

II

EVENTOS GEOFISICOS

Terremotos

ERIC K. NOJI

Antecedentes y naturaleza de los terremotos

Un terremoto intenso que afecte cualquier ciudad grande de los Estados Unidos tiene el potencial de ser el desastre natural más catastrófico para este país. Los grandes terremotos amenazan la vida y dañan la propiedad creando una cadena de efectos que trastornan los ambientes naturales y los construidos por el hombre. Una sacudida fuerte y prolongada es un efecto geológico que puede dañar severamente las construcciones o causarles el colapso total. Los movimientos vibratorios de los terremotos pueden inducir efectos geológicos secundarios como la licuefacción del suelo, deslizamientos y peligrosas fallas a las construcciones o desencadenar ondas sísmicas marinas (tsunamis/maremotos) que pueden causar destrozos en las costas a miles de kilómetros del epicentro. Los terremotos también pueden resultar en grandes efectos no geológicos (por ejemplo, incendios, inundaciones por fallas en los diques, liberación de materiales tóxicos o radiactivos) que podrían ser más catastróficos que los efectos iniciales.

Cada año, en el mundo ocurren más de un millón de terremotos, en promedio, dos cada minuto (1). Una investigación indica que hay un 60% de probabilidades de que un terremoto de magnitud 7,5 o mayor en la escala de Richter ocurrirá en la falla de San Andrés, al sur de California, en los próximos 30 años y uno de 7,0 o más en las fallas de San Andrés o Hayward en la bahía de San Francisco (2). Un estudio reciente estima una probabilidad de 40 a 63% de que ocurra un terremoto de magnitud 6,0 en la zona central de los Estados Unidos antes del año 2000 (3). Con base en los daños

significativos del terremoto de 1989 en Loma Prieta al norte de California (magnitud 7,1) y el de Northridge en 1994 al sur de ese estado (magnitud 6,8), el impacto de los terremotos de alta magnitud pronosticados en California y en el centro de los Estados Unidos, potencialmente mataría y lesionaría a miles de personas con miles de millones de dólares en daños a la propiedad y severa depresión económica (4). A pesar del notorio progreso científico en sismología e ingeniería de terremotos en los últimos años, la meta de alcanzar altos estándares de seguridad contra estos eventos aún no se ha logrado globalmente.

Importancia relativa de los desastres por terremotos

Durante los últimos 20 años, solamente los terremotos han causado más de un millón de muertes en el mundo (5). Más de 80% de las muertes por causa de estos eventos durante este siglo han ocurrido en 9 países, y casi la mitad en uno, China (figura 8-1). El 28 de julio de 1978, a las 3:42 a.m., un terremoto de magnitud 7,8 ocurrió en Tangshan, al noreste de China. En pocos segundos, una ciudad industrial de un millón de personas se redujo a ruinas, con más de 240.000 fallecidos (6). La acelerada urbanización de las áreas sísmicamente activas del mundo, cuyas poblaciones alcanzan 20.000 a 60.000 habitantes por kilómetro cuadrado, resalta la vulnerabilidad de tales áreas ante un número catastrófico de muertes y lesiones por efecto de terremotos. En los últimos 10 años, el mundo ha padecido 4 terremotos catastróficos con grandes pérdidas de vidas: Ciudad de México, 1985 (10.000 muertes); Armenia, 1988 (25.000 muertes); Irán, 1990 (40.000 muertes) e India, 1993 (10.000 muertes) (tabla 8-1).

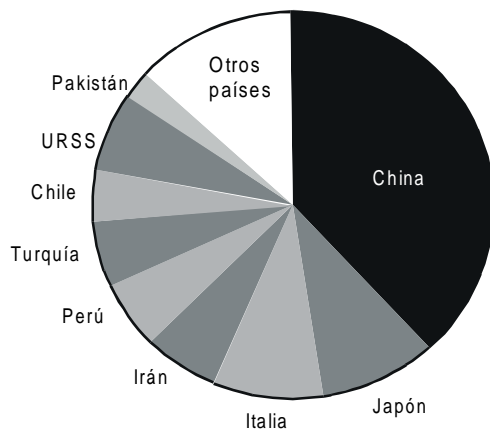


Figura 8-1. Distribución de las muertes por terremotos en el mundo. Figura adaptada de: Coburn AW, Pomonis A, Sakai S. Assessing strategies to reduce fatalities in earthquakes. En: *Proceedings of International Workshop on Earthquake Injury Epidemiology for Mitigation and Response, 10-12 July, 1989, Baltimore, Maryland*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University; 1989. p.107-32. (96)

Tabla 8.1 Terremotos que, en el siglo XX, causaron más de 10.000 muertes

Año	Localización (magnitud)	Muertos
1985	Ciudad de Méjico, Méjico (M 8,1 y 7,3)	10.000
1993	India (M 6,4)	10.000
1960	Agadir, Marruecos (M 5,9)	12.000
1968	Dasht-i-Biyaz, Irán (M 7,3)	12.000
1962	Buyin Zhara, Irán (M 7,3)	12.225
1917	Indonesia (M 7,0+)	15.000
1978	Tabas, Irán (M 7,7)	18.200
1905	Kangra, India (M 8,6)	19.000
1948	Ashkabad, USSR (M 7,3)	19.800
1974	China (M 6,8)	20.000
1976	Ciudad de Guatemala (M 7,5)	23.000
1988	Armenia, URSS (M 6,9)	25.000
1935	Quetta, Pakistán (M 7,5)	25.000
1923	Concepción, Chile (M 8,3)	25.000
1939	Chillán, Chile (M 8,3)	28.000
1915	Avezzano, Italia (M 7,5)	32.610
1939	Erzincan, Turquía (M 8,0)	32.700
1990	Irán (M 7,7)	40.000
1927	Tsinchai, China (M 8,0)	40.912
1908	Messina, Italia (M 7,5)	58.000
1970	Ankash, Perú (M 8,3)	66.794
1923	Kantto, Japón (M 8,3)	142.807
1920	Kansu, China (M 8,5)	200.000
1976	Tangshan, China (M 7,8)	242.000
Total		Aprox. 1'500.000

Los Estados Unidos han sido relativamente afortunados en términos de fallecimientos (7). Únicamente 1.600 muertes han sido atribuidas a terremotos desde los tiempos de la colonia, con cerca de 60% registrados en California. El más serio al respecto fue el terremoto e incendio de San Francisco en 1906, que mató un estimado de 700 personas. Sólo otros cuatro terremotos en los Estados Unidos han matado más de 100 personas: en 1946, Isla Unimak, Alaska (173 personas); en 1964, Prince William Sound, Alaska (131); en 1933, Long Beach, California (120), y en 1918, Mona Passage, Puerto Rico (116). Los terremotos más recientes continúan ocasionando una cuota significativa aunque más pequeña: 64 murieron en el terremoto de San Fernando en 1971; 67 en el de Loma Prieta en 1989, y, más recientemente, 60 murieron en el terremoto de Northridge, California en 1994 (8-10) (tabla 8-2).

Como ya se mencionó, el crecimiento de la población en áreas de alto riesgo sísmico en los Estados Unidos ha incrementado el número de personas en riesgo desde el último terremoto de gran magnitud (San Francisco, 1906). Los investigadores estiman que una repetición de ese terremoto, 8,3 en la escala de Richter, mataría entre 2.000 y 6.000 personas, lesionaría seriamente entre 6.000 y 20.000 y las pérdidas económicas totales excederían los 120.000 millones de dólares (11,12). Aproximadamente el 90% de la actividad sísmica en los Estados Unidos ocurre en California y el oeste de Nevada

Tabla 8.2 Los ocho terremotos más letales en los Estados Unidos desde 1900

Año	Localidad	Número de muertos
1906	San Francisco (terremoto e incendio)	700
1946	Alaska (terremoto/tsunami que golpeó Hawai y California)	173
1933	Long Beach, California	120
1964	Alaska (terremoto/tsunami)	117
1918	Puerto Rico	116
1971	Valle de San Fernando, California	64
1989	Loma Prieta, norte de California	62
1994	Northridge, sur de California	60

(figura 8-2). Aunque el riesgo de terremotos catastróficos en la parte oeste de los Estados Unidos es ampliamente reconocido, poca gente acepta la alta probabilidad de que ocurra uno importante al este en las siguientes décadas. Por ejemplo, una serie de 3 grandes terremotos (magnitudes estimadas de 8,6, 8,4 y 8,7), todos de intensidad XII, ocurrieron durante un período de tres meses en el invierno de 1811-1812, cerca de la ciudad de New Madrid, Missouri. Aunque se perdieron pocas vidas, causó destrucción al este de las Montañas Rocosas. Esta falla geológica está menos estudiada que la de San Andrés pero los terremotos pueden recurrir a intervalos entre 600 y 700 años. Los sismólogos piensan que podría producirse uno de magnitud 7,6, el cual dañaría unos 520.000 km².

En la costa este han ocurrido terremotos como el de Charleston, Carolina del Sur, de magnitud 6,8 (intensidad X) en 1886, que mató 83 personas (13). Aunque la región ha estado considerablemente menos afectada por la actividad sísmica, la menor

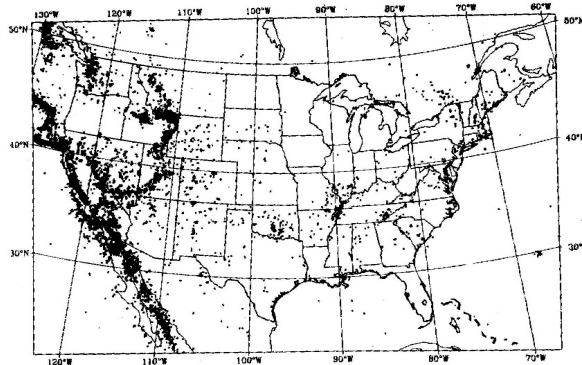


Figura 8-2. Actividad sísmica en los Estados Unidos. Este mapa del U.S. Geological Survey señala los riesgos de terremoto en los Estados Unidos continentales. Los puntos representan áreas sísmicas activas de 1960 a 1988.

Fuente: National Earthquake Information Center, 1989.

probabilidad debe sopesarse con la mayor densidad de población, los códigos menos rígidos de sismorresistencia y el hecho de que se afecten mayores extensiones de terreno para un evento de cualquier magnitud. Otras zonas vulnerables incluyen Puget Sound en el estado de Washington y Salt Lake City en Utah. Tan sólo unos pocos estados del Golfo de México, como Florida, son considerados de muy bajo riesgo.

Factores que contribuyen a los desastres por terremotos

Un terremoto puede causar gran número de afectados, dependiendo de su magnitud, su proximidad a un centro urbano y el grado de preparación y medidas de mitigación implementadas. A las 5.04 p.m. del martes 17 de octubre de 1989, un terremoto de magnitud 7,1 con epicentro cerca del pico Loma Prieta en las montañas de Santa Cruz al norte de California, causó 62 muertos y 3.000 lesionados (14). Este fue el más destructor de los terremotos desde 1971, cuando ocurrió el del Valle de San Fernando al sur de California. El de Loma Prieta trajo a la memoria aquel de Armenia el 7 de diciembre de 1988, el cual liberó menos de la mitad de la energía (magnitud 6,9) pero causó 25.000 muertes y 18.000 lesionados. Las diferencias en el impacto entre los dos terremotos están directamente relacionadas con el grado de preparación y mitigación entre el norte de California y la antigua Unión Soviética (15-17). El estricto cumplimiento de los códigos de construcción en las últimas dos décadas indudablemente salvó muchas vidas y miles de edificaciones resistieron (18-20).

Se espera que, dado el crecimiento de la población en las áreas de riesgo, el número de afectados continuará elevado en el futuro. Otros factores que afectan la morbilidad y la mortalidad se discutirán con más detalle en las siguientes secciones del capítulo.

Factores que afectan la ocurrencia y la severidad de los terremotos

Factores naturales

Como se muestra en la figura 8.3, los terremotos tienden a concentrarse en zonas particulares de la superficie terrestre que coinciden con los bordes de las placas tectónicas en las cuales está dividida la corteza terrestre (figura 8.4). Los movimientos relativos de las placas a lo largo de los bordes no son deslizamientos suaves y hay superposición de unas con otras. Esto lleva a deformaciones que ocurren en las rocas a cada lado de los bordes de las placas como resultado de las fuerzas que reconstruyen. Como las rocas se deforman a cada lado de las placas, almacenan energía y la cantidad de tal energía almacenada en grandes volúmenes de rocas puede ser verdaderamente masiva. Cuando las fallas ceden, la energía almacenada en las rocas es liberada en

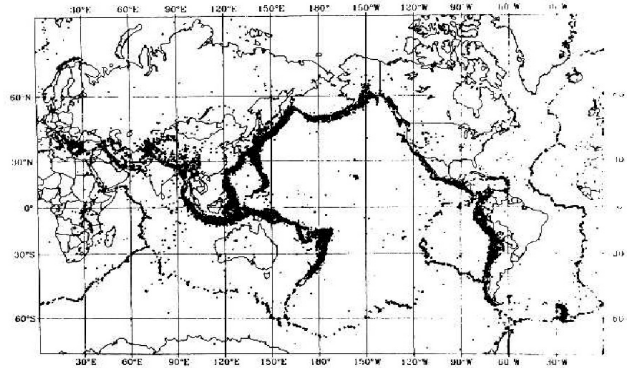


Figura 8-3. Este mapa del U.S. Geological Survey representa los terremotos del mundo de magnitud $\geq 5,0$: 1963-1988. *Fuente:* National Earthquake Information Center, 1989.

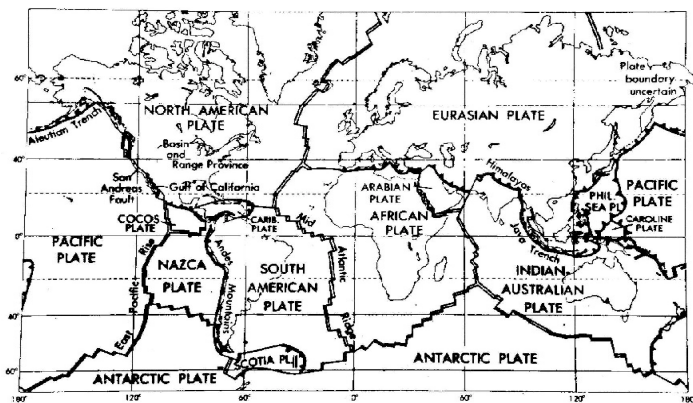


Figura 8-4. Este mapa del U.S. Geological Survey muestra las placas tectónicas del globo terráqueo. La mayoría de los terremotos ocurre en las áreas de los bordes de las placas.

pocos segundos, en parte como calor y en parte como ondas de choque. Esas ondas constituyen el terremoto (21). La energía vibratoria resultante es, entonces, transmitida a la superficie terrestre y cuando la alcanza, puede causar daños y colapso de las estructuras que a su vez pueden matar o producir lesiones a los ocupantes de las mismas (figura 8.5). Esas grandes e inexorables fuerzas son responsables del cinturón de actividad sísmica que se extiende a lo largo de la orilla del océano Pacífico de Suramérica hasta Japón (figura 8.3).

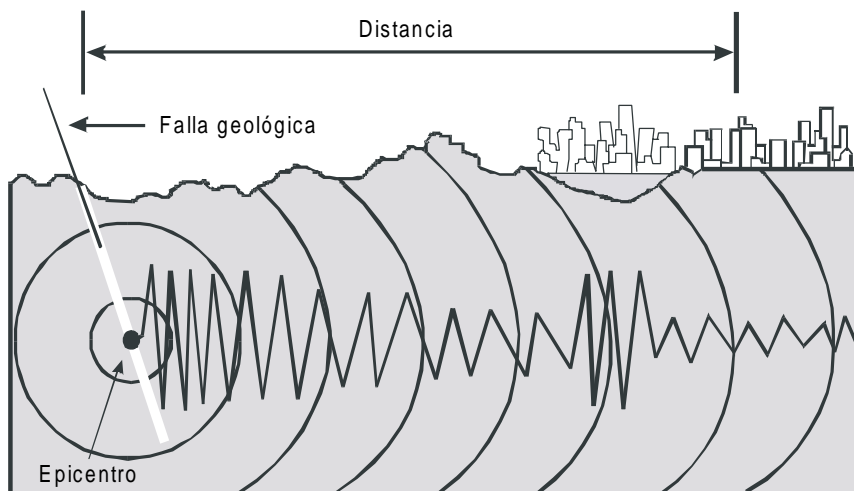


Figura 8-5. El movimiento de las placas terrestres causa un aumento de la presión en el sitio de las fallas geológicas donde chocan las placas. La energía se propaga hacia la superficie y se irradia hacia afuera. Estas ondas de movimiento en la corteza terrestre sacuden los accidentes geográficos y los edificios, causando daño y destrucción.

