

Predicción de erupciones

De cuanto antecede resulta evidente que el evitar las pérdidas de vidas y los daños a los bienes durante las erupciones depende mucho de una predicción razonablemente exacta del momento, el lugar y la naturaleza de las erupciones, así como del comportamiento y la trayectoria de las diferentes clases de torrentes y de la distribución y el espesor de la tefra. El tipo, la gravedad y la duración de la erupción son tan importantes, por lo menos, como el momento de su producción. Hasta la fecha, la mejor base para predecir la naturaleza de una próxima erupción es la analogía con erupciones anteriores del mismo volcán, teniendo en cuenta también, en algunos casos, el tiempo transcurrido desde la última erupción. Los distintos volcanes seguirán comportándose probablemente del mismo modo durante muchos siglos y muchas erupciones. La determinación de la historia del volcán requiere un estudio geológico, para averiguar la composición y los tipos de torrentes de lava y de tefra, la proporción de tefra y su distribución, la existencia o inexistencia de domos y depósitos de aludes incandescentes, torrentes de cenizas y lahars, la amplitud de los torrentes, etc. La determinación de la edad de las rocas puede dar cierta idea de la frecuencia de las erupciones anteriores. Estudios detenidos de esta índole sólo se han hecho hasta ahora de una pequeña proporción de los volcanes de la tierra potencialmente activos.

En algunos volcanes, la duración del período de reposo desde la última erupción ofrece alguna indicación de la naturaleza probable de la siguiente. Por ejemplo, en el Hekla, Islandia, un breve período de inactividad suele ir seguido de una erupción relativamente suave, en tanto que un largo período de tranquilidad termina con un explosión violenta (Thorarinsson, 1967a).

La predicción exacta de las trayectorias de los torrentes requiere un buen mapa topográfico del volcán y sus alrededores a escala razonablemente grande (preferiblemente no inferior a 1:50.000); se dispone de esos mapas sólo con respecto a un número relativamente reducido de volcanes.

La predicción del momento de una próxima erupción es útil en proporción directa a su exactitud. Las predicciones generales en el sentido de que el volcán se muestra inquieto y puede entrar en erupción en las próximas semanas o los próximos meses son útiles principalmente para alertar a los observadores y los organismos de socorro para que estén dispuestos a actuar, y a las personas que viven en las proximidades del volcán a fin de que estén listas para su evacuación o para buscar alguna clase de protección en el momento en que se les dé una alerta y unas instrucciones más concretas. No cabe insistir demasiado en que las falsas predicciones pueden producir un grave perjuicio, a causa de la pérdida de la confianza de la población alertada y, en consecuencia, de su falta de respuesta a alertas futuras. En el estado actual de los conocimientos, deben preverse algunas equivocaciones, pero es mejor errar no dando la alerta que anunciar gran número de acontecimientos que no se produzcan. A continuación se hace un breve comentario de las bases comúnmente utilizadas para predecir el momento de las erupciones.

La periodicidad del volcán puede usarse de forma muy general, si es que puede apreciarse. Así, en los últimos 150 años, las erupciones en la cumbre del Mauna Loa, en Hawái, han ido seguidas en un plazo de unos tres años por erupciones en sus flancos. Sin embargo, el intervalo ha variado entre menos de 6 y 38 meses, y

algunas erupciones en la cumbre han sido seguidas por otra de la misma clase y no por una erupción lateral, por lo que toda predicción hecha sobre esta base es necesariamente muy inexacta. En la mayoría de los restantes volcanes no se ha observado ninguna periodicidad regular.

A veces puede apreciarse una periodicidad de acontecimientos dentro de una misma erupción. Así, durante la erupción de 1924 del Kilavea, una regularidad de esta clase permitió predecir el momento en que se producirían distintas explosiones y lanzar la alerta contra ellas.

Algunas observaciones sugieren que las erupciones de algunos volcanes pueden ser provocadas por las mareas u otras fuerzas astronómicas, que son a su vez cuasiperiódicas (Hamilton, 1973; Mauk y Johnston, 1973). Durante el período comprendido entre enero de 1972 y junio de 1974 hubo una marcada correlación entre las erupciones del Ngaurahoe, en Nueva Zelanda, y las mareas máximas; las erupciones solían preceder a esas mareas en unos días (Michael y Christofelli, en prensa). Otros investigadores creen haber encontrado correlaciones directas con las fases de la luna (Perret, 1950, pág. 129; Taylor, 1960).

Algunos indicios sugieren que existe una relación entre los terremotos tectónicos y las erupciones subsiguientes, pero en otras partes parece no existir relación alguna (Berg y Sutton, en preparación; Blot, 1973; Tokarev, 1959; Latter, 1971). Indudablemente, la relación es todavía demasiado vaga para poder utilizarla en las predicciones.

Algunas erupciones van precedidas por cambios en las fumarolas o fuentes termales del volcán: aparición de otras nuevas, aumentos de temperatura o cambios de composición de los gases. Así, la erupción de 1965 del Taal fue precedida por un aumento de 11° en la temperatura del lago del cráter; y en el Aso, Japón, la temperatura puede elevarse hasta que el lago hierve, quedando completamente seco, antes de la erupción. Sin embargo, la duración del período de aumento de la temperatura oscila entre unos días y varios años, y en algunos casos la temperatura ha vuelto a ser normal sin que haya habido ninguna erupción. En otros volcanes no se ha producido antes de las erupciones ningún aumento de la temperatura de las fumarolas (Neumann van Padang, 1963).

En el Asama y el Mihara, en el Japón, la proporción de gases sulfúreos y halógenos de las fumarolas ha aumentado antes de algunas erupciones, pero en cambio antes de otras y en otros volcanes no se ha registrado ningún incremento. Sin embargo, el método parece suficientemente prometedor para merecer nuevas investigaciones. Teniendo en cuenta los recientes perfeccionamientos de la cromatografía en fase gaseosa y de la transmisión electrónica de datos químicos y temperaturas, resulta procedente intensificar la observación de las fumarolas.

Los cambios de temperatura pueden detectarse también mediante sensores remotos infrarrojos, estaciones terrestres, fotografías aéreas o satélites artificiales (Fisher y otros, 1964; Moxham, 1971).

Antes de las erupciones pueden producirse también cambios en el magnetismo y en las corrientes eléctricas de la tierra, presuntamente como consecuencia de cambios del régimen térmico dentro del volcán. Minakami (1935) ha informado de

rápidos cambios de la potencia de las corrientes terrestres unas horas antes de producirse distintas explosiones del Asama, en el Japón, pero apenas se han comunicado otros trabajos de esta índole. Parece conveniente realizar al respecto nuevas investigaciones. Cambios marcados de la intensidad del campo magnético se observaron antes de la erupción de una chimenea lateral (cráter Piip) en el Kliuchevskoi, Kamchatka, en 1966 (Gorshkov y Kirsanov, 1968); y en Honolulu, a 300 km del volcán, se produjo antes de las erupciones de 1942 del Mauna Loa una peculiar fluctuación del componente vertical del campo magnético (Macdonald, 1951). Un aumento de la deriva del campo magnético se ha observado varios meses antes de las erupciones del Mihara (Rikitake y otros, 1963). En otros volcanes se han realizado pocos trabajos continuados sobre las corrientes telúricas o las variaciones magnéticas, pero los cambios observados parecen justificar ulteriores estudios.

