *U.S. Geological Survey Bulletin*, 2.047.
- Committee for disaster research of the science council of Japan (1989): *International Decade for Natural Disaster Reduction*, S.C.J., Tokio. 20 pp.
- McCormick, M. P. (1992): «Initial assessment of the stratospheric and climatic impact of the 1991 Mount Pinatubo eruption: Prologue», *Geophysical Research Letters*, 19, pp. 149-150.
- Fisher, R. V.; Heiken, G. y Hulen, J. B. (1997): *Volcanoes. Crucibles of Change*, Princeton University Press, p. 317.
- Icog (1997): *Guía Ciudadana de los Riesgos Geológicos*, Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, editores, Suárez, L. y Regueiro, M., 196 pp. Versión española (ampliada) de *The Citizens' Geologic Hazards*. The American Institute of Professional Geologists. 134 pp.
- Klein, F. (1982): «Patterns of historical eruptions at hawaiian volcanoes», *Journal Volcanology Research*, 12, pp. 1-35
- Kondratyev, K. Y. y Cracknell, A. D. (1998): *Observing Global Climate Change*, Taylor & Francis Ltd., Londres, p. 562.
- Smart, G. M. (1981): «Volcanic debris control, Gunung Kelut, East Java», *International Association of Hydrological Sciences Publication*, 132, pp. 604-623.
- Tilling, R. y Lipman, P. W. (1993): «Lessons in reducing volcano risk», *Nature*, vol. 362, pp. 277-280.
- Time-Life (1986): *Los volcanes*, ed. Planeta, pp. 176. Traducción del original titulado *Volcano* (1982), Ed. Time-Life Books Inc.
- Wenger, D. (1989): «Volcanic disaster prevention, warning and rescue», en *Kagoshima International Conference on Volcanoes 1988*. Proceedings, NIRA, Tokio, pp. 682-685.