Fuerza del terremoto

La magnitud y la intensidad son dos medidas de la fuerza de un terremoto y frecuentemente se confunden por el común de la gente (22). La primera es una medida de la energía física liberada en su origen, estimada por las observaciones instrumentales. Varias escalas de magnitud están en uso. La más vieja y ampliamente usada es la de Richter, desarrollada por Charles Richter en 1936. Aunque la escala es abierta, la mayor fuerza registrada hasta la fecha ha sido de 8,9.

De otro lado, la intensidad es una medida de los efectos percibidos más que de la fuerza del terremoto mismo. Es una medida de la severidad del impacto en un lugar específico. Entonces, mientras la magnitud se refiere a la fuerza del terremoto como un todo (un terremoto puede tener sólo una magnitud), la intensidad se refiere a los efectos en un sitio particular. La intensidad es usualmente mayor cuanto más cerca esté del epicentro. La intensidad se determina clasificando el grado de la sacudida a través de una escala sobre la base de las consecuencias visibles dejadas por el terremoto y de los reportes subjetivos de las personas que experimentan la sacudida. Hay muchas escalas de intensidad en uso en el mundo. La más usada en los Estados Unidos es la modificada de Mercalli (MM), desde levemente perceptibles (MMI) hasta la destrucción total (MMXII) (tabla 8.3).

La intensidad de un terremoto está más relacionada con sus consecuencias en la salud pública que con la magnitud. Las escalas de intensidad han permitido hacer comparaciones con terremotos ocurridos antes del desarrollo de los instrumentos de

Tabla 8.3 Categorías de la escala modificada de Mercalli (MM)

I	Percibido tan sólo por muy pocas personas bajo circunstancias especialmente favorables.
II	Percibido tan sólo por pocas personas en reposo, especialmente sobre pisos altos de las edificaciones. Pueden mecerse objetos suspendidos.
III	Se percibe muy notoriamente adentro. Puede mecerse levemente estando en un vehículo automotor. Vibración semejante al paso de un camión.
IV	Se percibe adentro por muchos y afuera por unos pocos. En la noche, algunos se despiertan. Traquetean losa, cristalería, ventanas y puertas.
V	Se percibe por casi todos; el daño a los contenidos y estructuras es raro pero posible.
VI	Se percibe por todos; muchos se asustan y corren fuera; daños leves.
VII	Todos corren afuera; daños sin importancia para edificaciones sísmicamente bien diseñadas y construidas; daños leves a moderados para estructuras ordinarias; considerables daños a estructuras pobremente diseñadas o construidas.
VIII	Daños leves en estructuras bien diseñadas, considerables en las ordinarias y grandes en las pobres; caen chimeneas, monumentos, muros, etc.
IX	Daño considerable para las estructuras bien diseñadas e inmenso (incluyendo colapso parcial o completo) en otras edificaciones; las edificaciones se desplazan de sus cimientos; las tuberías subterráneas se rompen.
X	Algunas estructuras de madera bien construidas se destruyen; la mayor parte de la mampostería y de las estructuras ordinarias es destruida; las carrilleras se tuercen; son comunes los deslizamientos, el agua se derrama sobre los bancos de diques y lagos, etc.
XI	Pocas, si alguna, estructuras de mampostería permanecen en pie; los puentes se destruyen, se abren grandes grietas en el terreno; la tubería subterránea está completamente fuera de servicio; la tierra se hunde.
XII	El daño es total; se ve la propagación de las ondas a lo largo de la superficie del terreno; casi imposible permanecer de pie; los objetos son arrojados al aire.

monitorización. La destrucción causada por un terremoto está en función de su intensidad y la resistencia de las estructuras a las sacudidas.

Factores topográficos

Los factores topográficos afectan sustancialmente el impacto de los terremotos. Las sacudidas violentas en áreas construidas sobre suelos de aluvión o vertederos los cuales tienden a licuarse y exacerbar las oscilaciones sísmicas, pueden producir daños y lesiones importantes lejos del epicentro (23). El impacto del terremoto de Ciudad de México en 1985, donde se estima que murieron 10.000 personas, y el de 1989 en Loma Prieta, son buenos ejemplos de cómo las condiciones locales del suelo son importantes en cuanto al daño más severo de las edificaciones.

Factores meteorológicos

Los asuntos meteorológicos juegan un efecto directo menor pero pueden afectar sustancialmente las consecuencias secundarias de los terremotos. Las marejadas y los altos niveles de agua por tormentas exacerban el impacto de las ondas sísmicas marinas. La saturación de los suelos con agua incrementa la probabilidad de deslizamientos y fallas en los diques al igual que la probabilidad de la licuefacción del suelo durante las

sacudidas. La falla de los diques inducida por un terremoto cuando las corrientes están cerca del estado de inundación puede ser catastrófica. Si las viviendas quedan con daños considerables, la lluvia y las bajas temperaturas serían, al menos, incómodas y podrían contribuir al incremento de la morbilidad y la mortalidad, como se observó en Armenia en diciembre de 1988.

Actividad volcánica

A menudo los terremotos se asocian con volcanes activos, en ocasiones por el flujo de magma o por incremento en la presión que sigue a la intrusión magmática. Generalmente, las llamadas vibraciones armónicas asociadas con el flujo de magma no son dañinas; sin embargo, los terremotos relativamente severos pueden preceder o acompañar a las erupciones volcánicas y contribuir así a los devastadores deslizamientos.

Factores generados por el hombre (causas artificiales de terremotos)

Se sabe que cuatro actividades humanas, o sus consecuencias, inducen terremotos: 1) el llenado de grandes depósitos de agua; 2) la inyección profunda de pozos; 3) las explosiones subterráneas de proyectos nucleares, y 4) el colapso de minas o trabajos subterráneos. Algunos observadores han especulado que las detonaciones nucleares a lo largo de una falla geológica pueden liberar fuerzas en forma controlada e impedir un terremoto importante, pero el riesgo potencial de error con tales experimentos ha desanimado a los más intrépidos investigadores de terremotos (24).

Impacto de los terremotos en la salud pública: perspectiva histórica

En la mayoría de los terremotos, las personas fallecen por energía mecánica como resultado directo del aplastamiento por materiales de construcción. Las muertes pueden ser instantáneas, rápidas o tardías (25). Las primeras pueden deberse a lesiones severas en la cabeza o el tórax por aplastamiento, hemorragia interna o externa, o ahogamiento en terremotos de origen marino (tsunamis/maremotos). Las muertes rápidas ocurren en minutos u horas y pueden deberse a asfixia por inhalación de aerosoles o compresión del tórax, choque hipovolémico o exposición ambiental (es decir, hipotermia). Las muertes tardías ocurren en días y pueden deberse a deshidratación, hipotermia, hipertermia, síndrome de aplastamiento, infección de heridas o sepsis posoperatoria (26,27).

Como en otros desastres naturales, la mayoría de las personas que requieren asistencia médica luego de terremotos, tiene lesiones menores causadas por la caída de materiales como piezas de mampostería, revestimientos y vigas (28). Otra razón para la búsqueda de atención médica son las fracturas que no requieren cirugía (29). Tales

tipos de lesiones benignas usualmente sólo requieren manejo ambulatorio y tienden a ser más comunes que las lesiones severas que demandan hospitalización. Por ejemplo, después del terremoto de 1968 al sur de Khorasan, Irán, únicamente 368 (3,3%) de las 11.254 personas lesionadas requirieron manejo intrahospitalario (30). Un patrón similar de lesiones fue discutido en los reportes de Durkin, Thiel y colaboradores, los cuales mostraron, con posterioridad al terremoto de 1989 en Loma Prieta, que el 60% de los lesionados se trataron por sí mismos o recibieron tratamiento en ambientes no hospitalarios (31). Esos hallazgos sugieren que un número grande de lesiones relacionadas con los terremotos se maneja fuera del sistema formal de salud.

Las lesiones severas que requieren hospitalización incluyen fracturas de cráneo con hemorragia (por ejemplo, hematoma subdural), lesiones cervicales con compromiso neurológico y daño a los órganos intratorácicos, intraabdominales e intrapélvicos tales como neumotórax, laceraciones del hígado o ruptura esplénica (32). Muchas personas seriamente lesionadas presentan varios compromisos como neumotórax con fractura de extremidades. Mayores detalles están disponibles a partir de los datos recogidos sobre 4.832 pacientes admitidos en los hospitales después del terremoto de Armenia en 1988 (33). De manera similar a otros grandes terremotos, los datos muestran que la combinación de lesiones constituyó el 39,7% de los casos. El trauma superficial, las laceraciones y las contusiones, fue lo más frecuentemente observado (24,9%), seguido de las lesiones en cabeza (22%), extremidades inferiores (19%), síndrome de aplastamiento (11%) y trauma de extremidades superiores (10%).

En pasados terremotos, la hipotermia, la infección secundaria de heridas, la gangrena que requirió amputación, la sepsis, el síndrome de dificultad respiratoria del adulto (SDRA), la falla de múltiples órganos y el síndrome de aplastamiento, han sido las complicaciones más frecuentes. El síndrome de aplastamiento resulta de la prolongada presión sobre las extremidades, causante de la desintegración del tejido muscular (rabdomiolisis) y la liberación de mioglobina, potasio y fosfatos en la circulación (34). Los efectos sistémicos incluyen choque hipovolémico, hipercaliemia, falla renal y arritmias cardíacas fatales. Los pacientes pueden desarrollar falla renal y requerir diálisis (35). En el mencionado terremoto de Armenia, más de 1.000 víctimas atrapadas en edificios colapsados desarrollaron síndrome de aplastamiento, 323 desarrollaron falla renal aguda secundaria que requirió diálisis (36). Pueden esperarse amputaciones y secuelas crónicas de lesiones ortopédicas y neurológicas, especialmente lesiones de la médula espinal (37). Por ejemplo, una tasa de 1,5 casos de paraplejía por 1.000 lesionados, se observó después del terremoto de Guatemala (38) y más de 2.200 parapléjicos resultaron en Tangshan, 1976 (6). Ahí, todas esas discapacidades crónicas requirieron tratamiento prolongado y rehabilitación, con grandes erogaciones para el sistema de salud de la región.

Como ya se mencionó, el trauma causado por el colapso de edificaciones es la causa de la mayoría de las muertes y lesiones durante los terremotos (5). Sin embargo, un gran número de pacientes requiere cuidado inmediato por problemas no quirúrgicos tales como infarto de miocardio, exacerbación de enfermedades crónicas como diabetes o hipertensión, ansiedad y otros problemas de salud mental como depresión (39,40),

enfermedad respiratoria causada por exposición a polvos y fibras de asbesto en escombros y ahogamiento causado por inundaciones debidas a fallas de diques. Un ejemplo de los efectos adversos de un terremoto sobre las condiciones médicas se observó en 1981, durante el terremoto de Atenas, Grecia, con una magnitud 6,7. Un incremento de 50% en las muertes debidas a infarto de miocardio se documentó durante los primeros 3 días, con un pico máximo al tercer día (41,42). Puede haber un mecanismo biológico plausible para el incremento del riesgo de problemas cardiacos después de los desastres naturales: el estrés emocional y la actividad física elevan los niveles de catecolaminas, producen vasoconstricción e incrementan la coagulación (43). Dado ese efecto fisiológico, es de esperarse un incremento en la proporción de muertes súbitas. El día del terremoto de Ciudad de México en 1985, el número de abortos, nacimientos prematuros y partos normales se incrementó y juntos constituyeron la primera causa de todas las admisiones ese día (44,45). Cuatro días después aún se daban admisiones por esas causas, quizá como consecuencia del estrés relacionado con el desastre (44).

Cuando los edificios se dañan o se colapsan, se generan grandes cantidades de polvo. La obstrucción de la vía aérea y el compromiso pulmonar es una de las principales causas de muerte para muchas víctimas (6,33,46). El edema pulmonar fulminante por inhalación de polvo puede también ser una causa tardía de muerte (47). El polvo obstaculiza las operaciones de rescate y limpieza por la irritación ocular y respiratoria que causa. Los sucesos anecdóticos en el terremoto de México en 1985, indican que los trabajadores de rescate finalmente requirieron máscaras respiratorias, equipos que probablemente estarían en déficit en la mayoría de los terremotos (45). Muchos edificios comerciales y escuelas en los Estados Unidos se construyen con asbesto el cual, probablemente, se pulverizaría al colapsar las edificaciones. El asbesto y otras partículas en aerosol implican un riesgo respiratorio subagudo y crónico tanto para las víctimas atrapadas como para el personal de rescate y limpieza, dependiendo de las características de toxicidad (48).

Después de un terremoto, las quemaduras y la inhalación de humo por incendios representan peligros importantes. Por ejemplo, después del terremoto de Tokyo en 1923, más de 140.000 personas perecieron principalmente por causa de los incendios suscitados en una ciudad donde la mayoría de edificios estaban construidos con materiales altamente inflamables (papel y madera). Sin embargo, desde 1950, la incidencia de quemaduras después de terremotos ha decrecido considerablemente (5).

Hay evidencia creciente de que los elementos no estructurales (es decir, fachadas, paredes divisorias, techos, ornamentos arquitectónicos externos) y el contenido de las edificaciones (por ejemplo, vidrio, muebles, utensilios, aplicaciones, sustancias químicas) pueden causar un aumento importante de la morbilidad posterior a los terremotos (49). En un estudio del terremoto de Whittier Narrows, al sur de California, en 1987 (magnitud 5,9), Bourque y otros reportaron que las lesiones ocurrieron “primariamente por causa de los objetos que cayeron de los estantes o las paredes, caída de partes de los edificios, el comportamiento de la persona lesionada durante o inmediatamente después del terremoto o porque la persona se cayó durante el

terremoto” (50). En otro estudio, las lesiones relacionadas con caída fueron las más frecuentemente reportadas en ausencia de un colapso estructural (31). Este tipo de lesión fue responsable de más de 30% de las que ocurrieron durante y después de la sacudida. Mucha gente con lesiones por caída después de que paró la sacudida trataba de evacuar a través de salidas oscuras. Aunque la mayoría de lesiones por caídas o por ser golpeado por elementos no estructurales son leves comparadas con aquéllas resultantes del colapso de estructuras, algunos objetos físicos (por ejemplo, estantes metálicos altos, barriles de vino, gabinetes) y algunas instalaciones (escaleras) son particularmente peligrosas y pueden causar serias lesiones.

Aunque muchas estructuras pueden estar en riesgo de daño en áreas altamente sísmicas, la mayoría de muertes o lesiones serias en los terremotos tienden a ocurrir en un número relativamente pequeño de instalaciones dañadas y ampliamente distribuidas en el área afectada (5,51). Por ejemplo, 50 de 62 muertes en el terremoto de Loma Prieta ocurrieron en la estructura de la autopista Cypress en Oakland y 40 de 64 en el terremoto de San Fernando en 1971, como resultado del colapso del Hospital de Veteranos. Los datos de terremotos en otros países también sugieren que un número relativamente pequeño de estructuras dañadas es la fuente de la gran mayoría de lesiones serias (5).

Factores que influyen en la morbilidad y la mortalidad por terremotos

Factores naturales

Deslizamientos

Los deslizamientos de tierra y de lodo desencadenados por los terremotos han sido los causantes de la mayoría de las muertes y las lesiones serias en varios terremotos recientes, incluyendo los de Tajikistán (1989), Filipinas (1990) y Colombia (1994) (52). A comienzo de este siglo, los deslizamientos fueron claramente los hallazgos dominantes en los terremotos de China, 100.000 muertos en 1920, y uno que mató más de 66.000 en Perú en 1970 (53). Los deslizamientos pueden enterrar poblados y casas en laderas, barrer vehículos lejos de las vías, en barrancos, especialmente en áreas montañosas. Los flujos de detritos causados por los terremotos pueden también represar ríos. Esos represamientos pueden llevar a inundaciones en tierras aguas arriba y, si el dique se rompe de repente, puede causar ondas de agua enviadas súbitamente aguas abajo. Los dos eventos ponen en riesgo los asentamientos humanos.

Tsunamis (ondas sísmicas marinas)

Los terremotos submarinos (maremotos) pueden generar destructivos tsunamis (olas sísmicas) que viajan miles de millas sin disminuir antes de ocasionar destrucción a las líneas costeras y alrededores de bahías y puertos. Un tsunami puede ser creado directamente por los movimientos de tierra bajo el agua durante terremotos o por deslizamientos, incluyendo los ocurridos bajo el agua. Pueden viajar miles de millas a

483-966 km/h con muy poca pérdida de energía. Las olas altas en aguas oceánicas profundas pueden ser únicamente de unos pocos metros y pasar bajo los barcos con pocas molestias, pero en las aguas costeras poco profundas pueden alcanzar 30,48 metros, con un impacto devastador sobre las embarcaciones y las comunidades al borde de la playa. Las crestas sucesivas pueden arribar a intervalos entre 10 y 45 minutos y dar rienda suelta a la destrucción por varias horas.