En varias ocasiones se ha observado que los animales que se encuentran en el volcán o en sus proximidades se mostraban inquietos varios días antes de una erupción. Así, el ganado empezó a abandonar el volcán Arenal dos semanas antes de la erupción de 1968, aunque los habitantes de la zona sólo sintieron los primeros terremotos dos días antes de la erupción (Melson y Sáenz, 1968). En el Kilauea, en 1955, los perros se mostraron intranquilos y comenzaron a escarbar la tierra y husmear los agujeros como si persiguieran algún animal en su madriguera unos 4 días antes de la erupción (Macdonald e Eaton, 1964). Los observadores no pudieron detectar ningún olor de gas ni ninguna otra razón para la inquietud de los perros. Sin embargo, un sismógrafo situado a algunas millas estaba registrando cientos de terremotos demasiado pequeños para que la población los notara, y esos terremotos pueden haber inquietado a los perros. Sabida es la sensibilidad de algunos animales a los temblores de tierra que las personas no pueden sentir. No había sismógrafos suficientemente cerca del Arenal para saber si los animales pudieron haber sido intranquilizados también por pequeños terremotos. La inquietud de los animales debe tenerse en cuenta, juntamente con cualesquiera otros signos, al intentar predecir las erupciones.

Hasta la fecha, los instrumentos geofísicos más útiles para la predicción de las erupciones han sido las deformaciones del suelo y los terremotos. Hace más de medio siglo, T. A. Jaggar y H. C. Wood observaron ciclos de basculación de la superficie del Kilauea, que atribuyeron a elevaciones y descensos de la cumbre del volcán como consecuencia de cambios de presión en el depósito de magma subyacente (Jaggar y Finch, 1929). Recientemente, mediciones más detalladas con instrumentos más perfectos han confirmado el fenómeno, indicando que la cámara magmática tiene una estructura esponjosa complicada, a unos 3 ó 4 km por debajo de la superficie, en la que el centro de intumescencia se desplaza (Fiske y Kinoshita, 1969). La intumescencia es generalmente máxima antes de la erupción, y luego disminuye cuando la presión del magma se reduce por una erupción lateral. Durante las erupciones en la cumbre la deflación puede ser escasa o nula, pero las erupciones laterales pueden disminuir tanto la presión que se produzca el hundimiento de la zona de la cumbre. Hasta la fecha no se puede señalar ninguna magnitud crítica de intumescencia para que se produzca la erupción, aunque sí decir cuando el volcán está dispuesto para ello. La hinchazón del volcán se observa por medio de inclinómetros, por altimetría de precisión y por geodímetros que miden los cambios de longitud de las cotas de la cumbre del volcán. El Mauna Loa se hincha también antes de las erupciones, pero los datos son mucho menos precisos, en parte porque el volcán ha

permanecido inactivo desde la instalación de instrumentos modernos sensibles. Se ha observado también tumescencias antes de las erupciones de otros volcanes como, por ejemplo, en el Merapi y en el Manam, en Nueva Guinea (Taylor, 1963). Sin embargo, en otros, como el Etna, no se ha detectado ninguna intumescencia, quizá porque sus cámaras magmáticas están demasiado lejos de la superficie (Rittmann, 1963).

En algunos volcanes se han producido deformaciones muy marcadas del suelo, como por ejemplo en el Usu, Japón, en 1943 en que el suelo se alzó unos 50 m antes de comenzar la verdadera erupción (Minakami y otros, 1951). El levantamiento del litoral precedió a la erupción del Monte Nuovo, en los Campi Flegrei cerca de Nápoles, en 1538, y puede esperarse en otros volcanes ribereños e insulares. Las mediciones instrumentales de las deformaciones de la superficie del suelo han sido detenidamente estudiadas por Decker y Kinoshita (1971).

Muchas erupciones son precedidas por terremotos. El número de terremotos apreciados por las personas que se encuentran en el volcán o en sus proximidades oscila entre muchos y ninguno, pero cuando existen sismógrafos de sensibilidad por lo menos moderada en la zona generalmente se aprecia que el número de temblores demasiado débiles para ser notados excede en mucho del de los temblores apreciados. El período de temblores anormalmente frecuentes que precede a una erupción varía entre menos de una hora y varios años, de forma que si no se ha determinado alguna relación más definida para el volcán de que se trate, la aparición de actividad sísmica no permite ninguna predicción exacta del momento de la erupción. Además, el esquema de la producción de los temblores varía mucho en sus detalles. A veces, el número de temblores aumenta regularmente hasta el momento de la erupción. Así, antes de la erupción de 1955 del Kilauea se produjo un constante aumento de la frecuencia de los terremotos durante unos 4 meses. Desde un promedio de unos 25 temblores mensuales registrados en un sismógrafo de sensibilidad sólo moderada situado a 6 km del punto de posible erupción, el número aumentó hasta unos 60 en noviembre de 1954, y a 90 en diciembre. En enero, el número aumentó hasta un promedio de 6 diarios, y a principios de febrero a 15 diarios; el 24 de febrero se registraron unos 100, el 25 de febrero 300, el 26 de febrero 600 y el 27 de febrero 700. La erupción comenzó en las primeras horas del 28 de febrero. Después, las series de terremotos permitieron prever el lugar, y a veces la hora aproximada de nuevos estallidos ocurridos durante la misma erupción. En otros preludios se ha producido una brusca disminución del número de terremotos unas horas o unos días inmediatamente antes de la erupción; sin embargo, disminuciones análogas pueden ocurrir una o varias veces durante el preludio. Hay otras series de temblores que terminan sin que se produzca ninguna erupción. En el Kilauea pueden producirse series de temblores de apariencia análoga durante la hinchazón del volcán, que puede producir una erupción, o durante su contracción como resultado del drenaje de magma de su cámara subyacente. Las mediciones de inclinación permiten decir qué tipo de cambio se está produciendo.

En el volcán Asama, Minakami (1959) distingue tres clases de terremotos. Los temblores del tipo A se producen a profundidades de 1 a 10 km por debajo del cráter; los del tipo B a menos de 1 km; y los del tercer tipo son consecuencia de explosiones ocurridas en el mismo cráter o inmediatamente debajo. Utilizando una fórmula empírica basada en la frecuencia de los temblores del tipo B, Minakami asigna un coeficiente de probabilidad de producción de un episodio eruptivo en un plazo

de 5 días. En el Sakurajima, series de terremotos del tipo B preceden a grupos de explosiones en 10 ó 15 días (Minakami y otros, 1960). Tokarev (1963) observa que en el Bezymianny se producen terremotos del tipo B de 30 a 50 días antes de una erupción. Utilizando el principio de las curvas de tensión-descarga imaginadas por Benioff (1951) ha elaborado una fórmula para predecir episodios explosivos aislados aproximadamente con una semana de anticipación. En su opinión, el método puede utilizarse también para otros volcanes. Sería necesario ensayarlo.

Hasta ahora no se ha encontrado ninguna relación clara entre el número de terremotos de un prelude, o la energía total liberada por ellos, y la magnitud de la erupción subsiguiente.

Los temblores volcánicos son vibraciones rítmicas del suelo que parecen claramente relacionadas con los movimientos del magma subterráneo y producen una ondulación regular característica de la línea de un sismógrafo (Shimozoru, 1971). Parecen ser más frecuentes en los volcanes basálticos o andesíticos. Su aparición durante una serie de terremotos aumenta la probabilidad de la inminencia de una erupción, pero a menudo el período que transcurre entre su observación y la salida de la lava es sólo de unos minutos o menos.

Por lo tanto, no se conoce ningún indicador simple para predecir con seguridad las erupciones. Los mejores resultados se han obtenido combinando varias indicaciones diferentes. Así, R. H. Finch combinó la periodicidad un tanto vaga del Mauna Loa con la intumescencia del volcán indicada por mediciones de inclinación y con una serie de terremotos que se desplazaban por una de las zonas de dislocación del volcán para hacer una predicción inusitadamente exacta de la erupción de 1942 (Macdonald, 1972, pág. 418).

La tendencia actual en la observación de los volcanes es utilizar una instrumentación complicada y costosa. Cuando esto no resulte económicamente viable, todavía será posible realizar una gran labor con medios más sencillos. Los sismógrafos mecánicos de amplificación moderada son relativamente baratos tanto en costo de adquisición como en gastos de personal, y a menudo pueden ser suficientes. Los inclinómetros acuotubulares sencillos son también baratos; y la medición de la apertura y el cierre de las fisuras en la región de la cumbre ofrece la misma información que las mediciones geodimétricas. Las temperaturas fumarólicas pueden medirse por un observador con un termómetro de máxima ordinario. La telemetría ahorra esfuerzo físico, pero no es indispensable.

Zonificación volcánica

La delineación de zonas de tipos y grados de peligro como consecuencia de volcanes se conoce generalmente por zonificación volcánica. En diversas partes del mundo se está intentando determinar qué volcanes son potencialmente peligrosos, y señalar en mapas las zonas expuestas a diferentes grados y tipos de riesgos, pero hasta la fecha los trabajos de esta índole han sido muy limitados. Debería hacerse mucho más, y tan rápidamente como fuera posible, antes de que se produzca otra catástrofe. Se trata de la única base lógica para las decisiones que deben tomarse cuando comienza o parece inminente una erupción acerca de las zonas que deben evacuarse y de los períodos de evacuación.

Los primeros mapas de zonificación parecen haber sido trazados por el Estudio Vulcanológico de las Indias Neerlandesas después de la erupción de 1919 del Kelud (Neumann van Padang, 1960). Las zonas señaladas como peligrosas eran principalmente las que habían sido devastadas anteriormente en los tiempos históricos y mostraban claramente los efectos de la topografía en los torrentes (fig. 18). El Estudio Geológico de Indonesia está continuando la tarea (fig. 19). En los últimos años se han preparado mapas similares para algunos volcanes de Kamchatka (Gorshkov, comunicación personal, 1973). En Nueva Zelandia se ha hecho una evaluación general de los riesgos volcánicos para la ciudad de Auckland (Searle, 1964).

En el Mayón, en Filipinas, se ha delimitado una zona de peligro permanente, en un radio de 6 km desde la cumbre de la montaña. Durante la erupción de 1968 se señalaron otras zonas de peligro de lahars, cuyos límites se modificaron teniendo en cuenta los cambios de las condiciones eruptivas (Fernández, 1971).

Después de la destrucción de la aldea de Kapoho por la erupción del Kilauea en 1960, el autor del presente documento preparó, para el Better Business Bureau de Hawai, una evaluación del grado de riesgo de torrentes de lava en la parte oriental de la zona de dislocación oriental del Kilauea, y posteriormente se hizo una evaluación similar, para un importante terrateniente, del riesgo en las partes meridional y occidental de la isla de Hawai. Se calculó la probabilidad de destrucción de toda pequeña parcela en un período de 30 años (duración media de la vida de una vivienda de madera en ese clima), para zonas sucesivas de distancia a las chimeneas en las zonas de dislocación, teniendo en cuenta la proporción de tierras de cada zona cubiertas por la lava en los tiempos históricos, es decir, unos 150 años. Los datos son insuficientes para un análisis estadístico seguro, pero dan por lo menos una idea aproximada del grado de riesgo. Recientemente, D. R. Mullineaux, del Estudio Geológico de los Estados Unidos, ha realizado un estudio más detallado, pero sus conclusiones no se han publicado aún.

Hace unos 20 años, la preparación de mapas de los depósitos superficiales del Mount Rainier y de sus proximidades por geólogos del Estudio Geológico de los Estados Unidos condujo a la apreciación de los peligros, especialmente como consecuencia de lahars, en esa zona (Crandell y Waldron, 1956). Esto, a su vez, ha llevado a estudiar varios otros volcanes, evaluando los riesgos potenciales de cada uno (Crandell y Mullineaux, 1967, 1970; Crandell y Waldron, 1969), y a la publicación de un mapa de las zonas peligrosas próximas al Mount Rainier (Crandell, 1973). En la figura 20 aparece una versión simplificada del mapa. Continúa el estudio de otros volcanes de la sierra Cascade y la preparación de los mapas de las zonas de peligro correspondientes.

Uno de los principales riesgos de los volcanes de la sierra Cascade, como de los volcanes similares de otras partes, es el de los daños causados por las cenizas aéreas. La predicción de las zonas que pueden resultar afectadas de esta manera requiere la preparación de mapas que muestren la amplitud y el espesor de las posibles precipitaciones de cenizas de cada volcán, para diversas intensidades de erupción y diversas direcciones e intensidades de los vientos superiores e inferiores (Crandell y Waldron, 1969). La figura 21 muestra un ejemplo.