La costa del Pacífico de los Estados Unidos está en mayor riesgo de tsunamis, primariamente por los terremotos en Suramérica y la región de Alaska/Islas Aleutian. Por ejemplo, en 1964, el terremoto de Alaska generó tsunamis de 6 metros de altura a lo largo de las costas de Washington, Oregon y California y causó grandes daños en Alaska y Hawaii. Mató 122 personas mientras cerca del epicentro del terremoto murieron sólo 9. Los tsunamis son claramente la principal amenaza relacionada con los terremotos para los habitantes de Hawaii. Más recientemente, los tsunamis ocasionados por terremotos respondieron por la mayoría de las muertes y las lesiones serias en Nicaragua (1992), norte de Japón (1993) e Indonesia (1992 y 1994) (54-56).

Réplicas

La mayoría de los terremotos son seguidos por réplicas, algunas de las cuales pueden ser tan fuertes como el terremoto mismo. Muchas muertes y lesiones serias ocurrieron por una fuerte réplica 2 días después del terremoto de Ciudad de México, el 19 de septiembre de 1985, el cual mató 10.000 personas (45). En algunos casos, los deslizamientos pueden ser desencadenados por una réplica, después del sacudón principal. Algunos grandes flujos de escombros se inician lentamente con un goteo pequeño que luego se agiganta. En esos casos puede haber el suficiente aviso y una comunidad atenta al riesgo evacúa oportunamente.

Condiciones climáticas locales

Se sabe que las condiciones climáticas locales afectan el tiempo de supervivencia de las personas atrapadas en los edificios colapsados después de un terremoto, tienen una gran influencia sobre el porcentaje de lesionados que mueren antes de ser rescatados. Por ejemplo, las duras condiciones del invierno presentes durante el terremoto de Armenia en 1988, el cual mató un estimado de 25.000 personas, disminuyó la probabilidad de supervivencia de los atrapados aunque sus lesiones originales eran menores. Algunas de las personas que se rescataron de alguna manera pudieron haber perecido a causa del intenso frío en la región montañosa.

Hora del día

La hora del día es un factor importante y determinante en el riesgo de morir o lesionarse a causa de la probabilidad de quedar atrapado por un edificio colapsado. Por ejemplo, el terremoto de Armenia en 1988 ocurrió a las 11:41 a.m. y muchas personas quedaron atrapadas en las escuelas, edificios de oficina o fábricas. Si el terremoto hubiera ocurrido a otra hora, los patrones de lesiones y muertes hubieran sido bastante diferentes. El terremoto de Long Beach, California, en 1933, causó grandes daños a las

escuelas pero no hubo muertes debido a que ocurrió a una hora en que la escuela no funciona (57). En Guatemala, el terremoto de 1976, con 24.000 muertos, ocurrió a las 3:05 a.m. mientras la mayoría de la gente estaba durmiendo. Si el mismo terremoto hubiese ocurrido más tarde, mucha más gente podría haber estado afuera y no se habrían lesionado (58). Por otro lado, el terremoto de Northridge en 1994, al sur de California, mató 60 personas (9,59), el número de lesiones y muertes entre 700.000 escolares y 6 millones de viajeros al trabajo probablemente habría sido mucho peor si ocurre a las 9 de la mañana, un día de escuela y de trabajo y no a las 4:31 a.m. de un día festivo. Así, la hora del día en que ocurre un terremoto es un factor crucial en el número de víctimas.

Factores generados por el hombre

Los incendios y la rotura de diques en un terremoto son ejemplos de grandes complicaciones causadas por el hombre, que agravan los efectos destructivos del terremoto. En los países industrializados, un terremoto también puede ser la causa de un gran desastre tecnológico por el daño o la destrucción de estaciones nucleares, centros de investigación, áreas de almacenamiento de hidrocarburos y complejas fábricas de productos químicos y tóxicos. En algunos casos, tales desastres 'posteriores' pueden causar muchas más muertes que las causadas directamente por el terremoto (60).

Materiales peligrosos

Nuestras modernas ciudades industriales están cargadas de productos químicos y del petróleo que podrían contribuir substancialmente a la generación de tóxicos luego de un terremoto (61). Las instalaciones industriales de almacenamiento de materiales peligrosos podrían explotar o agrietarse y los daños en una planta de energía nuclear podrían llevar a una extensa contaminación por materiales radiactivos. En un terremoto de importancia, las tuberías que llevan gas natural, agua y excretas se pueden romper. Luego del terremoto de Loma Prieta, cerca de 20% de las lesiones fueron causadas por materiales tóxicos (31).

Los esfuerzos para remover a los ocupantes atrapados de un edificio colapsado pueden también exponer al personal de rescate a una variedad de peligros, como los provenientes del daño a los servicios (48). Por ejemplo, la destrucción de edificaciones e instalaciones industriales por cualquier catástrofe invariablemente resultará en ruptura de líneas eléctricas, de gas, de agua y alcantarillado. Otras amenazas son los escapes de gases y químicos usados en las unidades de refrigeración y en ciertas operaciones industriales. Entonces, el personal de rescate debe tomar todas las medidas de seguridad para protegerse de lesiones.

Riesgo de incendios

Uno de los más severos desastres secundarios que pueden seguir a los terremotos es el incendio (62). Las sacudidas severas pueden causar volcamiento de estufas, calentadores, luces y otros elementos que pueden iniciar las llamas. Históricamente,

en Japón los terremotos que desencadenan incendios tienen 10 veces más muertos que aquéllos que no lo hacen (62). El terremoto de Tokio de 1923, el cual mató más de 140.000 personas, es un ejemplo clásico del potencial de los incendios para producir un enorme número de casos luego de los terremotos. En forma similar, el gran incendio ocurrido después del terremoto de San Francisco en 1906 fue responsable de muchos más muertos. Más recientemente, el terremoto de 1994 en Northridge, California, mostró que las fuertes vibraciones pueden separar los puntos de conexión de las líneas subterráneas de combustible o gas causando escapes de mezclas explosivas o volátiles y desencadenar incendios (10,59). En forma similar, durante las primeras 7 horas después del terremoto de Loma Prieta en 1989, al norte de California, San Francisco tenía 27 incendios estructurales y más de 500 reportes de incidentes de fuegos (18). Además, el suministro de agua de la ciudad se interrumpió, comprometiendo seriamente la capacidad de lucha contra el fuego (63).

Quizás, las áreas más vulnerables son los sectores de casas hechas con cualquier cosa sobre la periferia de muchas ciudades rápidamente pobladas en los países en vías de desarrollo ('asentamientos ilegales' o 'invasiones'). Muchas de ellas tienen el potencial de presentar conflagraciones catastróficas después de los terremotos.

Diques

Los diques también pueden fallar, amenazando a las comunidades aguas abajo. Un procedimiento estándar después de cualquier terremoto debe ser la inmediata inspección de los daños en todos los diques de la vecindad y una rápida reducción de los niveles de agua en los reservorios detrás de cualquier dique sospechoso de haber sufrido un daño estructural.

Factores estructurales

El trauma causado por el colapso parcial o completo de las estructuras hechas por el hombre es la causa más común de muerte y lesión en la mayoría de los terremotos (5). Cerca de 75% de las muertes atribuidas a terremotos en este siglo fueron causadas por el colapso de edificaciones que no fueron adecuadamente diseñadas para sismorresistencia, construidas con materiales inadecuados o pobremente levantadas (64). Los resultados de los estudios de campo luego de terremotos han demostrado que los diferentes tipos de edificaciones se deterioran en diferentes formas cuando están sujetos a fuertes vibraciones y movimientos del terreno. También hay evidencia de que esos diferentes tipos de edificaciones infligen lesiones en diferentes formas y con diferentes grados de severidad cuando se colapsan (33,65,66).

Glass (1976) fue uno de los primeros en aplicar la epidemiología al estudio del colapso de las edificaciones (67). Identificó el tipo de construcción de la vivienda como un factor de riesgo mayor para lesiones. Quienes vivían en las casas de adobe de nuevo estilo tenían el mayor riesgo de lesión o muerte, mientras que aquéllos en las casas tradicionales de barro y palo tenían el menor riesgo. La figura 8.6 muestra la clasificación de las muertes por terremotos, a mitad de este siglo. Con mucho, la mayor proporción de víctimas ha muerto por el colapso de las edificaciones de mampostería

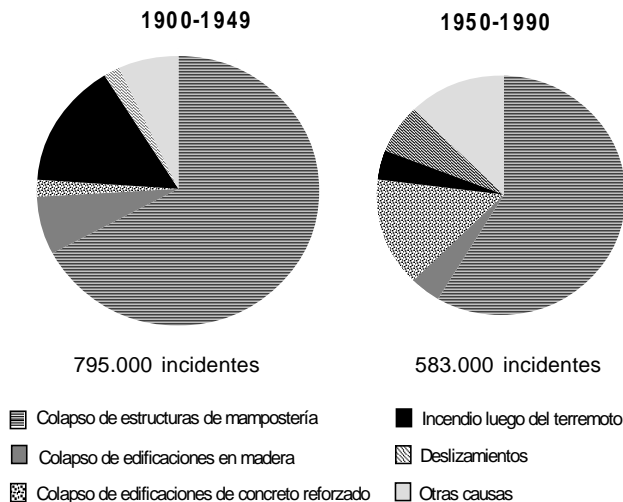


Figura 8-6. Muertes por causa, atribuidas a terremotos. Adaptada de: Coburn A, Spence R. *Earthquake protection*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.; 1992. p.6. (5)

no reforzada (es decir, adobe, cascajo o tierra apisonada) o de ladrillo refractario no reforzado y mampostería de bloques de concreto que pueden colapsar aún con sacudidas de baja intensidad y muy rápidamente con aquéllas de alta intensidad. Las estructuras de adobe, frecuentes en las zonas altamente sísmicas del mundo (por ejemplo, el este de Turquía, Irán, Pakistán, Latinoamérica) no sólo tienen paredes propensas al colapso sino techos muy altos (68,69). Cuando colapsan, esas paredes y techos altos tienden a matar muchas de las personas en las casas (70,71). En los Estados Unidos, las edificaciones de mampostería no reforzada abundan a través de las regiones propensas a terremotos en la región central (por ejemplo, la zona sísmica de Nuevo Madrid). La mayoría de esas edificaciones permanecen sin ningún grado de reforzamiento sismorresistente.

Las casas con estructura de concreto son generalmente seguras (es decir, menos probabilidad de que colapsen) pero también son vulnerables y cuando colapsan son considerablemente más letales y matan a sus ocupantes en un porcentaje mayor que las edificaciones de mampostería. En la segunda mitad de este siglo, la mayoría de los terremotos que han sacudido centros urbanos ocasionaron colapsos de edificios de concreto reforzado y las muertes debidas al colapso de esos edificios son significativamente mayores de lo que fue a comienzos de siglo (figura 8.6). El concreto reforzado requiere sofisticadas técnicas de construcción; sin embargo, a menudo se usa en comunidades en todo el mundo donde la competencia técnica es inadecuada o hace falta inspección y control. Fallas catastróficas de modernos edificios de concreto reforzado, causadas por el colapso de sus soportes han sido descritas recientemente en Ciudad de México (1985), El Salvador (1986) y Armenia (1988) (72-74). Mientras los escombros de las edificaciones de adobe, piedra y ladrillo refractario pueden ser

removidos con herramientas primitivas, el concreto reforzado implica graves problemas para el personal de rescate, particularmente si no hay suficiente equipo disponible (48).

En repetidas ocasiones, las edificaciones con estructura de madera, como las casas suburbanas en California, se han descrito entre las más seguras, y que uno podría estar dentro durante un terremoto. Adicionalmente, esas edificaciones están construidas con elementos de madera liviana - travesaños de madera para las paredes, vigas y viguetas de madera para los techos y los pisos (75). Aunque colapsaran, su potencial para causar lesiones es mucho menor que las viejas edificaciones de piedra no resistentes, como las usadas a menudo para negocios, oficinas o colegios. La relativa seguridad de las edificaciones con estructura de madera se mostró cuantitativamente en el terremoto de Filipinas en 1990. Las personas dentro de edificaciones de concreto o materiales mixtos tenían 3 veces más probabilidades de sufrir lesiones (OR=3,4; IC95%: 1,2-13,5) que quienes estaban dentro de edificaciones de madera (76).

Otro factor de riesgo estructural para morir o sufrir lesiones severas en los terremotos es la altura de la vivienda. En el terremoto de Armenia en 1988, las personas dentro de edificaciones con 5 o más pisos tenían 3,65 veces más riesgo de ser lesionadas al comparar con quienes estaban dentro de edificios de menos de 5 pisos (IC95%: 2,12-6,33) (65) y en el de Filipinas, las personas dentro de edificios con 7 o más pisos tenían 34,7 veces mayores probabilidad de lesiones (IC95%: 8,1-306,9) (66). Salir de un edificio elevado para quienes viven en los pisos superiores es improbable antes de que colapse la construcción y si colapsa completamente, es posible que quede atrapado el 70% de los ocupantes (64). De otro lado, en los edificios bajos, que quizá tomen 20 a 30 segundos para colapsarse, más de las tres cuartas partes de los ocupantes podrían escapar (64).

El daño de otras estructuras civiles, como las redes de transporte (es decir, puentes, autopistas y líneas férreas), también puede resultar siendo una seria amenaza para la vida en los terremotos. Por ejemplo, en el terremoto de Loma Prieta, 42 de las 62 muertes ocurridas, resultaron del colapso de la sección superior del viaducto Ciprés de la carretera interestatal 880 en Oakland, la cual atrapó a los motoristas que conducían sobre la sección inferior (77).

Factores no estructurales

Se sabe que los elementos no estructurales y contenidos de las edificaciones fallaron y causaron daños importantes en pasados terremotos. El revestimiento de fachadas, paredes divisorias, parapetos de techo, ornamentos arquitectónicos externos, chimeneas en mampostería no reforzada, cielos rasos, pozos de elevador, tanques de techo, luces suspendidas y los contenidos dentro de las edificaciones como los accesorios elevados en los hospitales, están entre los numerosos elementos no estructurales que pueden caer en un terremoto y algunas veces causar lesiones o muerte (78). El frecuente colapso de las escaleras hace particularmente difícil escapar, pues muchos edificios sólo tienen una escalera (79). Además, los muebles pesados, las aplicaciones, los estantes para libros, los equipos y los objetos ubicados en sitios

altos pueden caer y causar lesiones a menos que estén asegurados (49). Aunque los estudios recientes indican que los elementos no estructurales como los cielos rasos y los contenidos de las edificaciones como equipo de oficina y de hogar, tienen poca probabilidad de causar lesiones fatales, tales elementos son responsables de numerosas lesiones leves y moderadas que implican costos en la atención (80).

Factores de riesgo individual

Características demográficas

En los terremotos, las personas mayores de 60 años están en mayor riesgo de muerte y de lesiones y tienen una tasa de mortalidad que puede ser 5 veces mayor que en el resto de la población (67). Los niños entre 5 y 9 años de edad, las mujeres y las personas crónicamente enfermas también parecen estar en riesgo elevado de lesiones o muerte (67). La falta de movilidad para huir de las estructuras que se colapsan, la incapacidad para resistir el trauma y la exacerbación de enfermedades subyacentes, son factores que pueden contribuir a la vulnerabilidad de esos grupos. La distribución de la mortalidad por edad también estará afectada en cierto grado por las actitudes sociales y los hábitos de las diferentes comunidades. Por ejemplo, en algunas sociedades los niños pequeños duermen cerca de sus madres y pueden ser más fácilmente protegidos por ellas.

Quedar atrapado

Como podría esperarse, quedar atrapado parece ser, como factor único, la condición más frecuentemente asociada con muerte o lesión (81). En el terremoto de Armenia en 1988, la tasa de mortalidad fue 67 veces más alta y la de lesiones 11 veces superior, para quienes estaban atrapados que para quienes no lo estaban (33). En el terremoto de 1980 al sur de Italia, el hecho de quedar atrapado y, por tanto, requerir asistencia para escapar, fue el factor de riesgo más importante: 35% para los atrapados contra 0,3% para los no atrapados (82). En el terremoto de Filipinas, la gente que murió tenía 30 veces más probabilidad de haber estado atrapada que quienes sólo se lesionaron (OR=29,74; IC95%: 12,35-74,96) (66).

Localización del ocupante en una edificación

En varios de los pasados terremotos en los Estados Unidos y otros países, la localización de la persona en el momento del impacto, ha sido un determinante importante de morbilidad. Por ejemplo, la tasa de morbilidad y mortalidad fue significativamente mayor para quienes estaban dentro cuando comenzó la sacudida (33,65,76,83).

Además, a los ocupantes de los pisos superiores de los edificios no les ha ido mejor que a los ocupantes del primer piso. Por ejemplo, en Armenia, hubo un significativo incremento 'dosis-respuesta' en el riesgo de lesiones asociado con el piso del edificio en el momento del terremoto. Las personas entre el segundo y cuarto piso, tenían 3,84 veces más probabilidades de lesión que las del primer piso y para quienes estaban del quinto hacia arriba, esa probabilidad subía 11,20 veces más (65).

Cuatro de cinco muertes de Loma Prieta ocurrieron en vehículos sobre vías públicas (14). Como en situaciones normales, donde los autos tienen que ver con más de la mitad de las muertes por lesiones no intencionales (84), los ocupantes parecen tener un especial riesgo de lesión fatal en un terremoto. Como ya se mencionó, en el terremoto de Loma Prieta, una circunstancia única, el colapso del viaducto Ciprés de la interestatal 880 en Oakland, fue responsable de 40 de las 62 muertes.

Comportamiento de los ocupantes

El comportamiento de las personas durante un terremoto es un factor importante de predicción de su supervivencia (85). En varios terremotos recientes (por ejemplo, Filipinas en 1990 y Egipto en 1992), hubo amplios reportes de muertes y lesiones por estampidas, conforme los ocupantes de edificios y los estudiantes en pánico corrieron a la salida más cercana (76,86). Por otro lado, una revisión de la primera reacción de la gente al iniciar la sacudida reveló que quienes inmediatamente corrían fuera de los edificios tenían una menor incidencia de lesiones que quienes se quedaban dentro (65,66). Otros reportes, sin embargo, sugieren que correr hacia fuera puede incrementar actualmente el riesgo de lesiones, por ejemplo, durante el terremoto de 1976 en Tangshan, muchos fueron aplastados por el colapso de las paredes externas después de correr fuera de sus casas. Tales víctimas actualmente responden por un 16% del total de muertes (6). Otros reportes anecdóticos sugieren la eficacia de moverse a un área protegida como un portal o bajo un escritorio. Claramente, el comportamiento de los ocupantes durante e inmediatamente después de un terremoto ha sido inadecuadamente estudiado (87,88).

Los informes anecdóticos del terremoto de 1985 en Ciudad de México, acerca de pequeñas islas de gruesas planchas de concreto encima de los pupitres de los niños en las escuelas mientras el resto del cielo raso había colapsado, sugieren que estas conductas serían protectoras (89). La pregunta, desde luego, es si los niños habrían sido capaces de meterse bajo los escritorios a tiempo para evitar lesiones si la escuela hubiese estado ocupada. En el estudio mejor documentado acerca del comportamiento de los ocupantes durante los terremotos, fue abordado el comportamiento de 118 empleados del edificio de oficinas de un condado en California, después de un terremoto de magnitud 6,5 que dañó la edificación (90). Es interesante el hallazgo de que un 30% de los escritorios bajo los cuales las personas buscaron refugio se movió durante la sacudida, exponiendo a las personas a lesiones por objetos que caían. Durante el terremoto de Loma Prieta, Durkin y colaboradores examinaron el valor de acciones comúnmente sugeridas por las consejerías de seguridad ciudadana (por ejemplo, situarse en un portal o meterse debajo de un escritorio) (31,79). Encontraron que, por lo menos, el 60% de los lesionados durante la sacudida habían acudido de alguna forma a la acción protectora en el momento de lesionarse, pero aquellas lesiones tendían a ser menores. Los resultados de Durkin sugieren que, mientras las acciones comúnmente recomendadas para la autoprotección pueden incrementar la seguridad de las personas en situaciones de colapso total, las personas que se atropellan para

protegerse en situaciones menos peligrosas pueden incrementar su riesgo para lesiones menores.

Tiempo hasta el rescate

Aunque la probabilidad de encontrar vivas a las víctimas disminuye muy rápidamente con el tiempo, las personas atrapadas pueden sobrevivir varios días. Han sido rescatadas personas vivas 5, 10 y aún 14 días después de un terremoto (91); esos 'rescates milagrosos' son a menudo el resultado de excepcionales circunstancias; por ejemplo, alguien con lesiones muy leves atrapado en un hueco con aire y posiblemente agua disponible. En el terremoto de Armenia de 1988, 89% de los rescatados vivos de las edificaciones colapsadas fueron evacuados durante las primeras 24 horas (33). La probabilidad de ser extraído vivo de los escombros declina con el tiempo y no hay rescates después del día 6. En el terremoto de 1990 en Filipinas, la supervivencia entre los atrapados también cayó rápidamente con el tiempo, de 88% el día 1, a 35% el día 2, a 9% el día 3 y ninguno el día 4 (66). De todos los atrapados que se rescataron vivos, 333 (94%) fueron evacuados durante las primeras 24 horas.

Medidas de prevención y control

Hasta cuando se adoptaron las medidas de prevención y control de terremotos y se implementaron las acciones de mitigación a lo largo de los Estados Unidos, un solo terremoto severo podía causar decenas de miles de muertes, lesiones serias y pérdidas económicas superiores a 100.000 millones de dólares (5). Se requiere que los esfuerzos de prevención y control sean multidisciplinarios y deben incluir programas de educación pública así como mejores diseños y mejor calidad de construcción en aquellas áreas más propensas a sufrir terremotos (92). El problema de 'la casuística en los terremotos' involucra asuntos de sismología, ingeniería del ambiente, naturaleza de los ambientes físicos y sociológicos, aspectos de psicología y comportamiento personal y de grupo, asuntos económicos a corto y largo plazo y muchos aspectos de preparación y planeación. Las autoridades de salud pública y de respuesta al desastre deben trabajar unidas con el fin de desarrollar y mantener una planeación efectiva y segura además de unos programas de mitigación eficientes (79).

Prevención primaria de terremotos

Aunque no podemos prevenir los terremotos ni dejar los pequeños para prevenir los grandes, debemos tomarlos en consideración antes de asumir actividades que, se sabe, los precipitan, como las excavaciones profundas, las represas de agua y las descargas de explosivos nucleares bajo tierra.

Evitar construir en áreas de alto riesgo sísmico

Evitar la construcción residencial y comercial innecesaria sobre o cerca de fallas geológicas activas y en áreas sujetas a tsunamis o deslizamientos, la licuefacción del

suelo y las fallas en la roca, es técnicamente una medida de prevención secundaria ante los terremotos, pero primaria para las lesiones relacionadas con los terremotos (93). Las áreas de alto riesgo sísmico están muy bien delineadas y la información acerca de tales áreas debe estar disponible para los planificadores locales. Es bien conocido que ciertos tipos de terreno vibran más severamente durante los terremotos y, por tanto, causan más daños a las construcciones levantadas sobre ellos. Al evitar la construcción en áreas potencialmente peligrosas, los constructores pueden ayudar a prevenir el daño futuro en los terremotos.

Construcción segura

Los hallazgos de investigaciones recientes apoyan la visión de que la prevención del colapso estructural es la forma más efectiva de reducir las muertes y las lesiones serias (5).

Las intervenciones en ingeniería han sido dirigidas ampliamente a incrementar la capacidad de las nuevas edificaciones para soportar las sacudidas y también para reforzar las construcciones existentes. El más estricto nivel de seguridad sísmica llevará a las edificaciones a resistir los terremotos con poco o ningún daño (94). Como mínimo, las edificaciones deben estar diseñadas para permanecer funcionales así estén dañadas (un importante criterio de diseño para los hospitales). En países en vías de desarrollo, puede haber reglas o prácticas estándar de construcción que pudieran ser establecidas y aprendidas aún por constructores de oficio para que, en el futuro, se eviten grandes errores en la construcción. Una construcción puede fallar en un terremoto, pero las lesiones pueden evitarse o reducirse si aquellas partes de la edificación que probablemente sean ocupadas por un mayor número de personas se diseñaren de tal forma que haya menor riesgo para los ocupantes (95). Puede ser posible diseñar edificios para que, si se ‘caen’, colapsen de tal forma que los ocupantes tengan la mayor probabilidad posible de ser rescatados (96). Por ejemplo, casi todos los tipos de edificaciones dañadas contendrán vacíos o espacios en los cuales las personas atrapadas puedan permanecer vivas por períodos comparativamente largos de tiempo. El diseño de nuevas edificaciones podría incorporar características como un centro estructural o estructura de viga profunda que, se piensa, producirá más espacios seguros o ‘vacíos’ para las víctimas atrapadas después de un colapso total o parcial.

La evidencia anecdótica de los terremotos en Guatemala (1976), Ciudad de México (1985) y Armenia (1988), sugieren que la sofocación por inhalación de polvo puede ser un factor importante en la muerte de muchas personas que fallecieron sin aparente trauma externo severo (15,46,97). Sin embargo, el uso de ciertos materiales de construcción y acabados puede reducir la producción de polvo - por ejemplo, el cartón de yeso puede producir menos polvo al colapso que el yeso húmedo. Quizás el desarrollo y el uso de métodos de reducción de polvo durante el colapso de las construcciones evitaría muchas muertes.

El refuerzo de las construcciones existentes (es decir, el anclaje de viviendas, el refuerzo de paredes) puede ser costoso y muchos propietarios no tienen los fondos para adelantarlos, aún con requerimientos menos estrictos. Entonces, una política de

reajuste selectivo de edificaciones sobre la base del riesgo relativo puede ser apropiada. Por ejemplo, en el caso de las edificaciones de mampostería no reforzada, las investigaciones de Durkin y Thiel mostraron que muchas de las lesiones en los terremotos recientes en California han ocurrido fuera de las construcciones, a menudo entre ocupantes que intentan evacuarlas (31,79,98). Estos hallazgos sugieren que, con la protección de las rutas de evacuación de estas edificaciones y los perímetros de las mismas, pueden conseguirse sustanciales reducciones en el número de lesiones y muertes a un costo moderado (99). Otras modificaciones relativamente simples que pueden reducir el riesgo de lesiones, son el reforzamiento de las escaleras o de los baños y el crear corredores ‘seguros’ (5).

Finalmente, muchos de los 22.000 puentes de las autopistas en California están en riesgo de un daño severo o un colapso en un terremoto mayor (77). Cualquier plan para mitigar el riesgo en un área sísmicamente activa como California, debe originar una alta prioridad al refuerzo sistemático de las estructuras de transporte.

Desarrollo y refuerzo de los códigos de seguridad sísmica

Dada la mejoría de los códigos de construcción, la planificación en el uso de la tierra y de los preparativos, las pérdidas en la zona de la bahía de San Francisco, por los terremotos de Loma Prieta en 1989 y el área de Los Angeles en 1994, fueron mucho menores que las ocurridas en regiones menos preparadas. El diseño sismorresistente es una ciencia en evolución y los códigos requieren actualización periódica para reflejar lo que se ha aprendido del comportamiento de las edificaciones durante los terremotos. Debe ponerse particular atención en las áreas al este de los Estados Unidos y en el valle alto del río Mississippi, donde el riesgo actual puede ser mayor que el percibido y donde, en consecuencia, los códigos locales pueden no ser los más adecuados. Cómo, cuándo y a qué costo las viejas edificaciones se deben ajustar a los códigos, es un asunto importante en salud pública ya que esas edificaciones probablemente son las más vulnerables.

Sin embargo, el buen diseño requerido por los códigos puede ser sólo aparente si los constructores reducen costos en los materiales y técnicas de construcción. El riguroso reforzamiento de los códigos de construcción puede prevenir la mala calidad y el trabajo por debajo de las normas.

Medidas no estructurales

Muchas lesiones y mucho del costo y los trastornos de los terremotos son causados por los contenidos de las edificaciones, incluyendo equipo, maquinaria y otros elementos no estructurales. De ahí que deba ser revisada su estabilidad estructural y su robustez ante violentas sacudidas. Más allá del alcance de los códigos de construcción (o cualquier razonable perspectiva de una ley más coercitiva en esa materia), los muebles pesados, los gabinetes de vidrio, las aplicaciones y los objetos ubicados donde podrían caer o ser lanzados, se deben asegurar firmemente para evitar

que golpeen a las personas en el evento de un terremoto. Se deben tomar especiales precauciones con las fuentes de llama o filamentos eléctricos en hervidores, calentadores, calefactores de ambiente, luces piloto, estufas, etc., pues las sacudidas violentas pueden causar incendios.

Predicción de terremotos

La ciencia de la predicción en tiempo, lugar y magnitud de un terremoto, está aún en su infancia (100). Aunque algunos terremotos importantes han sido presagiados por temblores que los preceden, los cambios en las aguas subterráneas, la actividad geotérmica y aún en el comportamiento animal, la mayoría de los terremotos han ocurrido súbitamente y sin aviso.

Con todo, la posibilidad teórica de la predicción rutinaria de terremotos permanece y si cada cual fuera avisado oportunamente y evacuara sus edificaciones, muy poca gente moriría por el colapso de las construcciones. Entonces, la predicción de terremotos ciertamente abriría la posibilidad de una prevención muy alta de lesiones y muertes en el futuro (101).

Conductas correctas para las acciones de evacuación durante los terremotos

Las conductas correctas en los terremotos son importantes. Estos, aunque súbitos, usualmente no son instantáneos. Los ocupantes de las edificaciones generalmente tienen unos pocos segundos para reaccionar antes de que la sacudida alcance su máxima intensidad, surgiendo la posibilidad de tomar acciones de evacuación para escapar de las lesiones (50,87,102). A pesar de la relativa falta de datos sobre la eficacia de varias acciones de evacuación, parece que todas las personas en el mundo ponen en práctica algunas, particularmente si tienen unos pocos segundos para actuar cuando el terremoto golpea. Los temblores previos pueden dar aviso invaluable que llevaría a acciones salvadoras. Por ejemplo, el terremoto de Montenegro en 1969, dio dos golpes con suficiente tiempo entre ellos para que la gente saliera de sus casas (103). Los estudios de los terremotos de 1980 en Italia, sugieren que quienes corrieron afuera inmediatamente tenían menos probabilidad de lesionarse o morir (82). Sin embargo, mientras correr afuera puede ser una buena medida en áreas rurales, no necesariamente es la mejor en áreas urbanas densamente pobladas. Las calles estrechas no brindan protección. Los reportes del terremoto chileno de 1985 sugieren que un número de personas murió por salientes de las edificaciones que cayeron sobre ellos cuando trataron de escapar (104,405). La acción preparatoria más popular recomendada en este país es *'agáchese y cúbrase'*, la cual está basada en historias anecdóticas de personas que se protegieron bajo escritorios o camas.

Sin embargo, las anécdotas no deben ser la base para la respuesta ante un terremoto. Hay necesidad de replantear tales acciones de seguridad ampliamente aceptadas por los ciudadanos para asegurar que se están dando las mejores respuestas (31,79,106). Únicamente la conducción de estudios epidemiológicos sobre la ubicación de las

personas lesionadas y no lesionadas, puede determinar cuáles comportamientos tienen probabilidad de reducir el riesgo de lesión. La determinación de los comportamientos más seguros es probable que dependa de la calidad de la construcción y del potencial de colapso de un tipo particular de edificación y será diferente para las áreas urbanas densamente pobladas que para las áreas rurales. Si uno está en un edificio con buena resistencia a los terremotos, que probablemente no sufra colapso, quizá la mejor idea sea meterse bajo un escritorio y cubrirse la nariz y la boca con una pieza de ropa para proteger el sistema respiratorio contra el polvo excesivo. De otro lado, si uno está en una edificación con alta probabilidad de colapsar (dada la pobreza del diseño, los materiales o las prácticas de construcción), la única esperanza puede ser salir corriendo rápidamente.

Las muertes y las lesiones causadas por estampidas en instalaciones públicas, como escuelas, subrayan la necesidad de conductas correctas ante los terremotos. Las personas deben ser estimuladas a practicar las acciones que tomarían durante un terremoto. Los programas de preparación ante terremotos y el material educativo, desde los recordatorios regulares o ‘consejos en caso de terremoto’ difundidos por los medios, hasta las conductas adecuadas para ocupantes de instituciones específicas, como hospitales y escuelas, deben probar su utilidad (tabla 8-4).

Planear escenarios para terremotos

El caos generalmente predomina inmediatamente después de un terremoto importante. Los residentes, desde afuera, tratarán inicialmente de ayudarse a sí mismos y a sus vecinos (16,17). Podrán hacerlo mejor si ya han planeado su respuesta a los más probables escenarios y practicado las habilidades adquiridas (107). Los planes de

Tabla 8.4 Medidas de seguridad en terremotos

Antes del terremoto:

- Mantener entrenada a la familia para que cada miembro sepa qué hacer en el evento de un terremoto.
- Asegurar calentadores de agua y aparatos de gas.
- Saber dónde y cómo cerrar las válvulas principales de agua y gas, y cortar la electricidad.
- Ubicar los objetos grandes y pesados en los anaqueles más bajos.
- Ajustar los estantes de libros y las unidades modulares a las paredes.
- Asegurar las plantas colgantes en macetas pesadas.
- Asegure los grandes marcos de pinturas, espejos y objetos pesados sobre anaqueles abiertos.
- Tenga a mano suministros de emergencia, tales como linternas, baterías y radios portátiles de pilas.