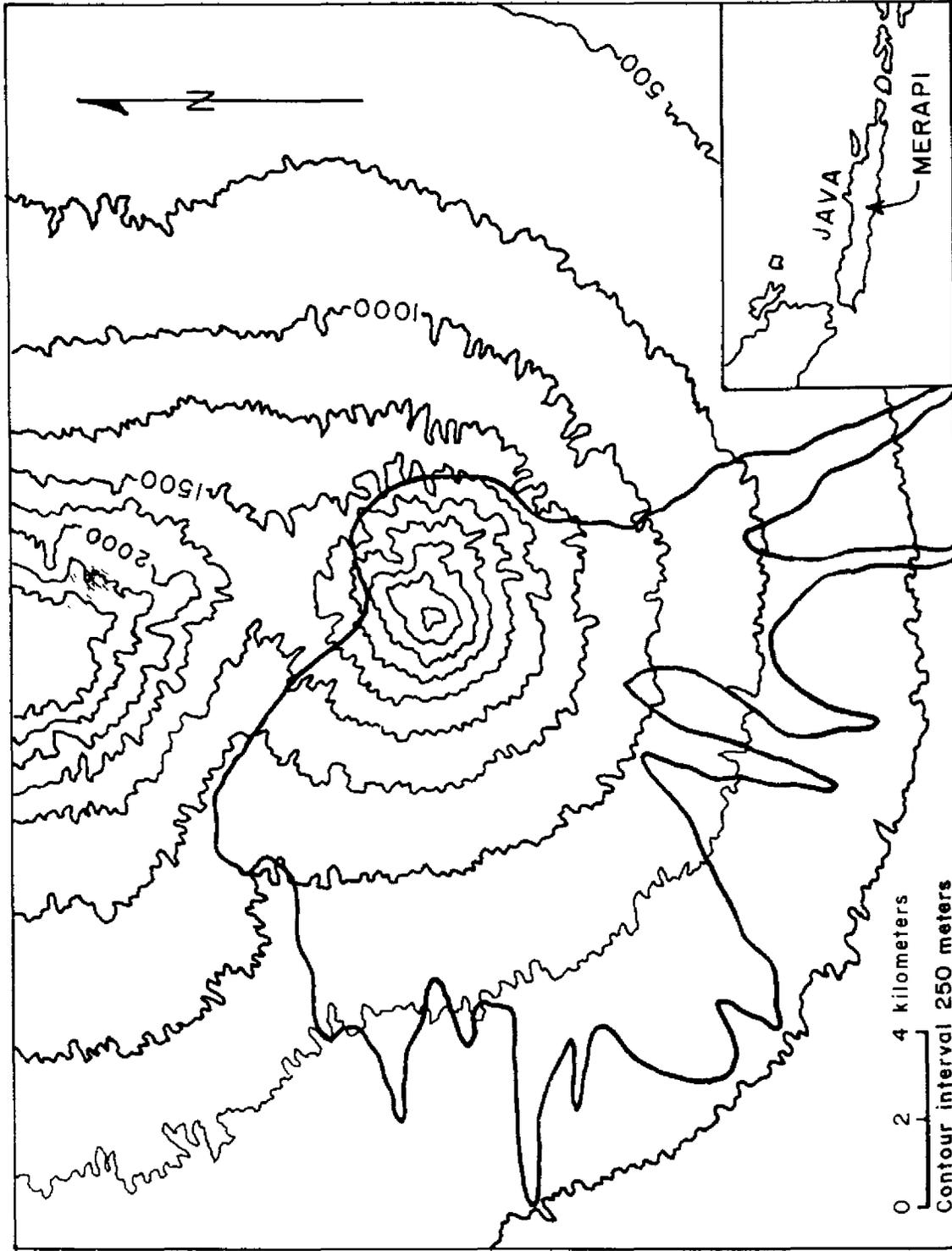
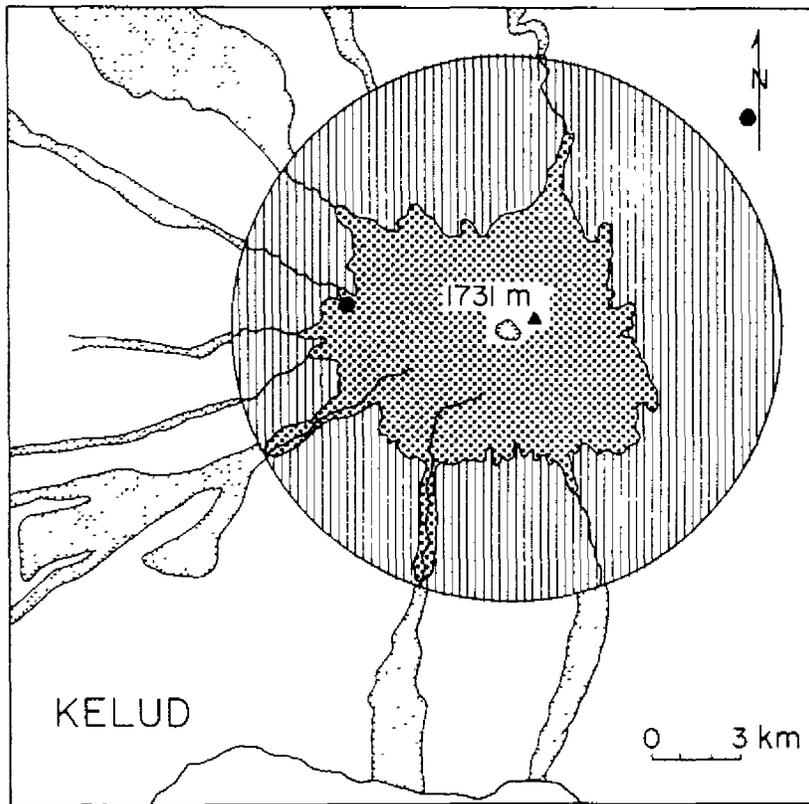
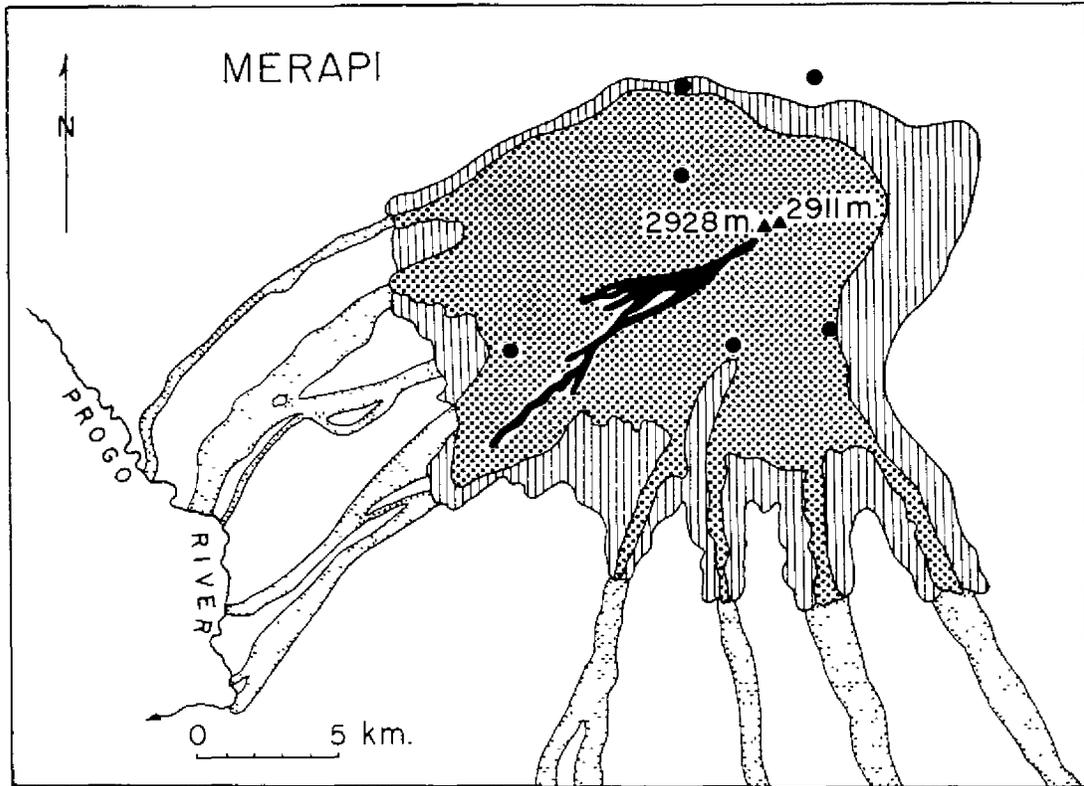


Figura 18. Mapa del volcán Merapi, Java, que muestra la zona de peligro de aludes incandescentes, diseñado por el Estudio Vulcanológico de las Indias Neerlandesas alrededor de 1934. (Según Neumann van Padang, 1960).



EXPLANATION

-  Permanently off limits
-  Danger zone 1
-  Danger zone 2
-  Safety zone
-  Glowing avalanches
-  Observatory

(Véase al dorso)

Figura 19. Mapas de las zonas que rodean a los volcanes Merapi y Kelud, en Java, que muestran las zonas de peligro. Los mapas son simplificaciones de los trazados por el Estudio Geológico de Indonesia. La zona interior es peligrosa incluso en las pequeñas erupciones, y se aconseja que nadie viva en ella en ningún momento. (Compárese con la figura 18). La zona 1 es peligrosa durante las grandes erupciones, y la zona 2 está expuesta al peligro de lahars. (Según Suwa, 1973).

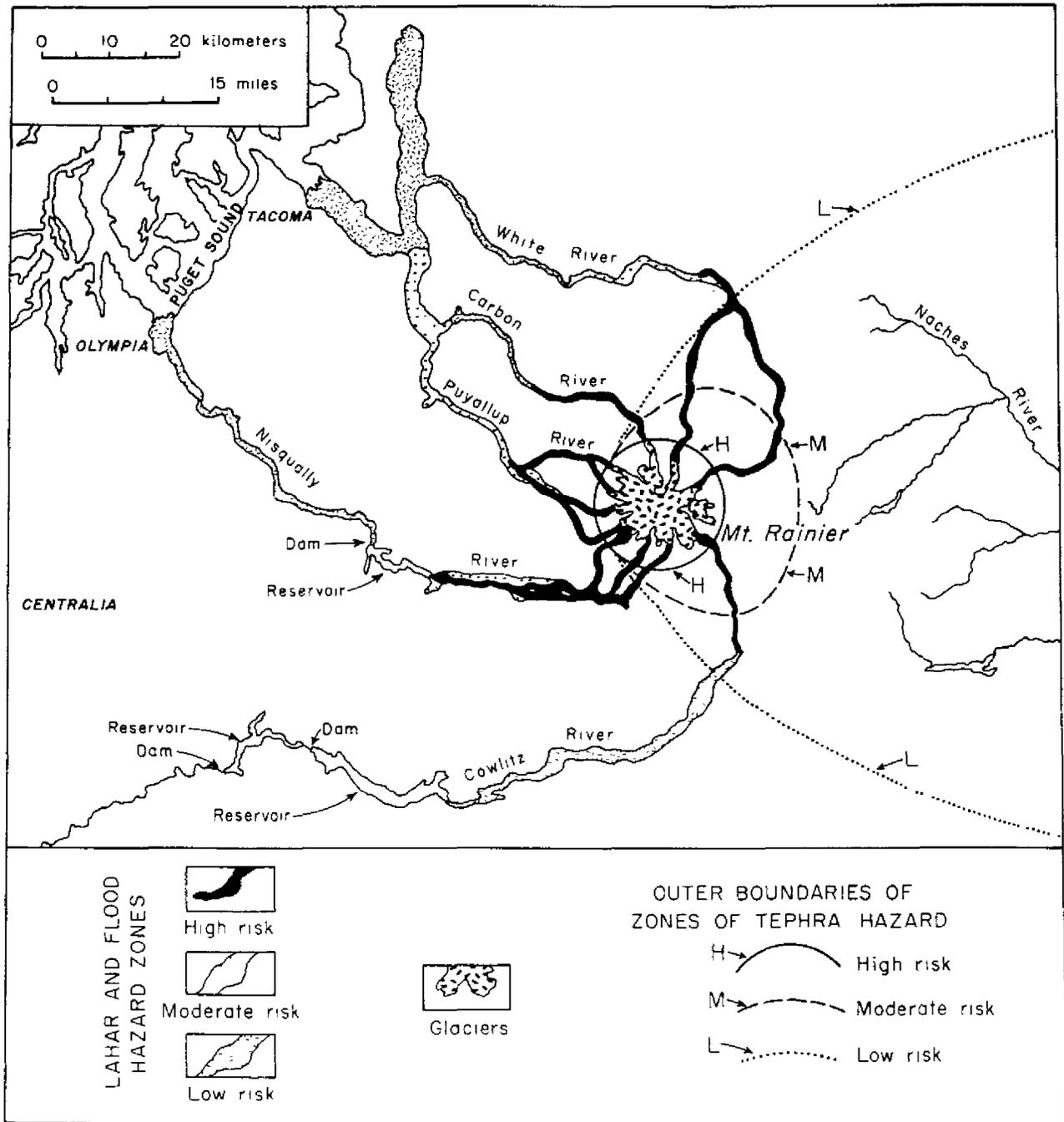
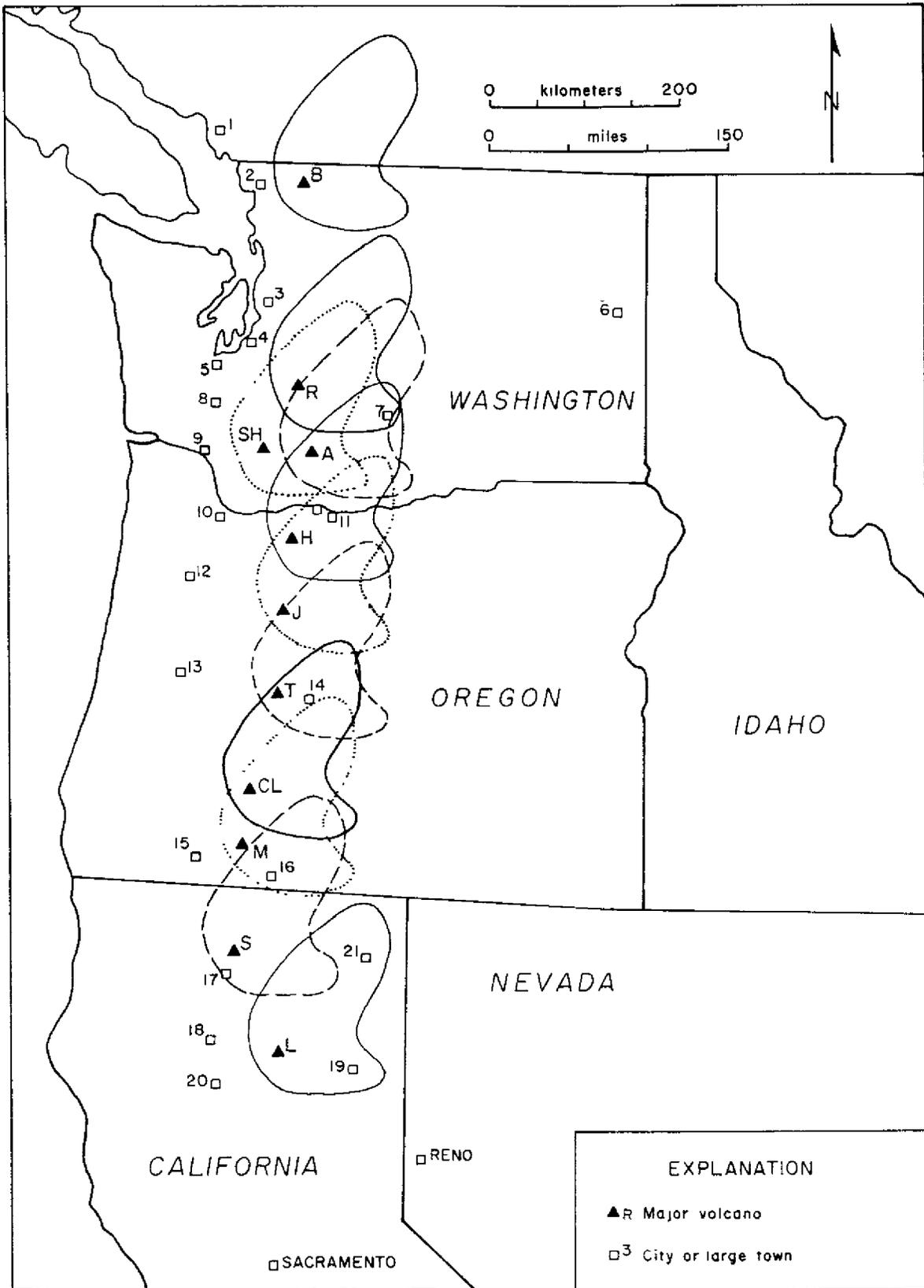


Figura 20. Mapa que muestra las zonas de peligro en las proximidades del Mount Rainier, Washington. (Simplificado según Crandell, 1973).