Durante el terremoto:

- Mantenga la calma. Piense en las consecuencias que pueda causar cualquier acción que usted tome.
- Permanezca donde está. No vaya hacia adentro si está afuera. No vaya afuera si está adentro. La mayoría de lesiones ocurre cuando la gente está entrando o saliendo de las edificaciones. Nunca use ascensores.
- Si está adentro, cúbrase bajo un escritorio pesado, una mesa, un banco, vano reforzado de una

Tabla 8.4 (continuación)

puerta o a lo largo de una pared interior. Cubra su cabeza y cara para protegerlas de la caída de escombros. Si usted está bajo una mesa, escritorio, etc., sosténgalos.

- Coloque una tela, sábana o pieza de vestido sobre su cabeza para protegerse de la aspiración del polvo fino que pueda ser levantado si la edificación sufre cualquier daño.
- Manténgase alejado de vidrios, sitios con fuego o cualquier cosa que pudiera caer sobre usted. No use velas o encienda llamas por la posible fuga de gases.
- Si usted está cocinando, trabajando con maquinaria o permanece cerca de un incendio o llama no protegida, desconecte la maquinaria, apague la estufa y extinga cualquier fuego. Si usted no puede hacerlo rápidamente, manténgase alejado de la maquinaria o fuego y proceda cuando haya cesado la sacudida.
- Si usted está afuera, aléjese de las edificaciones, postes y cables eléctricos. Permanezca lejos de vanos de puertas. Una vez al descubierto, manténgase ahí hasta cuando la sacudida se detenga.
- Si usted está manejando, hágase a un lado de la vía, lejos de puentes, pasos a nivel, líneas de energía, edificios altos y cualquier otra estructura que pudiera caer sobre el carro. Permanezca dentro del carro hasta que finalice la sacudida. Esté atento a los peligros en la ruta después de un terremoto. Una vez haya cesado la sacudida, proceda con precaución. Evite puentes o rampas que pudieran haberse averiado por el sismo.

Después del terremoto:

- Esté preparado para las réplicas. Algunas pueden ser lo suficientemente amplias para causar daño adicional.
- Evalúe lesiones. No trate de movilizar personas seriamente lesionadas. No permanezca para recoger pertenencias o valores. Conforme usted sale, ponga sus brazos sobre la cabeza a fin de protegerse contra objetos que posiblemente caigan desde arriba y aléjese tanto como sea posible de edificaciones cercanas.
- Si su edificación ha sido averiada, no reingrese. Otro sismo puede sobrevenir en cualquier momento. Aunque no se haya averiado, manténgase afuera durante una hora o más.
- No use el teléfono a menos que alguien haya sido lesionado o una edificación esté dañada o quemándose. Los servicios de emergencia pueden necesitar todas las líneas disponibles.
- Manténgase informado a través de un radio o televisor portátil.
- Esté atento a escapes de gas. Si usted huele gas, suspéndalo en el contador o consiga que alguien lo haga. Fíjese en las líneas caídas o sueltas; desconecte los aparatos averiados.
- Valore los daños en su hogar y evácuolo si parece peligroso. Observe si la chimenea tiene grietas. Acérquese a la chimenea con precaución. Si encuentra daño severo, salga inmediatamente; las réplicas podrían echar abajo la estructura.
- Asuma que el grifo del agua está contaminado; no use las cañerías hasta que usted sea informado de que las alcantarillas son seguras. Tape los drenajes para prevenir la acumulación de aguas negras. Usted puede usar el agua del calentador o del tanque del inodoro (no hervida) para fines diferentes a la bebida; purifíquela hirviéndola por un minuto o use tabletas purificadoras.
- Remueva los materiales peligrosos. Sea cuidadoso con los objetos que puedan caer al abrir los gabinetes o armarios.
- Cubra las ventanas rotas con triplex o sábanas plásticas.
- Escuche los consejos de la radio.
- Use zapatos y vestidos protectores. Después de un gran sismo, habrá una cantidad de vidrios rotos alrededor.
- No use su vehículo a menos que haya una emergencia. No vaya a echar vistazos; usted tan sólo obstaculizará los esfuerzos de apoyo.

preparación médica se pueden levantar alrededor de los cálculos para esos escenarios, basados en los tipos de edificaciones probablemente afectadas, la densidad de población, los patrones de asentamiento, el tamaño, las características del terremoto esperado en la región y las facilidades médicas disponibles en el área (108). Tal abordaje del riesgo regional, incluyendo los ‘escenarios de casos’, permitiría desarrollar programas específicos de entrenamiento para médicos y personal de rescate, tanto como el empleo apropiado del equipo médico y de rescate antes de que ocurra el desastre (109).

Sobre la base del escenario del terremoto desarrollado, las autoridades de salud pública deben trazar un plan. Este plan debe incluir lo siguiente:

- acciones recomendadas a las personas durante la sacudida,
- instrucciones para la evacuación de edificaciones después de la sacudida (o durante el terremoto mismo, si es fácil y seguro hacerlo),
- un listado de los sitios seguros donde las personas que viven en las áreas amenazadas por deslizamientos durante temblores secundarios puedan ser reubicadas,
- medios para el cuidado de jóvenes, ancianos, enfermos y personas débiles,
- procedimientos para extinguir fuentes de incendios potenciales y hacer seguras las situaciones peligrosas,
- un protocolo para chequeo personal y recuento de personas desaparecidas,
- un plan para brindar primeros auxilios y tratar las personas en estrés,
- procedimientos para chequeo y reporte de daños,
- medidas de limitación de daños,
- procedimientos para informar a la fuerza laboral acerca del momento seguro para retornar al trabajo o ir a casa.

Dado que nunca hay recursos o servicios médicos suficientes en los grandes desastres, las comunidades vulnerables a los terremotos deben establecer programas para enseñar al público qué hacer cuando ocurre un terremoto, primeros auxilios, entrenamiento básico en rescate y conductas adecuadas durante incendios (15). Los ejercicios de simulación se pueden llevar a cabo conjuntamente por grupos voluntarios, brigadas locales de incendios y hospitales. Este entrenamiento también podría ayudar a mejorar la respuesta de los espectadores durante cada día de emergencia.

Respuesta al desastre por terremoto

La respuesta al desastre por terremotos es más parecida al tratamiento médico que a la prevención, pero algunos aspectos de la respuesta pueden parecerse a la prevención terciaria en la cual se busca limitar lesiones adicionales y para controlar los efectos secundarios del terremoto (92). El rápido rescate debe mejorar el pronóstico de las víctimas y el tratamiento médico temprano disminuye las secuelas de las lesiones

primarias (por ejemplo, complicaciones de las heridas, discapacidades neurológicas crónicas). La provisión de alimento adecuado, agua y albergue debe ayudar especialmente a las personas en grupos de edad vulnerables y aquéllos con enfermedades previas. Las medidas efectivas de control ambiental deben evitar los problemas secundarios en salud ambiental. La identificación y el control de riesgos a largo plazo (por ejemplo, escombros de asbestos) debe reducir los efectos crónicos en la salud.

Evaluación rápida del impacto del terremoto

Dado que el rescate de las víctimas atrapadas y el pronto tratamiento de aquellas con lesiones que amenazan sus vidas puede mejorar su pronóstico, el abordaje rápido de la extensión del daño y las lesiones es necesario para ayudar a movilizar recursos y dirigirlos adonde más se necesitan (110). Infortunadamente, los muchos factores que probablemente causan el gran número de lesiones son también los que trastornan las comunicaciones y el transporte y dañan las instalaciones médicas. Las autoridades de salud necesitan establecer anticipadamente cómo se investigarán las áreas (ver capítulo 3, 'Vigilancia y epidemiología').

Búsqueda y rescate

Las personas atrapadas en los escombros morirán si no se rescatan y se les brinda tratamiento médico. Para maximizar las oportunidades de supervivencia, los grupos de búsqueda y rescate deben responder rápidamente después del colapso de un edificio. Los estudios del terremoto de Campania-Irpinia, Italia, en 1980 (111), Tangshan, China en 1976 (112), Armenia en 1988 (33) y Filipinas en 1990 (66) mostraron que: 1) la mayor proporción de personas atrapadas que sobrevivieron fueron extraídas en las primeras 24 horas y 2) que el 95% de las muertes registradas ocurrió mientras las víctimas estaban aún atrapadas (111). Los estimativos acerca de la capacidad de supervivencia de las víctimas sepultadas bajo edificaciones colapsadas en Turquía y China, indican que en 2 a 6 horas, menos de 50% están vivos (82). Aunque no podemos determinar si una persona atrapada muere inmediatamente o sobrevive por algún tiempo bajo los escombros, podemos asumir seguramente que más personas se podrían salvar si se extrajeran más temprano. Como lo sugieren estos datos, si los grupos con la experiencia especializada en áreas como búsqueda y rescate, resucitación en el sitio y primeros auxilios médicos, arriban más de un par de días después del impacto, es improbable que hagan mucha diferencia en la carga de mortalidad de un gran terremoto (91).

Con la excepción del personal de países en estrecha proximidad geográfica, la asistencia foránea usualmente arriba después de que la comunidad local ya ha adelantado bastante la actividad de rescate. Por ejemplo, en el sur de Italia en 1980, el 90% de los sobrevivientes de un terremoto fueron evacuados por otros sobrevivientes ilesos no entrenados que usaron sus manos y herramientas simples como palas y palancas (111). Luego del terremoto de Tangshan, cerca de 200.000 a 300.000 personas

atrapadas salieron de los escombros por sí mismos y fueron en rescate de otros (6). Ellos se tornaron en la columna vertebral de los grupos de rescate y más de 80% de los atrapados bajo los escombros fueron rescatados por ellos. Entonces, los esfuerzos para salvar vidas en una comunidad golpeada realmente recaen sobre las capacidades de los sobrevivientes relativamente ilesos, incluyendo voluntarios no entrenados, tanto como los bomberos y otros profesionales relevantes (113). Esto no significa que quienes estaban muertos cuando fueron extraídos no hubieran podido ser salvados por un equipo experimentado con sofisticados recursos. Sin embargo, las personas de la comunidad claramente juegan el papel más importante en los esfuerzos de rescate, y es mucho mejor, si ellos están adecuadamente preparados.

Vigilancia de actividades de búsqueda y rescate

La conducción de futuras operaciones de búsqueda y rescate se puede mejorar a partir de las lecciones aprendidas, de la posición y las circunstancias de las víctimas atrapadas y de los detalles acerca del proceso mismo de extracción. El conocimiento de las condiciones del colapso ayuda a establecer las prioridades del rescate. Por ejemplo, casi todos los tipos de edificaciones dañadas contendrán vacíos o espacios en los cuales las personas atrapadas pueden permanecer vivas por largos períodos de tiempo. Para conocer dónde pueden estar esos espacios seguros, uno debe conocer las características de varios tipos de construcción. Las edificaciones de la misma clase y tipo de construcción colapsan casi de la misma manera y están presentes factores comunes. Es importante que el personal de rescate estudie esos factores, ya que ese conocimiento será de ayuda al extraer víctimas.

Idealmente, los equipos de búsqueda y rescate deben tener formas de registrar importante información, incluyendo el tipo de construcción, la dirección, la naturaleza del colapso, la cantidad de polvo presente, la presencia de fuego o de riesgos tóxicos, la localización de las víctimas y la naturaleza y la severidad de las lesiones. Las víctimas notificadas como muertas en el sitio, deben ser etiquetadas con un número de identificación con el fin de que los datos del médico examinador se unan más tarde con los del formato de vigilancia de búsqueda y rescate. Las actividades de vigilancia de búsqueda y rescate se deben usar para dirigir los recursos a los sitios donde se puedan obtener los máximos beneficios en las primeras 24 a 48 horas, el tiempo más crítico.

Tratamiento médico

Al igual que se requiere velocidad para la búsqueda y la extracción efectivas, también es esencial para los servicios de urgencias médicas: la mayor demanda ocurre en las primeras 24 horas (33). Idealmente, 'la medicina de desastres' (cuidado médico para las víctimas de los desastres) incluye primeros auxilios inmediatos para mantener la vida, soporte avanzado ante el trauma, cirugía de resucitación, analgesia y anestesia en campo, manejo de la resucitación (tecnología de búsqueda y rescate) y cuidado

intensivo (26). Los pacientes inconscientes, ya sea con obstrucción de la vía aérea superior o lesiones por inhalación, o cualquier paciente con hipovolemia corregible, resultante de hemorragias o quemaduras, podrían beneficiarse especialmente de la intervención médica temprana. Safar, estudiando el terremoto de 1980 en Italia, concluyó que 25 a 50% de las víctimas que se lesionaron y murieron, podrían haberse salvado si los primeros auxilios se hubiesen prestado inmediatamente (114).

Los datos del terremoto de 1976 en Guatemala (115,116), Ciudad de México en 1985 (29), Armenia en 1988 (33) y Egipto en 1992 (86) mostraron que las personas lesionadas usualmente buscan atención médica de urgencias únicamente durante los primeros 3 a 5 días después del terremoto; luego, los patrones retornan casi a la normalidad. Del día 6 en adelante, la necesidad de atención médica declina rápidamente y la mayoría de los heridos requirió tan sólo atención médica ambulatoria, lo cual indica que los hospitales especializados que arriben después de una semana o más son generalmente muy tardíos para brindar ayuda durante la fase de emergencia. Después del terremoto de 1992 en Egipto, cerca de 70% de todos los pacientes con lesiones fueron admitidos en las primeras 36 horas (86).

El impacto médico y en la salud pública de un gran terremoto bien puede complicarse por un daño importante de las instalaciones médicas, hospitales, clínicas y tiendas de suministros en el área afectada (117). En el peor escenario, un edificio de hospital puede estar seriamente averiado y el personal puede tener que continuar el tratamiento de urgencia sin usar la edificación (118). Por ejemplo, en enero 17 de 1994, a las 4:31 a.m., hora del Pacífico, un terremoto de 6,8 en la escala Richter ocurrió en una falla previamente no conocida en el valle de San Fernando, condado de Los Angeles, y mató a 60 personas, por lo menos. El terremoto causó daños considerables a las instalaciones de salud y grandes trastornos en la prestación de los servicios de salud. Inmediatamente después de detenerse la sacudida, el daño estructural y no estructural obligó a evacuar los pacientes y trabajar afuera (9,10). El daño estructural de las edificaciones forzó a algunos de los hospitales más viejos a cesar o reducir las operaciones. Durante el terremoto de Ciudad de México en 1985, el cual mató un estimado de 7.000 personas, se perdió un total de 4.397 camas hospitalarias - casi una de cada cuatro camas disponibles en el área metropolitana (119). Los planes de emergencia hospitalaria en las áreas de terremoto deben atender la posibilidad de la evacuación de pacientes, el traslado de equipos importantes de las salas de cirugía, de los departamentos de radiología y de otras partes del hospital a una zona segura y, así, restablecer los servicios rutinarios de cuidado de pacientes (120).

Vigilancia de lesiones en los sitios de tratamiento médico

Los sitios de tratamiento médico, sean hospitales o clínicas temporales de campo, deben designar a alguien para que organice la vigilancia de lesiones, recoja datos y verifique que sean tabulados y reportados a las autoridades de salud responsables del desastre. Además de la recolección adecuada de información sobre la localización y la

severidad de las lesiones y el estado del paciente, el equipo de vigilancia debe intentar registrar, para cada paciente, un permanente punto de contacto fuera del área de impacto del desastre para que los epidemiólogos que conducen estudios de seguimiento o esfuerzos de vigilancia puedan encontrarlos, aún si ellos no son capaces de retornar a sus direcciones previas a causa del daño por el terremoto. Dependiendo de la urgencia de la situación, se puede recoger en el lugar alguna información acerca de cómo sucedió la lesión. Los buenos datos recogidos afuera, brindarán información precisa sobre las lesiones a quienes toman decisiones y son la base de lecciones aplicables en el siguiente terremoto.

Difusión de la información en salud pública

Las organizaciones de salud pública deben trabajar escenarios para varias contingencias de difusión de la información antes que ocurra un terremoto. Esto será difícil. El servicio telefónico probablemente estará interrumpido en el área de impacto de un terremoto. Sin embargo, la policía, los bomberos y muchas organizaciones de servicios de emergencias mantienen redes de radio, las cuales pueden usar las autoridades de salud. Además, las agencias noticiosas de radio y televisión arriban a menudo con sofisticados equipos de comunicación. Los medios electrónicos de noticias pueden ser otro vehículo efectivo para la difusión de información en salud, actualización de cifras y esfuerzos de apoyo. Por ejemplo, durante la fase de emergencia, los avisos difundidos por los medios sobre posibles deslizamientos pueden ayudar a las poblaciones a mantener la vigilancia y, posiblemente, evacuar la zona si hay caídas menores de rocas, fallas de pendientes o flujos de detritos, ya que esto sugiere que es inminente una caída más severa. La pronta evacuación de las áreas de deslizamiento cerca de la costa debe ser una prioridad por el riesgo de tsunamis.

En una investigación conducida después del terremoto de Loma Prieta, Bourque y colaboradores encontraron que mientras la mayoría de las muertes y lesiones sucedieron en el momento del terremoto, una alta proporción - cerca del 40% - ocurrió 72 horas después. Algunas de ellas podrían haberse evitado si se hubieran enviado mensajes de alerta al público (87). Idealmente, las autoridades públicas deben elaborar guías para la difusión de información a los medios para que se sepa en todas partes qué esperar cuando golpea un terremoto (ver capítulo 7, 'Relaciones efectivas con los medios').

Salud ambiental

En el día del desastre o en los inmediatamente posteriores, las prioridades indudablemente son el rescate y el tratamiento de las víctimas. Salvar las vidas de lesionados y atrapados pesa mucho más que cualquier otra necesidad. Sin embargo, las otras necesidades esenciales de la población que súbitamente perdió su hogar, posesiones, servicios urbanos y otros, no pueden ser ignoradas y asumirán mayor significado tan pronto la situación de amenaza a la vida se estabilice. Si se destruyen

grandes áreas de edificaciones, la población sin techo tendrá una urgente necesidad de albergue y alimentos (121). También necesitarán agua, vestido, saneamiento, educación en higiene y algo de comodidad. Las medidas efectivas de control ambiental deberán evitar problemas secundarios de salud ambiental.

Vigilancia de enfermedades infecciosas

Generalmente circulan rumores y temores de epidemias luego del impacto del desastre y los terremotos no son la excepción. Las epidemias de enfermedades infecciosas generalmente no han seguido a los terremotos en otros países y es improbable que ocurran en los Estados Unidos. Las autoridades de salud, sin embargo, deben estar preparadas para recomendar precauciones sanitarias adecuadas y disipar los rumores infundados y las informaciones inexactas. Se debe adaptar un mecanismo de vigilancia de enfermedad apropiado a las circunstancias y dar reportes regulares. Cualquier incidencia inusualmente alta de una enfermedad debe ser investigada e implementadas las medidas de control. Las campañas de vacunación masiva que no están basadas en los resultados de la vigilancia en salud pública son inapropiadas (ver capítulo 3, 'Vigilancia y epidemiología' y 5, 'Enfermedades transmisibles').

Seguimiento epidemiológico detallado

Pocos terremotos han sido adecuadamente estudiados desde la óptica epidemiológica, con las excepciones previamente anotadas (122). Es vital que se desarrollen planes para el seguimiento epidemiológico antes de que ocurra un terremoto con el fin de que los datos iniciales de vigilancia permitan el seguimiento (123). Las autoridades de respuesta al desastre deben estar convencidas de invertir tiempo y recursos en los esfuerzos de la vigilancia inicial, aunque su atención esté enfocada probablemente a los servicios médicos de urgencias y la asistencia al desastre (124). Sin esta inversión, puede perderse la oportunidad de aprender muchas lecciones útiles para los terremotos futuros (125). Una vez más, es importante reconocer que los terremotos recurrirán y que las lecciones aprendidas durante los esfuerzos de vigilancia luego de un terremoto particular pueden ayudar a salvar vidas durante los terremotos posteriores.

Vacíos de conocimiento

Dado que no conocemos lo suficiente acerca de las causas precisas de las muertes y de la naturaleza de las lesiones ocurridas durante los terremotos, los servicios de asistencia están a menudo mal enfocados y la planeación comunitaria, médica y de salud, es con frecuencia inadecuada (126). Cuanto más sepamos sobre la manera en la cual ocurren las lesiones y las muertes, mejor nos podremos preparar para responder a los terremotos. Los siguientes son puntos que los investigadores pueden tener en

cuenta para ayudar a las autoridades de salud y a los individuos a prepararse mejor ante los terremotos:

- Clasificar los riesgos de las poblaciones del mundo por la clase de edificaciones en las cuales viven y la posible intensidad sísmica en el área. Tales clasificaciones ayudarán a mejorar la exactitud de los estudios de predicción fallidos antes de los desastres (127).
- Determinar el papel de los elementos físicos (es decir, tipo de construcción, elementos no estructurales) en la producción de tipos específicos y la severidad de las lesiones. Actualmente, los datos sobre muertes, lesiones y otra información relacionada, se obtienen sin correlacionarse con aquéllos sobre el diseño de la construcción, las características dinámicas del suelo alrededor de cada edificación o las características de la población en riesgo en construcciones individuales. Adicionalmente, pocos estudios han atendido exactamente qué componentes de las edificaciones causan lesiones, particularmente en aquellas situaciones en las cuales algunas personas mueren o escapan sin lesión (79).
- Evaluar el patrón de conducta de los moradores ante la susceptibilidad a las lesiones por terremotos.
- Recoger más datos sobre las circunstancias en que quedaron atrapadas las personas (es decir, ubicación de las víctimas en la estructura colapsada). La falta de tales datos ha hecho más difícil la planeación de las acciones de búsqueda y rescate, del cuidado médico y la solicitud de apoyo externo (128).
- Integrar el conocimiento obtenido en diferentes disciplinas. La mayoría de estudios de casos se ha dirigido al problema desde el punto de vista de una disciplina, sea la ingeniería o la salud. Esta falta de colaboración activa entre los trabajadores de diferentes áreas del conocimiento ha sido una debilidad de las pasadas investigaciones sobre los efectos en salud. Los estudios epidemiológicos exitosos requieren de una estrecha colaboración interdisciplinaria entre ingenieros estructurales, médicos y epidemiólogos.
- Incorporar los hallazgos de la investigación posterior al terremoto en los protocolos específicos de preparación de emergencia y guías de respuesta. El vacío entre lo que los investigadores han aprendido y la base de conocimientos bajo los protocolos de la 'comunidad usuaria' (es decir, las organizaciones de respuesta y recuperación) se puede llenar si los miembros de ésta y los investigadores interactúan más efectivamente. Los resultados de las investigaciones se deben comunicar a quienes toman decisiones y a los ciudadanos en el ámbito nacional, estatal y local para que puedan incorporar tales hallazgos en la preparación comunitaria y los programas de respuesta.
- Desarrollar modelos válidos de estimación de casos para planificar y responder (por ejemplo, modelos pre-desastre del impacto médico por simulación del impacto de los desastres) (129,130).
- Determinar cuánto y en qué grado cambia el comportamiento de los ciudadanos con el entrenamiento previo bajo los efectos del estrés. Pocos estudios han evaluado el grado al cual la gente conoce y sigue las recomendaciones de

seguridad o la efectividad de los procedimientos recomendados (por ejemplo, ‘agáchese y cúbrase’). Se necesita más investigación en esas áreas y más herramientas efectivas de enseñanza y de entrenamiento.

Problemas metodológicos

Faltan datos para los estudios comparativos. Esos datos incluyen información básica como la magnitud o la intensidad del terremoto, el número de muertes, el número de personas lesionadas (usando definiciones estándar) y el tamaño de la población afectada (131).

El estudio de las lesiones es difícil desde una mirada estrecha, requiere la colaboración activa de los trabajadores en diferentes áreas de experticia (122). Primero, se deben entender los mecanismos de las fallas físicas en los terremotos. Esto requiere competencia en ingeniería estructural y arquitectura. Segundo, se debe entender el proceso de la lesión humana en las fallas de las edificaciones inducidas por los terremotos. Tercero, se debe desarrollar el marco de trabajo para el análisis de patrones de lesiones y para el análisis de la relación entre los agentes causales específicos y las consecuencias negativas (129).

Además, los mecanismos causales y la naturaleza de las lesiones son difíciles de determinar en forma precisa, como lo son las variables y los indicadores apropiados que describen tales lesiones. Se debe considerar la exposición al riesgo, los tipos de construcción y su comportamiento durante los terremotos, la influencia de los componentes no estructurales, los componentes de la construcción y el contenido de las edificaciones, la ocupación de las edificaciones y el comportamiento de los ocupantes, la respuesta de emergencia y rescate y el tratamiento médico suministrado. Claro, uno se está enfrentando rápidamente al problema de la gran dificultad para recoger tal información pues esto debe hacerse inmediatamente después del impacto, cuando las condiciones son más caóticas y todo el personal calificado está dirigido al esfuerzo de salvar vidas (132). Este uso del personal es, en la mayoría de los casos, justificable; sin embargo, sin la ayuda activa del personal de búsqueda y rescate, “reconstruir” lesiones desde los hospitales a los sitios específicos de colapso de edificaciones puede ser imposible.

La dificultad para recoger información sobre las personas atrapadas tiene que ver con que las fuentes institucionalizadas de información sobre lesiones (es decir, los registros médicos hospitalarios) no documentan usualmente información como el sitio de la edificación donde ocurrió la lesión, las características de la edificación que contribuyeron a dicha lesión, el comportamiento inicial del lesionado cuando comenzó la sacudida y las circunstancias en las que quedó atrapado.

Infortunadamente, esta falta de datos hace difícil el desarrollo de técnicas efectivas de búsqueda y rescate y de estrategias efectivas de prevención de lesiones.

Las estadísticas sobre lesiones generales en los terremotos basadas únicamente en datos de las salas de urgencias hospitalarias tienden a sobrestimar el número de

personas que buscan tratamiento por problemas relacionados con el terremoto, pues, también incluyen los individuos que acuden por otras causas. De otro lado, mirando únicamente los hospitales y los problemas allí tratados, probablemente se subestimaré el impacto total en salud, ya que tal información no tiene en cuenta otros escenarios donde la gente busca y recibe tratamiento. Estos incluyen (pero no están limitados) clínicas comunitarias, centros de urgencias, centros de la Cruz Roja y del Ejército de Salvación. Desde luego, es también difícil obtener documentación sobre pacientes cuyas lesiones fueron autotratadas. De acuerdo con Durkin, las estadísticas sobre lesiones basadas solamente en los datos recogidos de hospitales pueden representar el 40% del total ocurrido (por ejemplo, el número de lesiones en Loma Prieta en 1989 puede haber sido tan alto como 9.500 en lugar del oficialmente reportado de 3.800) (31).

Los estudios analíticos para establecer y cuantificar la magnitud de la relación entre los factores de riesgo importantes también son muy difíciles de organizar y conducir en una región devastada por un terremoto, donde la mayoría de viviendas han sido destruidas y la población reubicada, factores que hacen extremadamente difícil localizar a las personas lesionadas. Además, en muchas áreas del mundo donde han ocurrido terremotos, los registros de los censos son malos. Aun cuando estén disponibles buenos datos censales (California), otros factores, como la proporción de personas que se moviliza hacia y desde el área afectada, pueden afectar mucho el tamaño de la población presente en el momento de un terremoto. Entonces, si la estimación de la población es difícil, pasa lo mismo con la selección de sujetos control apropiados (133). Como resultado de ello, casi todos los estudios epidemiológicos publicados sobre lesiones relacionadas con terremotos son descriptivos; no hay estudios analíticos necesarios para probar hipótesis sobre qué tipos de exposiciones o riesgos están asociados con las lesiones (ver capítulo 2, 'Uso de los métodos epidemiológicos en desastres' para una discusión más profunda de estos problemas).

Recomendaciones para investigación

- Tratar de entender los mecanismos por los cuales las personas mueren o se lesionan en los terremotos (por ejemplo, qué componentes de las edificaciones causaron directamente el trauma). Tal conocimiento es esencial para desarrollar estrategias efectivas de prevención (134).
- Intentar identificar los factores relacionados con la supervivencia de los rescatados, después del colapso de una edificación. Por ejemplo, estudiar las relaciones entre la incidencia de lesiones y un diseño estructural de edificación, los materiales de construcción usados, los componentes no estructurales de la edificación y las circunstancias físicas en que quedaron atrapados. La determinación del lugar donde la gente estaba cuando se lesionó o murió, puede dar información valiosa para asistir a los potenciales sobrevivientes y hacer las recomendaciones a los ocupantes sobre qué hacer durante un terremoto.

- Establecer la causa y el tiempo aproximado de muerte de un cuerpo removido de una estructura colapsada junto con los expertos en medicina forense. Entonces, correlacionar los estimados de tiempo de muerte con el tiempo que duró atrapado. El establecer cuándo mueren las personas luego del colapso del edificio puede dar importante información para planear los esfuerzos de rescate y evaluar la necesidad de recursos.
- Establecer datos detallados de autopsia sobre una muestra de víctimas para determinar la causa exacta de muerte. Tal información podría suministrar bases sobre las cuales sugerir modificaciones de las edificaciones para prevenir muertes. Información similar de autopsias ha sido valiosa al analizar los choques de automóviles y hacer modificaciones a los interiores de los vehículos.
- Evaluar la eficacia de los esfuerzos de búsqueda y rescate y del cuidado médico. Una cuidadosa investigación de las barreras organizacionales para la respuesta rápida se requiere con el fin de mejorar la capacidad de los grupos de rescate y médicos de campo para responder rápidamente a salvar las vidas de las víctimas más seriamente lesionadas. Los estudios de la epidemiología de los sobrevivientes lesionados pueden también ayudar a identificar la mejor forma de desmontar un edificio colapsado (135) y conducir el rescate sin provocar más daño al atrapado.
- Estudiar las necesidades médicas inmediatas de las personas atrapadas. Tales estudios ayudarían a identificar intervenciones efectivas para prevenir o manejar los casos (por ejemplo, el tratamiento del síndrome de aplastamiento) y para minimizar las discapacidades (por ejemplo, reduciendo la incidencia de infección de las heridas y complicaciones postoperatorias en el campo).
- Determinar si el conocimiento de los patrones de lesiones se puede usar para sugerir cambios de diseño en los componentes estructurales y no estructurales de las edificaciones.
- Analizar los hallazgos previos de las edificaciones en el contexto del estudio de las lesiones. Los resultados pueden llevar al desarrollo de estrategias de prevención simples pero efectivas tendientes a mitigar lesiones o muerte.
- Estudio de los factores del comportamiento relacionados con lesiones y muerte. Únicamente desarrollando datos reales acerca de la localización de las personas lesionadas y no lesionadas, las autoridades pueden dar aviso a los ocupantes de las edificaciones para que se tomen las mejores acciones con el fin de reducir la probabilidad de lesiones o muerte.
- Conseguir información que nos permita predecir qué tipos de lesiones esperar cuando ocurre un terremoto, dado un conocimiento del diseño de la edificación, las condiciones locales del suelo, la intensidad del terremoto, la densidad de población, etc. (95). Esta información es esencial tanto para establecer rápidamente la magnitud del problema como para anticipar las demandas de rescate y de servicios médicos y de salud (por ejemplo, predecir la cantidad de suministros y el número de personal necesario) (136).

- Examinar la manera en la cual colapsaron los edificios durante otro tipo de desastres. Por ejemplo, colapso estructural causado por tornados, huracanes, fallas en la construcción, desastres en minas, bombas terroristas, choques de aviones o trenes, experiencias de guerra, etc., que podrían dar luces sobre la manera en la cual colapsan las edificaciones durante los terremotos.
- Determinar el riesgo de liberaciones tóxicas y otras amenazas no tradicionales después de los terremotos.
- Identificar los determinantes culturales y socioeconómicos de las lesiones. Por ejemplo, a pesar del potencial peligroso asociado con las edificaciones de mampostería no reforzada, tales edificaciones ofrecen frecuentemente la única posibilidad de albergue para residentes económica y socialmente en desventaja. De ahí que debemos dirigir la investigación hacia el desarrollo de técnicas arquitectónicas, administrativas y de manejo, que reduzcan el riesgo de las diferentes minorías étnicas en áreas propensas a terremotos.
- Intentar determinar en el mundo y por país o por área propensa al desastre: 1) la proporción de gente protegida por construcciones sismorresistentes tanto en casa como en el lugar de trabajo, y 2) el costo de brindar completa protección para la población en cuestión (137).

Resumen

Un gran terremoto en una de nuestras áreas urbanas constituye el peor desastre natural para los Estados Unidos. La mayor parte de lo que podemos hacer para mitigar las lesiones debe hacerse antes que ocurra el terremoto. Los investigadores han identificado un número de factores de riesgo potencialmente importantes para lesiones asociadas (ya sea directa o indirectamente) con terremotos. Dado que el colapso estructural es el principal factor de riesgo (que actúa solo), debe darse prioridad a la seguridad sísmica y a la planificación del uso de la tierra en el diseño y la construcción de edificaciones. La integración de estudios epidemiológicos con los de otras disciplinas como ingeniería, arquitectura, ciencias sociales y otras ciencias médicas, es esencial para el entendimiento de las lesiones (138). El mejor conocimiento de los factores de riesgo de morir y el tipo de lesiones y de enfermedad causadas por los terremotos es un elemento importante con el fin de determinar qué suministros de socorro, equipos y personal son necesarios para responder efectivamente a los terremotos.