(Véase al dorso)

Figura 21. Mapa que muestrala ubicación de los principales volcanes de la sierra Cascade, en el noroeste de los Estados Unidos y, sobre cada uno de ellos, el esquema de distribución de las cenizas durante la erupción del Mount Mazama, unos 4.000 años antes de J.C. Compárese con la figura 5. (Según Crandell y Waldrón, 1969). Las letras y los números indican, respectivamente, los volcanes y algunas de las ciudades de la región, del siguiente modo: A: Mount Adams; B: Mount Baker; CL: Lago Crater (Mount Mazama); H: Mount Hood; J: Mount Jefferson; L: Mount Lassen; M: Mount McLaughlin; R: Mount Rainier; S: Mount Shasta; SH: Mount Saint Helens; y T: Three Sisters: 1: Vancouver; 2: Bellingham; 3: Seattle; 4: Tacoma; 5: Olympia; 6: Spokane; 7: Yakima; 8: Centralia; 9: Longview; 10: Portland; 11: Hood y The Dalles; 12: Salem; 13: Eugene; 14: Bend; 15: Medford; 16: Klamath Falls; 17: Dunsmuir; 18: Redding; 19: Susanville; 20: Red Bluff; y 21: Alturas.

Otros organismos y agrupaciones se están ocupando de la cuestión. Así, estudios geológicos han hecho recientemente que el National Park Service cerrase un importante terreno para acampar situado cerca del Mount Lassen, en California, y abriese uno nuevo en una zona más segura. Ultimamente se ha preparado para el poder legislativo del Estado de Washington un informe sobre los peligros volcánicos (Cullen, 1974), a fin de ayudar en la planificación de futuros aprovechamientos de la tierra.

Papel del vulcanólogo

El vulcanólogo debe desempeñar un doble papel. Debe ser a un tiempo hombre de ciencia y humanista. En el aspecto científico, ha de reunir, analizar e interpretar los datos, e intentar predecir el momento y el tipo de la erupción, y la naturaleza y la amplitud de los daños que puede causar. La predicción puede considerarse como ciencia pura, en el sentido de que el grado de su cumplimiento constituye una prueba de la exactitud de los datos y de su interpretación y de la comprensión del mecanismo volcánico. Evidentemente, tiene también su aspecto muy práctico, ya que una predicción acertada puede significar un gran ahorro de vidas y bienes. El vulcanólogo debe dar publicidad a sus predicciones, aún a riesgo de perjudicar su reputación científica si se equivoca, y debe explicar plenamente las bases en que funda sus predicciones. Además, tanto las predicciones como las explicaciones deben hacerse en lenguaje sencillo, asequible a los no científicos. Deben evitarse las expresiones y el vocabulario científico especializados.

El vulcanólogo debe desarrollar su capacidad para trabajar con personas no científicas -funcionarios gubernamentales y representantes de organizaciones de socorro en casos de desastre- para comprender sus problemas y necesidades y hacer que comprendan la clase de información que puede proporcionar, sus fundamentos y sus limitaciones. También debe establecer relaciones con los residentes de las zonas afectadas, y no sólo con los dirigentes de las comunidades, sino con la población en general. Los habitantes deben conocerlo y él a ellos. Debe comprender sus sentimientos y reacciones y su comportamiento en condiciones de tirantez, e intentar aliviar esa tirantez conquistando su confianza. El pánico es una de las posibilidades más peligrosas en cualquier situación de posible peligro. De hecho, puede transformar en un desastre una situación que, de otro modo, no hubiera sido grave. Si los habitantes tienen confianza en el vulcanólogo y éste se molesta en explicarles, en su propio lenguaje, cuál es la situación y que riesgos supone, la probabilidad del pánico puede reducirse mucho. Las personas muestran una gran capacidad para afrontar con ecuanimidad situaciones peligrosas si las comprenden. Lo que aterroriza es el peligro desconocido o incomprendido. Esto se ha señalado por Perret (1950, págs. 151 a 153) y ha sido corroborado muchas veces por la experiencia. La simple presencia del vulcanólogo puede inspirar confianza y calmar la situación.

No obstante, debe haber unos límites claros para las responsabilidades del vulcanólogo, y esto debe comprenderlo el público en general. Así, aunque es tarea del vulcanólogo intentar prever una situación peligrosa, no debe incumbirle ordenar una evacuación. Esto deberá hacerlo un funcionario gubernamental designado, siguiendo sus consejos. El vulcanólogo debe asesorar acerca de la seguridad relativa de las rutas de evacuación, pero la evacuación en sí será dirigida por

funcionarios de policía o de los organismos de socorro en casos de desastre, con arreglo a planes preparados previamente en la medida de lo posible. Debe asesorar sobre la viabilidad de desviar los torrentes mediante barreras o bombardeos, pero la ejecución de las desviaciones no dependerá de él. Los economistas habrán de valorar el costo de la operación en relación con el valor de los bienes que pueda salvar; los juristas deberán estudiar las probables consecuencias jurídicas, etc; teniendo en cuenta todos esos asesoramientos, la decisión de desviar los torrentes se tomará por un alto funcionario gubernamental designado para asumir la responsabilidad.

No todos los científicos están psicológicamente capacitados para hacer frente al aspecto humano de la vulcanología, y no deben abordarlo si no lo están. Pueden desempeñar una gran labor reuniendo los datos científicos e interpretándolos. De otro modo, con las mejores intenciones, pueden enajenarse pronto a las mismas personas que estaban tratando de ayudar. Otros vulcanólogos más dotados deberán encargarse de establecer los contactos con la comunidad.