El fortalecimiento de la capacitación comunitaria en la realización de los propios planes de preparación es la forma más fructífera de mejorar la efectividad de las operaciones de socorro. En las áreas propensas a desastres, el entrenamiento y la educación en primeros auxilios y métodos de rescate debe ser parte integral de cualquier programa de preparación comunitaria. Infortunadamente, a causa del relativamente largo período de tiempo entre los grandes terremotos, la comunidad de salud pública enfrenta un especial desafío en comunicar efectivamente los peligros de un potencial terremoto y la necesidad de planificar y tomar acciones antes de que ocurra.

Referencias

1. Hays WW. Perspectives on the International Decade for Natural Disaster Reduction. *Earthquake Spectra* 1990;6:125-43.
2. Perez E, Thompson P. Natural hazards: causes and effects. Earthquakes. *Prehospital and Disaster Med* 1994;9:260-71.
3. Hamilton RM, Johnston AC. *Tecumseh's prophecy: preparing for the next New Madrid earthquake*. U.S. Geological Survey Circular 1066. Denver, CO: USGS; 1990.
4. U.S. Geological Survey. *Scenarios of possible earthquakes affecting major California population centers, with estimates of intensity and ground shaking*. Open-File Report 81-115. Menlo Park, CA: USGS; 1981.
5. Coburn A, Spence R. *Earthquake protection*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.; 1992. p.2-12, 74-80, 277-84.
6. Chen Y, Tsoi KL, Chen F, et al. *The Great Tangshan Earthquake of 1976: an anatomy of disaster*. Oxford: Pergamon Press; 1988.
7. U.S. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration and U.S. Department of Interior, Geological Survey. *Earthquake history of the United States* rev. ed. with supplement for 197140. Boulder, CO; 1982. Pub. No.41-1.
8. Haynes BE, Freeman C, Rubin JL, et al. Medical response to catastrophic events: California's planning and the Loma Prieta earthquake. *Ann Emerg Med* 1992;21:368-74.
9. Tierney K. Social impacts and emergency response. In: Hall JF, editor. *Northridge earthquake, January 17, 1994: preliminary reconnaissance report*. Oakland: Earthquake Engineering Research Institute; 1994. p.86-93.
10. Goltz JD. *Tile Northridge, California, earthquake of January, 17, 1994: general reconnaissance report*. Technical Report NCEER 94-0005. Buffalo, NY: National Center for Earthquake Engineering Research; 1994.
11. Davis JF, Bennett JH, Borchardt GA, et al. Earthquake planning scenario for a magnitude 8.3 earthquake on the San Andreas fault in Southern California. Special Publication No. 60. Sacramento, CA: California Department of Commerce, Division of Mines and Geology; 1982.
12. National Oceanic and Atmospheric Administration. *A study of earthquake losses in the San Francisco Bay Region*. Washington, D.C.: Office of Emergency Preparedness; 1972.
13. Fitzgerald RH. Medical consequences of the earthquake of 1886 in Charleston, South Carolina. *South Med J* 1985;78:458-62.
14. Centers for Disease Control. Earthquake-associated deaths: California. *MMWR* 1989;38:767-70.
15. Noji EK. The 1988 earthquake in Soviet Armenia: implications for earthquake preparedness. *Disasters: The International Journal of Disaster Studies and Practice* 1989;13:255-62.
16. Pointer JE. The 1989 Loma Prieta earthquake: impact on hospital care. *Ann Emerg Med* 1992;21:1228-33.
17. Palafox J, Pointer JE, Martchenke J, et al. The 1989 Loma Prieta earthquake: issues in medical control. *Prehospital and Disaster Medicine* 1993;8:291-7.
18. Benuska L, editor. Loma Prieta earthquake reconnaissance report. *Earthquake Spectra* 1990;6(Suppl.):1-448.
19. Fratessa PF. Buildings. In: *Practical lessons from the Loma Prieta earthquake*. Washington, D.C.: National Academy Press; 1994. p.1-274.
20. Noji EK, Armenian HK, Oganessian AP. Mass casualties and major injuries: medical management in the Armenian earthquake. In: *Proceedings of the International Symposium on "Medical Aspects of Earthquake Consequences" in Yerevan, Armenia, 9-11 October 1990*. Yerevan, Armenia: Armenian Ministry of Health; 1990.

21. Perez E, Thompson P. Natural hazards: causes and effects. Earthquakes. *Prehospital and Disaster Medicine* 1994;9:260-71.
22. California Department of Commerce, Division of Mines and Geology. *How earthquakes are measured*. California Geology, February 1979. p.35-7.
23. U.S. Atomic Energy Commission. *Report on structural damage in Anchorage, Alaska caused by the earthquake of March 27, 1964*. Nevada Operations Office, NVO-9949. (Contract AT (2Sl) 99), Jan. 1966.
24. Stratton JW. Earthquakes. In: Gregg MB, editor. *The public health consequences of disasters*. Atlanta: Centers for Disease Control; 1989. p.13-24.
25. Pretto E, Safar P. Disaster reanimatology potentials revealed by interviews of survivors of five major earthquakes. *Prehospital and Disaster Medicine* 1993;8:S139.
26. Pretto EA, Angus DC, Abrams JI, et al. An analysis of prehospital mortality in an earthquake. *Prehospital and Disaster Medicine* 1994;9:107-24.
27. Mikaelyan AL, Belorusov O, Lebedeva RN, et al. The experience of the All-Union Surgery Scientific Center of the USSR Academy of Medical Sciences and its branch in the treatment of the Armenian earthquake victims. In: *Proceedings of the International Conference on Disaster Medicine, Moscow, 22-23 May 1990*. Moscow: Ministry of Health; 1990. p.1:467.
28. Jones NP, Noji EK, Smith GS, Krimgold F. Preliminary earthquake injury epidemiology report. In: Bolin R, editor. *The Loma Prieta earthquake: studies of short-term impacts*. A Natural Hazards Center monograph. Boulder, CO: University of Colorado; 1990. p.33-43.
29. Malilay JM. *Comparison of morbidity patterns in two hospitals following the September 19, 1985 earthquake in Mexico City*. Washington, D.C.: Pan American Health Organization; 1986.
30. Memarzadeh P. The earthquake of August 31, 1968, in the south of Khorasan, Iran. In: *Proceedings of the Joint IHF/IUA/UiVDRO/WHO Seminar*. Manila: World Health Organization Regional Office; 1978. p.13.
31. Durkin ME, Thiel CC, Schneider JE, et al. Injuries and emergency medical response in the Loma Prieta earthquake. *Bull Seismological Society of America* 1991;81:2143-66.
32. Noji EK. Medical and health care aspects of the Spitak-88 earthquake. In: *Proceedings of the International Seminar on the Spitak-88 Earthquake*, 23-26 May, 1989, Yerevan, S.S.R. of Armenia. Paris: U.N. Educational, Scientific and Cultural Organization; 1992. p.241-6.
33. Noji EK, Kelen GD, Armenian HK, et al. The 1988 earthquake in Soviet Armenia: a case study. *Ann Emerg Med* 1990;19:891-7.
34. Noji EK. Acute renal failure in natural disasters. *Ren Fail* 1992;14:245-9.
35. Eknayan G. Acute renal failure in the Armenian earthquake. *Kidney Int* 1993;44:241-4.
36. Aznaurian AV, Haroutunian GNI, Atabekian AL, et al. Medical aspects of the consequences of earthquake in Armenia. In: *Proceedings of the International Symposium "Medical Aspects of Earthquake Consequences" in Yerevan, Armenia 9-11 October 1990*. Yerevan (Armenia): Armenian Ministry of Health; 1990. p.:9-10.
37. Frechette CN. Rescuing earthquake victims in Armenia. *Plast Reconstr Surg* 1989;84:838-40.
38. de Ville de Goyet C, Jeannee E. Epidemiological data on morbidity and mortality following the Guatemala earthquake. *IRCS Medical Sciences: Social and Med* 1976;4:212.
39. Alexander DE. Disease epidemiology and earthquake disaster: the example of Southern Italy after the Nov. 23rd, 1980 Earthquake. *Soc Sci Med* 1982;16:1959-69.
40. Arvidson RM. On some mental effects of earthquake [letter]. *Am Psychol* 1969;24:605-6.
41. Katsouyanni K, Kogevinas M, Trichopoulos D. Earthquake-related stress and cardiac mortality. *Int J Epidemiol* 1986;15:326-30.

42. Trichopoulos D, Katsouyanni K, Zavitsanos X. Psychological stress and fatal heart attack: the Athens 1981 earthquake natural experiment. *Lancet* 1983;1:441-3.
43. Dobson AJ, Alexander HM, Malcolm JA, *et al.* Heart attacks and the Newcastle earthquake. *Med J Aust* 1991;155:757-61.
44. Malilay JM. *Comparison of morbidity patterns in two hospitals following the September 19, 1985 earthquake in Mexico City*. Washington, D.C.: Pan American Health Organization; 1986.
45. Diaz de la Garza JA. *Earthquake in Mexico, Sept. 19 and 20 of 1985. Disaster Chronicles. No. 3*. Washington, D.C.: Pan American Health Organization; 1987.
46. Hingston RA, Hingston L. Respiratory injuries in earthquakes in Latin America in the 1970s: a personal experience in Peru, 1970; Nicaragua, 1972-73; and Guatemala, 1976. *Disaster Med* 1983,1:425-6.
47. Noji EK. Natural disasters. *Crit Care Clin* 1991;7:271-92.
48. Noji EK. Training of search and rescue teams for structural collapse events: a multidisciplinary approach. In: Ohta M, Ukai T, Yamamoto Y, editors. *New aspects of disaster medicine*. Tokyo, Japan: Herusu Publishing Co., Inc.; 1989. p.150-5.
49. Rahimi M, Azevedo G. Building content hazards and behavior of mobility-restricted residents. In: Bolton P, editor. *The Loma Prieta, California, earthquake of October 17, 1989-public response*. USGS Professional Paper 1553-B. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office; 1993. p.BS1-B62.
50. Goltz JD, Russell LA, Bourque LB. Initial behavioral response to a rapid onset disaster: a case study of the October 1, 1987, Whittier Narrows earthquake. *Int J Mass Emergencies* 1992;10:43-69.
51. Haynes BE, Freeman C, Rubin JL, *et al.* Medical response to catastrophic events: California's planning and the Loma Prieta earthquake. *Ann Emerg Med* 1992;21:368-474.
52. Garcia LE. The Paez, Colombia earthquake of June 6, 1994. *Earthquake Engineering Research Institute Newsletter* 1994;8:7.
53. Blake P. Peru earthquake, May 31, 1970. Report of the CDC epidemiologic team. Atlanta: Center for Disease Control; 1970.
54. U.N. Economic Commission for Latin America (ECLAC). *The tsunami of September 1992 in Nicaragua*. Santiago, Chile: ECLAC; 1992.
55. Yanev P. Hokkaido Nansei-Oki earthquake of July 12, 1993. *EQE Review*, Fall 1993;1-6.
56. Synolakis C. The June 3, 1994, East Java earthquake-tsunami takes it toll on local villages. *Earthquake Engineering Research Institute Newsletter* 1994;28:6-7.
57. Jones NP, Noji EK, Krimgold F, Smith GS, editors. *Proceedings of the International Workshop on Earthquake Injury Epidemiology for Mitigation and Response, 10-12 July, 1989*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University; 1989.
58. U.S. Agency for International Development (USAID). *Case report: Guatemala earthquake 1976*. Washington, D.C.: USAID; 1978.
59. Hall JF. *The January 17, 1994 Northridge, California earthquake: an EQE summary report*. San Francisco: EQE International; 1994.
60. Alexander DE. Death and injury in earthquakes. *Disasters* 1985;9:57-60.
61. Showalter PS, Myers MF. Natural disasters in the United States as release agents of oil, chemicals, or radiological materials between 1980-1989: analysis and recommendations. *Risk Anal* 1994;14:169-82.
62. Coburn AW, Murakami HO, Ohta Y. *Factors affecting fatalities and injuries in earthquakes*. Internal Report. Engineering Seismology and Earthquake Disaster Prevention Planning. Hokkaido, Japan: Hokkaido University; 1987.
63. EQE Engineering. *The October 17, 1989 Loma Prieta earthquake: a quick report*. San Francisco: EQE Engineering; 1989.

64. Coburn AW, Spence RJS, Pomonis A. Factors determining human casualty levels in earthquakes: mortality prediction in building collapse. In: *Proceedings of the First International Forum on Earthquake related Casualties*. Madrid, Spain, July 1992. Reston, VA: U.S. Geological Survey; 1992.
65. Armenian HK, Noji EK, Oganessian AP. Case control study of injuries due to the earthquake in Soviet Armenia. *Bull World Health Organ* 1992;70:251-7.
66. Roces MC, White ME, Dayrit MM, Durkin ME. Risk factors for injuries due to the 1990 earthquake in Luzon, Philippines. *Bull World Health Organ* 1992;70:509-14.
67. Glass RI, Urrutia JJ, Sibony S, *et al*. Earthquake injuries related to housing in a Guatemalan village. *Science* 1977;197:638-43.
68. Mitchell WA, Wolniewicz R, Kolars JF. *Predicting casualties and damages caused by earthquakes in Turkey: a preliminary report*. Colorado Springs, CO: U.S. Air Force Academy; 1983.
69. Mehraïn M. A reconnaissance report on the Iran earthquake. *National Center for Earthquake Engineering Research Bulletin* 1991;5:1-4.
70. Coburn AW, Petrovski J, Ristic D, *et al*. *Mission report and technical review of the impact of the earthquake of 21 June, 1990, in the provinces of Gilan and Zanjan. Earthquake reconstruction program formulation mission to the Islamic Republic of Iran*. Geneva: U.N. Disaster Relief Office; 1990.
71. Ceciliano N, Pretto E, Watoh Y, *et al*. The earthquake in Turkey in 1992: a mortality study. *Prehospital and Disaster Medicine* 1993;8 :S139.
72. Bertero VV. *Lessons learned from the 1985 Mexico City earthquake*. El Cerrito, CA: Earthquake Engineering Research Institute; 1989.
73. Bommer J, Ledbetter S. The San Salvador earthquake of 10th. October 1986. *Disasters* 1987;11:83-95.
74. Wyllie LA, Lew HS. Performance of engineered structures. *Earthquake Spectra* 1989 (Special Supplement):70-92.
75. Mochizuki T, Hayasaka S, Kosaka S. Human behavior and casualties in wooden houses with little ductility. In: *Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering*. Tokyo: Japan Association for Earthquake Disaster Prevention; 1988;8:983-8.
76. Centers for Disease Control. Earthquake disaster-Luzon, Philippines. *MMWR* 1990;39:573-7.
77. Governor's Board of Inquiry on the 1989 Loma Prieta Earthquake. *Competing against time: report to Governor George Deukmejian*. North Highlands, CA: California Department of General Services; 1990.
78. Ohashi T. Importance of indoor and environmental performance against an earthquake for mitigating casualties. In: *Proceedings of the Eighth World Conference on Earthquake Engineering*. Vol. VII. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall; 1984;7. p.655-62.
79. Durkin ME, Thiel CC. Improving measures to reduce earthquake casualties. *Earthquake Spectra* 1992;8:95-113.
80. Wagner RM, Jones NP, Smith GS, Krimgold F. Study methods and progress report: a case-control study of physical injuries associated with the earthquake in the County of Santa Cruz. In: Tubbesing SK, editor. *The Loma Prieta, California. earthquake of October 17, 1989-Loss estimation and procedures*. USGS Professional Paper 1553-A. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office; 1993. p.A39-A61.
81. Durkin ME, Murakami HO. Casualties, survival and entrapment in heavy damaged buildings. In: *Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering*. Tokyo: Japan Association for Earthquake Disaster Prevention; 1988;8. p.977-82.
82. de Bruycker M, Greco D, Lechat MF. The 1980 earthquake in Southern Italy: morbidity and mortality. *Int J Epidemiol* 1985;14:113-7.