Bibliografía citada

- Anderson, G. A., 1933, "The Tuscan Formation of northern California, with a discussion concerning the origin of volcanic breccias": Univ. California Publ. Geol. Sci., vol. 23, págs. 215 a 276
- Benioff, H., 1951, "Earthquakes and rock creep", Parte 1, Seismol. Soc. America Bull., vol. 41, págs. 31 a 62
- Berg, E., and Sutton, H. H., Dynamic interaction of seismic and volcanic activity of the Nazca plate edges: Physics of the Earth and Planetary Interiors (en preparación)
- Birnie, R. W., 1973, "Infrared radiation thermometry of Guatemalan volcanoes; Bull. volcanologique, serie 2, vol. 37, págs. 1 a 36
- Blot, C., 1973, "Volcanisme et séismes du manteau supérieur dans l'Archipel des Nouvelles-Hébrides", Bull. volcanologique, vol. 36, págs. 446 a 461
- Bonis, S., and Salazar, O., 1974, "The 1971 and 1973 eruptions of Volcán Fuego, Guatemala, and some socio-economic considerations for the volcanologist," Bull. volcanologique, vol. 37, págs. 394 a 400
- Crandell, D. R., 1973, "Map showing potential hazards from future eruptions of Mount Rainier, Washington" (con texto explicativo): U. S. Geol. Survey, Miscellaneous geologic investigations, Mapa I-836
- Crandell, D. R., and Mullineaux, D. R., 1967, "Volcanic hazards at Mount Rainier, Washington", U. S. Geol. Survey, Bull. 1238, 26 págs.
- _____, 1970, "Potential geologic hazards in Lassen Volcanic National Park, California", U. S. Geol. Survey, Administrative Report, 54 págs.
- Crandell, D. R., and Waldron, H. H., 1956, "A recent volcanic mudflow of exceptional dimensions from Mt. Rainier, Washington", Am. Jour. Sci., vol. 254, pág. 349 a 362
- _____, 1969, "Volcanic hazards in the Cascade Range", Conferencia sobre peligros geológicos y problemas públicos, 27 y 28 de mayo de 1969, Proceedings, Office of Emergency Preparedness, U. S. Govt. Printing Office, págs. 5 a 18
- Cullen, J. M., 1974, Report of the Subcommittee on Volcanic Hazards, Presidente: J. M. Cullen, Senate Commerce Committee, Ad Hoc Committee for the Study of Geologic Hazards in Washington, 9 págs.
- Curtis, G. H., 1954, "Mode of origin of pyroclastic debris in the Mehrten Formation of the Sierra Nevada", Univ. California Berkeley Pub. Geol. Sci., vol. 29, págs. 453 a 502
- Decker, R. W., y Kinoshita, W. T., 1971, "Geodetic measurements", en The Surveillance and Prediction of Volcanic Activity, UNESCO, París, págs. 47 a 74

- Eaton, J. P., y Murata, K. J., 1960, "How volcanoes grow", Science, vol. 132, Nº 3432, págs. 925 a 938
- Elskens, I., Tazieff, H., y Tonani, F., 1964, "A new method for volcanic gas analysis in the field", Bull. volcanologique, vol. 27, págs. 347 a 350
- Fernández, J. C., 1971, "Mayon mudflows", Comvol Letter, vol. 5, Nº 1 y 2, Commission on Volcanology, Manila, 8 págs.
- Finch, R. H., 1930, "Mud flow of Lassen Volcano", Volcano Letter, Nº 266, págs. 1 a 3
- Finch, R. H., y Macdonald, G. A., 1951, "Report of the Hawaiian Volcano Observatory for 1948 and 1949", U. S. Geol. Survey, Bull. 974-D, págs. 103 a 133
- Fisher, W. A., Moxham, R., M, m Polcyn, F., y Landis, C. H., 1964, "Infrared survey of Hawaiian volcanoes", Science, vol. 146, págs. 733 a 742
- Fiske, R. S., y Kinoshita, W. T., 1969, "Inflation of Kilauea Volcano prior to its 1967-68 eruption", Science, vol. 165, págs. 341 a 349
- Gorshkov, G. S., 1959, "Gigantic eruption of the volcano Bezymianny", Bull. volcanologique, vol. 20, págs. 77 a 109
- Gorshkov, G. S. y Kirsanov, I. T., 1968, "Eruption of Piip Crater (Kamchatka)", Bull. volcanologique, vol. 32, págs. 269 a 282
- Hamilton, W. L., 1973, "Tidal cycles of volcanic eruptions: fortnightly to 19 yearly periods", Jour. Geophys. Research, vol. 78, págs. 3363 a 3375
- Jaggar, T. A., 1945, "Protection of harbors from lava flow", Am. Jour. Sci., vol. 243-A, págs. 333 a 351
- Jaggar, T. A., y Finch, R. H., 1929, "Tilt records for thirteen years at the Hawaiian Volcano Observatory", Seismol. Soc. America Bull., vol. 19, págs. 38 a 51
- Johnson, R. W., Davies, R. A., y White, A. J. R., 1972, "Ulawan Volcano, New Britain", Australia Dept. Natl. Development, Bur. Min. Res., Geology and Geophysics, Bull. 142, 42 págs.
- Kemmerling, G. L. L., 1921, "De uitbarsting van den G. Keloet in den nacht van den 19 den op den 20sten Mei 1919", Vulkanol. Mededeelingen Dienst Mijnw., Nº 2, 120 págs.
- Kjartansson, G., 1967, Rummál hraundyngna, Náttúrufræðingurinn, Reykjavík; citado por Noe-Nygaard, 1968
- Lacroix, A., 1904, La Montagne Pelée et ses éruptions, Masson et Cie., Paris, 662 págs.

- Latter, J. H., 1971, "The interdependence of seismic and volcanic phenomena: some space-time relationships in seismicity and volcanism", Bull. volcanologique, vol. 35, págs. 127 a 142
- Lydon, P. A., 1968, "Geology and lahars of the Tuscan Formation, northern California", Geol. Soc. America Mem., N° 116, págs. 441 a 475
- Macdonald, G. A., 1951, "Beginning of geomagnetic observations at Hawaiian Volcano Observatory", Volcano Letter, N° 511, págs. 1 a 3
- _____, 1958, "Barriers to protect Hilo from lava flows", Pacific Sci., vol. 12, págs. 258 a 277
- _____, 1962, "The 1959-60 eruptions of Kilauea Volcano, Hawaii, and the construction of walls to restrict the spread of the lava flows", Bull. volcanologique, vol. 24, págs. 249 a 294
- _____, 1972, Volcanoes, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, Nueva Jersey, 510 págs.
- Macdonald, G. A., y Abbott, A. T., 1974, Volcanoes in the Sea: The Geology of Hawaii, 3ª edición, revisada, University Press of Hawaii, Honolulu, 441 págs.
- Macdonald, G. A., e Eaton, J. P., 1964, "Hawaiian volcanoes during 1955", U. S. Geol. Survey, Bull. 1171, 170 págs.
- Mackin, J. H., 1960, "Structural significance of Tertiary volcanic rocks in southwestern Utah", Am. Jour. Sci., vol. 258, págs. 81 a 131
- Mauk, F. J., y Johnston, M. J. S., 1973, "On the triggering of volcanic eruptions by earth tides", Jour. Geophys. Research, vol. 78, págs. 3356 a 3362
- McBirney, A. R., 1956, "The Nicaraguan volcano Masaya and its caldera", American Geophys. Union Trans., vol. 37, págs. 83 a 96
- Melson, W. G., y Sáenz R., 1968, The 1968 eruption of Volcán Arenal, Costa Rica: Preliminary summary of field and laboratory studies, Smithsonian Instit., Center for Short-Lived Phenomena, 35 págs.
- Michael, M. C., y Christofell, D. A., "On the triggering of eruptions of Mt. Ngaurahoe by earth tide maxima, January 1972 - June 1974", New Zealand Jour. Geol. and Geophys. (en preparación)
- Minakami, T., 1935, "Variations in earth-current during the 1935 eruptions of Asama", Tokyo Univ., Earthquake Res. Inst. Bull., vol. 13, págs. 642 a 643
- _____, 1959, "The study of eruptions and earthquakes originating from volcanoes. Part I. Some statistical relations between explosive eruptions and earthquakes of volcano Asama", Volcanological Soc. Japan Bull., vol. 7, N° 2, págs. 104 a 114

- Minakami, T., Ishikawa, T., y Yagi, K., 1951, "The 1944 eruptions of Volcano Usu in Hokkaido, Japan", Bull. volcanologique, vol. 11, págs. 45 a 157
- Minakami, T., Sakuma, S., Mogi, K., y Miyazaki, T., 1960, "Relation between depth of volcanic earthquakes and subsequent volcanic phenomena", Volcanological Soc. Japan Bull., vol. 4, págs. 133 a 151
- Mohr, E. C. J., 1945, "The relationship between soil and population density in the Netherlands Indies": en Honig, P., y Verdoorn, F. (recop.), Science and Scientists in the Netherlands Indies, Nueva York, págs. 254 a 262
- Moore, J. G., 1967, "Base surge in recent volcanic eruptions", Bull. volcanologique, vol. 30, págs. 337 a 363
- Moore, J. G., y Melson, W. G., 1969, "Nuées ardentes of the 1968 eruption of Mayon Volcano, Philippines", Bull. volcanologique, vol. 33, págs. 600 a 620
- Moxham, R. M., 1971, "Thermal surveillance of volcanoes", en The Surveillance and Prediction of Volcanic Activity, UNESCO, París, págs. 103 a 124
- Naughton, J. J., Heald, E. F., y Barnes, I. L., Jr., 1963, "The chemistry of volcanic gases; I. Collection and analysis of equilibrium mixtures by gas chromatography", Jour. Geophys. Research, vol. 68, págs. 539 a 557
- Neumann van Padang, M., 1933, "Die uitbarsting van den Merapi (Midden Java) in de jaren 1930-1931", Indias Neerlandesas, Dienst Mijnbouwk. Vulkan. Seism. Mededel., N^o 12, 135 págs. (con resumen en inglés)
- _____, 1951, Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields, Parte I, Indonesia, International Assoc. Volcanology, Nápoles, 271 págs.
- _____, 1960, "Measures taken by the authorities of the Volcanological Survey to safeguard the population from the consequences of volcanic outbursts", Bull. volcanologique, vol. 23, págs. 181 a 192
- _____, 1963, "The temperatures in the crater region of some Indonesian volcanoes before the eruption", Bull. volcanologique, vol. 26, págs. 319 a 336
- Noe-Nygaard, A., 1968, "On extrusion forms in plateau basalts; shield volcanoes of 'scutulum' type", Scientia Islandica, Vol. an., págs. 10 a 13
- Parsons, W. H., 1967, "Manner of emplacement of pyroclastic andesitic breccias", Bull. volcanologique, vol. 30, págs. 177 a 187
- Perret, F. A., 1950, Volcanological observations, Carnegie Inst., Washington, Pub. 549, 162 págs.
- Petroeschevsky, W. A., 1949, "A contribution to the knowledge of the Gunung Tambora (Sumbawa)", Konink. Nederlandsch Aardrikskundig Genootschap, vol. 66, págs. 688 a 703

- Rikitake, T., Yokoyama, I., Uyeda, S., y Yukutake, T., 1963, "Geomagnetic studies on Volcano Mihara", Bull. volcanologique, vol. 26, págs. 49 a 55
- Rittmann, A., 1963, "Vulkanismus und Tektonik der Etna", Geol. Rundschau, vol. 53, págs. 788 a 800
- Searle, E. J., 1964, "Volcanic risk in the Auckland metropolitan district", New Zealand Jour. Geol. and Geophys., vol. 7, págs. 94 a 100
- Shimozuru, D., 1971, "A seismological approach to the prediction of volcanic eruptions", en The Surveillance and Prediction of Volcanic Activity, UNESCO, París, págs. 19 a 45
- Suwa, A., 1973, Preliminary report on present status and development project of volcanological observation and research in Indonesia, U.S. - Japan Panel on Wind and Seismic Effects, 6th Joint Mtg., Washington, 18 págs.
- Taylor, G. A., 1960, "An experiment in volcanic prediction", Australia Bureau of Mineral Resources, Rec. for 1960, pág. 74
- _____, 1963, "Seismic and tilt phenomena preceding a Pelean type eruption from a basaltic volcano", Bull. volcanologique, vol. 26, págs. 5 a 11
- Taziedd, H., 1969, Investigations of eruptive gases (extractos): Intern. Assoc. Volcanology and Chem. Earth's Interior, Simposio sobre los volcanes y sus causas, Oxford Univ., vol. de extractos, adición
- _____, 1971, "New investigations on eruptive gases", Bull. volcanologique, vol. 34, págs. 421 a 438
- Thorarinsson, S., 1953, "Some new aspects of the Grimsvötn problem", Jour. Glaciology, vol. 2, págs. 267 a 274
- _____, 1967, "The Surtsey eruption and related scientific work", Polar Record, vol. 3, Nº 86, págs. 571 a 578
- _____, 1967a, "The eruption of Hekla 1947-1948, I. The eruptions of Hekla in historical times", Vísindáfelag Islendinga (Soc. Sci. Inlandica), Reykjavik, 183 págs.
- _____, 1970, "The Lakagigar eruption of 1783", Bull. volcanologique, vol. 33, págs. 910 a 927
- Thorarinsson, S., y Sigvaldason, G. E., 1973, "The Hekla eruption of 1970", Bull. volcanologique, vol. 36, págs. 269 a 288
- Tokarev, P. I., 1959, "On relations between volcanic and seismic activity in Kurile-Kamchatka zone", Acad. Cien. URSS, Volcanological Lab., Trad., Nº 17, págs. 156 a 182 (en ruso)
- _____, 1963, "On a possibility of forecasting of Bezymianny Volcano eruptions according to seismic data", Bull. volcanologique, vol. 26, págs. 379 a 386

- UNESCO, 1971, The Surveillance and Prediction of Volcanic Activity, París, 166 págs.
- Waldron, H. H., 1967, "Debris flow and erosion control problems caused by the ash eruptions of Irazú Volcano, Costa Rica", U.S. Geol. Survey, Bull. 1241-I, 37 págs.
- Wenworth, C. K., Powers, H. A., e Eaton, J. P., 1961, "Feasibility of a lava-diverting barrier at Hilo, Hawaii", Pacific Sci., vol. 15, págs. 352 a 357
- Wilcox, R. E., 1952, "The problem of damage by fumes of Santiago Volcano, Nicaragua", U. S. Geol. Survey, Report submitted to the Government of Nicaragua, 38 págs.
- _____, 1959, "Some effects of recent ash falls with especial reference to Alaska", U. S. Geol. Survey, Bull. 1028-N, págs. 409 a 476
- Williams, H., 1932, "History and character of volcanic domes", Univ. California Pub. Bull. Dept. Geol. Sci., vol. 21, págs. 51 a 146
- _____, 1942, The geology of Crater Lake National Park, Oregon, with a reconnaissance of the Cascade Range southward to Mount Shasta, Carnegie Inst., Washington, Pub. 540, 162 págs.
- _____, 1950, "Volcanoes of the Parícutin region", U. S. Geol. Survey, Bull. 965-B, págs. 165 a 279
- Williams, H., y Goles, G., 1968, "Volume of the Mazama ash fall and the origin of Crater Lake caldera, Oregon", Andesite Conference Guidebook, Oregon Dept. Geology and Mineral Industry, Bull. 62, págs. 37 a 41
- Williams, R. S., Jr., y Moore, J. G., 1973, "Iceland chills a lava flow", Geotimes, vol. 18, Nº 8, págs. 14 a 17
- Zen, M. T., y Hadikusumo, D., 1965, "The future danger of Mt. Kelud (eastern Java - Indonesia)", Bull. volcanologique, vol. 28, págs. 275 a 282