83. Jones NP, Wagner RM, Smith GS. Injuries and building data pertinent to the Loma Prieta earthquake: County of Santa Cruz. In: *Proceedings of the 1993 National Earthquake Conference, 2-5 May, 1993, Memphis, Tennessee*. Monograph #5. Memphis: Central U.S. Earthquake Consortium; 1993. p.531-40.
84. National Safety Council (NSC). *Accident facts*. Chicago: National Safety Council; 1989.
85. Aroni S, Durkin M. Injuries and occupant behavior in earthquakes. In: *Proceedings of the Joint US-Romanian Seminar on Earthquakes and Energy*. Washington, D.C.: Architectural Research Centers Consortium; 1985. p.3-40.
86. Malilay J. Medical and healthcare aspects of the 1992 earthquake in Egypt. *Report of the Earthquake Engineering Research Institute Reconnaissance Team*. Oakland: Earthquake Engineering Research Institute; 1992.
87. Bourque LB, Russell LA, Goltz JD. Human behavior during and immediately after the Loma Prieta earthquake. In: Bolton P, editor. *The Loma Prieta, California, earthquake of October 17, 1989-public response*. USGS Professional Paper 155 3-B. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office; 1993. p.B3-B22.
88. Archea J. Immediate reactions of people in houses. In: Bolin R, editor. *The Loma Prieta earthquake: studies of short-term impacts*. Monograph #50. Boulder: University of Colorado; 1990. p.56-64.
89. Durkin ME. Behavior of building occupants in earthquake. *Earthquake Spectra* 1985;1:271-83.
90. Arnold C, Durkin M, Eisner R, Whittaker D. *Imperial County Services Building: occupant behavior and operational consequences as a result of the 1979 Imperial Valley earthquake* [grant monograph]. San Mateo, CA: Building Systems Development. Inc.; 1982.
91. Noji EK. Medical consequences of earthquakes: coordinating medical and rescue response. *Disaster Management* 1991;4:32-40.
92. Noji EK, Sivertson KT. Injury prevention in natural disasters: a theoretical framework. *Disasters* 1987;11:290-6.
93. National working group in Japan. *Tsunami protective measures in Japan*. Tokyo: Tokyo University; 1961.
94. Special Subcommittee of the Joint Committee on Seismic Safety. *The San Fernando earthquake of February 9, 1971, and public policy*. San Jose, CA: California Legislature; 1972.
95. Smith GS. Research issues in the epidemiology of injuries following earthquakes. In: *Proceedings of the International Workshop on Earthquake Injury Epidemiology for Mitigation and Response, 10-12 July, 1989, Baltimore, Maryland*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University; 1989. p.61-81.
96. Coburn AW, Pomonis A, Sakai S. Assessing strategies to reduce fatalities in earthquakes. In: *Proceedings of International Workshop on Earthquake Injury Epidemiology for Mitigation and Response, 10-12 July, 1989, Baltimore, Maryland*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University; 1989. p.107-32.
97. Sanchez-Carrillo CI. Morbidity following Mexico City's 1985 earthquakes: clinical and epidemiologic findings from hospitals and emergency units. *Public Health Rep* 1989;104: 483-8.
98. Durkin M, Aroni S, Coulson A. Injuries in the Coalinga earthquake. In: *The Coalinga earthquake of May 2, 1983*. Berkeley, CA: Earthquake Engineering Research Institute; 1983.
99. Durkin ME, Thiel CC, Schneider JE. Casualties and emergency medical response. In: Tubbesing SK, editor. *The Loma Prieta, California, earthquake of October 17, 1989-loss estimation and procedures*. USGS Professional Paper 1553-A. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office; 1993. p.A9-A38.
100. Disaster trends. Real-time earthquake monitoring. *DisasterTrends Summary* 1992;5:2.

101. Chengye T. A criterion for calling an earthquake alert: forecasting mortality for various kinds of earthquakes. *Earthquake Research in China* 1991;5:83-93.
102. Lomnitz C. Casualties and the behavior of populations during earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America* 1970;60:1309-13.
103. Tiedemann H. Casualties as a function of building quality and earthquake intensity. In: Proceedings of the International Workshop on Earthquake Injury Epidemiology for Mitigation and Response, 10-12 July, 1989, Baltimore, Maryland. Baltimore, MD: Johns Hopkins University; 1989. p.420-34.
104. Durkin ME. The Chile earthquake of March 3, 1985: casualties and effects on health care system. *Earthquake Spectra* 1986;2:487-97.
105. Reyes Ortiz M, Reyes Roman M, Vial Latorre A, et al. Brief description of the effects of the earthquake of 3rd March, 1985-Chile. *Disaster* 1986;10:125-40.
106. Archea J. The behavior of people in dwellings during the Loma Prieta, California, earthquake of October 17, 1989. *National Center for Earthquake Engineering Research Bulletin* 1990; 4:8-9.
107. Ohta Y, Ohashi H, Kagami H. A semi-empirical equation for estimating occupant casualty in an earthquake. In: *Proceedings of the 8th European Conference on Earthquake Engineering*. Lisbon: European Association for Earthquake Engineering 1986;2:81-8.
108. Spence RJ, Coburn AW, Sakai S, et al. *Reducing human casualties in building collapse: methods of optimizing disaster plans to reduce injury levels*. Cambridge: Martin Center for Architectural and Urban Studies, Cambridge University; 1990.
109. Noji EK. Health impact of earthquakes: implications for hazard assessment and vulnerability analysis. In: *Proceedings of the First International Forum of Earthquake-Related Casualties, Madrid, Spain, July 1992*. Reston, VA: U.S. Geological Survey; 1992.
110. Schneider E. *Northridge earthquake rapid health needs assessment of households - Los Angeles County, California, January 20, 1994*. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention; 1994.
111. de Bruycker M, Greco D, Annino I, et al. The 1980 earthquake in Southern Italy: rescue of trapped victims and mortality. *Bull World Health Organ* 1983;61:1021-5.
112. Sheng ZY. Medical support in the Tangshan earthquake: a review of the management of mass casualties and certain major injuries. *J Trauma* 1987;27:1130-5.
113. Noji EK, Armenian HK, Oganessian A. Issues of rescue and medical care following the 1988 Armenian earthquake. *Int J Epidemiol* 1993;22:1070-6.
114. Safar P. Resuscitation potentials in earthquakes. An international panel. *Prehospital and Disaster Medicine* 1987;3:77.
115. de Ville de Goyet C, del Cid E, Romero A, et al. Earthquake in Guatemala: epidemiologic evaluation of the relief effort. *Bull Pan Am Health Organ* 1976;10:95-109.
116. Chatterson J. Guatemala after the earthquake. *Can J Public Health* 1976;67:192-5.
117. Degler RR, Hicks SM. The destruction of a medical center by earthquake: initial effects on patients and staff. *Calif Med (now West J Med)* 1972;116:63-7.
118. Arnold C, Durkin M. *Hospitals and the San Fernando earthquake of 1971: the operational experience*. San Mateo, CA: Building Systems Development Inc.; 1983.
119. Zeballos JL. Health effects of the Mexico earthquake-19th Sept. 1985. *Disasters* 1986; 10: 141-9.
120. Noji EK, Jones NP. Hospital preparedness for earthquakes. In: Tomasik KM, editor. *Emergency preparedness: when the disaster strikes. Plant, Technology & Safety Management Series*. Oakbrook Terrace, IL: Joint Commission on the Accreditation of Health Care Organizations; 1990. p.13-20.
121. Malilay J. *The damnificados of Mexico City: morbidity health care utilization and population movement the September 1985 earthquakes* [dissertation]. New Orleans, LA: Tulane University; 1987.

122. Jones NP, Noji EK, Krimgold FR, Smith GS. Considerations in the epidemiology of earthquake injuries. *Earthquake Spectra* 1990;6:507-28.
123. Centers for Disease Control, U.S. Geological Survey, Office of U.S. Foreign Disaster Assistance, National Science Foundation and Federal Emergency Management Agency. *Proceedings of the First International Forum on Earthquake-Related Casualties, Madrid, Spain, July 1992*. Reston, VA: U.S. Geological Survey; 1992.
124. Moorhead GV, Freeman C, Van Ness C. *Injury patterns in a major earthquake*. Sacramento, CA: Emergency Medical Services Authority, California; 1984.
125. Noji EK. Need for a sound research program on earthquake epidemiology. In: Hays WW, editor. *Proceedings of a meeting of the U.S. Working group on earthquake related casualties*. Open-file Report 90-244. Reston, VA: U.S. Geological Survey; 1990. p.71-80.
126. Lechat MF. An epidemiologist's view of earthquakes. In: Solnes J, editor. *Engineering seismology and earthquake engineering*. Leiden, Holland: Noordhoff; 1974;3:285-306.
127. Centers for Disease Control, U.S. Geological Survey, Office of US Foreign Disaster Assistance, National Science Foundation and Federal Emergency Management Agency. *Proceedings of the meeting of the U.S. ad hoc working on earthquake related casualties, Washington, D.C., May 1992*. Reston, VA: U.S. Geological Survey; 1992.
128. Krimgold F. Search and rescue in collapsed buildings. In: Bertero VV. *Lessons learned from the 1985 Mexico City' earthquake*. El Cerrito, CA: Earthquake Engineering Research Institute; 1989. p.217-9.
129. Olsen R. *Proceedings of the workshop on modelling earthquake casualties for planning and response*. Sacramento: California Emergency Medical Services Authority; 1990.
130. Shiono K, Krimgold F, Ohta Y. Postevent rapid estimation of earthquake fatalities for the management of rescue activity. *Comprehensive Urban Studies* 1991;44:61-105.
131. Pollander GS, Rund DA. Analysis of medical needs in disasters caused by earthquakes: the need for a uniform injury reporting scheme. *Disasters* 1989;13:365-9.
132. Comfort LK. Suggested problems for field research in earthquake disaster operation. In: *Proceedings of the international Workshop on Earthquake Injury. Epidemiology for Mitigation and Response. 10-12 July 1989, Baltimore, Maryland*. Baltimore: Johns Hopkins University; 1989. p.458-61.
133. Armenian HK, Oganessian AP, Noji EK. The case control method for the investigation of the risk of morbidity in earthquakes. In: *Proceedings of the International Symposium on "Medical Aspects of Earthquake Consequences" in Yerevan, Armenia, 9-11 October 1990*. Yerevan (Armenia): Armenian Ministry of Health; 1990.
134. Jones NP, Noji EK, Smith GS, Wagner RM. Casualty in earthquakes. In: *Proceedings of the 1993 National Earthquake Conference, 2-5 May, 1993, Memphis, Tennessee. Monograph #5*. Memphis: Central U.S. Earthquake Consortium; 1993. p.19-68.
135. Applied Technology Council. *Earthquake damaged buildings: an overview of heavy debris and victim extrication*. Earthquake Hazards Reduction Series 43 (ATC 21-2). Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency; 1988.
136. Durkin ME, Thiel CC. Toward a comprehensive regional earthquake casualty modeling process. In: *Proceedings of the 1993 National Earthquake Conference, 2-5 May, 1993, Memphis, Tennessee. Monograph #5*. Memphis: Central U.S. Earthquake Consortium; 1993. p.557.
137. Lechat MF. Corporal damage as related to building structure and design: the need for an international survey. In: *Proceedings of the International Workshop on Earthquake injury Epidemiology for Mitigation and Response, 10-12 July, 1989, Baltimore, Maryland*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University; 1989. p.1-16.
138. Wagner RM, Jones NP, Smith GS. Risk factors for casualty in earthquakes: the application of epidemiologic principles to structural engineering. *Structural Safety* 1994;13:177-200.

Erupciones volcánicas

PETER J. BAXTER

Las pérdidas humanas y económicas por erupciones volcánicas han sido minimizadas por las de las inundaciones, los terremotos y los huracanes, pero el potencial de efectos devastadores de las erupciones volcánicas es tan grande que ahora reciben mayor atención. Los principales factores que contribuyen a los desastres volcánicos incluyen la falta de un mapa preciso de las amenazas volcánicas, los escasos recursos dedicados exclusivamente a la monitorización de los más peligrosos y el veloz y continuo crecimiento de las poblaciones, con el resultado de que cerca de 500 millones de personas vivirán en áreas de actividad volcánica a finales de siglo. Existen cientos de peligrosos y explosivos volcanes y sólo algunos de ellos han sido sujetos de un detallado análisis de riesgos. Para avanzar en los estudios de zonificación de amenazas alrededor de los volcanes, la Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales de las Naciones Unidas (DIRDN) ha designado algunos de los volcanes más peligrosos en los países desarrollados y en vías de desarrollo como los 'volcanes de la década' para estudio especial (1) (tabla 9.1).

Factores que afectan la ocurrencia y la severidad de los desastres volcánicos

Históricamente, unos 600 volcanes han estado activos en el mundo y 100 o más han sido notorios por la frecuencia o la severidad de sus erupciones en áreas pobladas (2,3). En promedio, cerca de 50 volcanes hacen erupción cada año. La mayoría de los

Tabla 9.1 Volcanes de la Década. Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales de las Naciones Unidas

Colima (México)	Monte Rainier (Estados Unidos)	Teide (España)
Etna (Italia)	Nyiragongo (Zaire)	Ulawun (Papua,
Galeras (Colombia)	Sakurajima (Japón)	Nueva Guinea)
Mauna Loa (Estados Unidos)	Santa María (Guatemala)	Unzen (Japón)
Merapi (Indonesia)	Taal (Filipinas)	Vesubio (Italia)

volcanes, incluyendo los de los Estados Unidos, están en un cinturón que bordea el Océano Pacífico conocido como el ‘anillo de fuego’; históricamente, la mayoría de las muertes en erupciones ha ocurrido en Indonesia. Otro cinturón importante se extiende desde el sudeste de Europa a través del Mediterráneo. Además, se encuentran islas volcánicas en el Pacífico, el Atlántico y el Indico. Notoriamente, la mayoría de los volcanes están 300 km mar adentro, en áreas que frecuentemente son de alto riesgo sísmico.

Cerca de 400 a 500 volcanes están en áreas conocidas como zonas de subducción, donde las placas tectónicas están bajo compresión (por ejemplo, el ‘cinturón de fuego’) y esos volcanes tienden a ser explosivos. Los volcanes explosivos tienden a hacer erupciones violentas y liberan grandes cantidades de ceniza. Algunos volcanes, como los de Hawaii, se caracterizan por grandes flujos de lava y copiosas emisiones de gas pero pocas cenizas. Otros volcanes, como los de Islandia, pueden hacer erupción con grandes flujos de lava (por ejemplo, el Krafla) o explosivamente emitiendo cenizas altamente tóxicas, como el volcán Hekla. Los volcanes con características explosivas y efusivas, se denominan ‘mixtos’. Los geólogos piensan que ahora hay, por lo menos, 35 volcanes con potencial explosivo localizados al este de los Estados Unidos y Alaska, con cerca de dos docenas en la Sierra Cascada; seis de ellos han hecho erupción en los últimos 200 años. Otra área peligrosa contiene los cráteres Mono-Inya de California. Los volcanes hawaianos de Mauna Loa y Kilauea tienen importantes erupciones de lava cada pocos años y han sido intensamente estudiados por los geólogos, pero implican poco riesgo para los humanos comparados con sus primo explosivo, el Monte Santa Helena, en el centro de los Estados Unidos. Hasta la erupción del Monte Santa Helena y excluyendo la actividad volcánica en Hawaii, las erupciones previas más recientes en los Estados Unidos han sido: una menor en el Monte Lassen, California, en 1914, y la erupción masiva del Monte Katmai, en Alaska en 1912. La erupción del Monte Santa Helena en el estado de Washington el 18 de mayo de 1980, fue un importante estímulo para la mitigación de los desastres volcánicos en todas partes. Aunque el Monte Santa Helena es el volcán más activo de la Sierra Cascada, hace erupción aproximadamente cada 100 años, las autoridades no estaban preparadas para la magnitud y la capacidad destructiva de su erupción. Desde entonces, otras erupciones desastrosas alrededor del mundo han resaltado el peligro de la preparación inadecuada (por ejemplo, Monte Galunggung, Indonesia, 1984; Nevado del Ruiz, Colombia, 1985; El Chichón, México, 1982; Monte Pinatubo, Filipinas, 1991, y Monte Unzen, Japón, 1991) (tabla 9.2).

Tabla 9.2 Erupciones volcánicas que han causado más de 8.000 muertes desde los años 1600

Volcán	Fecha de erupción	No. de muertos	Agente letal
Laki, Islandia	178	39.350	La caída de cenizas destruyó cosechas y animales, causando inanición.
Unzen, Japón	1792	14.300	70% de los muertos por colapso del cono; 30% por tsunami
Tambora, Indonesia	1815	92.000	La mayoría de muertes por inanición
Krakatoa, Indonesia	1883	36.147	70% murieron por el tsunami
Monte Pelée, Martinica	1902	29.025	Flujos piroclásticos
Nevado del Ruiz, Colombia	1985	23.000	Avalancha

Fuente: Modificada de Blong RJ. *Volcanic hazards: A source book on the effects of eruptions*. Sydney: Academic Press; 1984. (6)

El trabajo científico de años recientes ha confirmado el efecto crítico que los volcanes pueden ejercer sobre el clima del mundo. Por ejemplo, de repetirse hoy, una erupción de la magnitud del Tambora en Indonesia, 1815, considerada la más mortífera de la historia, conllevaría importantes pérdidas de vidas por hambre en muchas partes del mundo a causa de su impacto sobre el clima. Las nubes de ciertas erupciones, como la de El Chichón en México, 1982, y la del Monte Pinatubo en Filipinas, 1991, produjeron abundantes aerosoles de sulfato en la estratosfera que no permitieron la penetración de la luz solar y se afectó la temperatura global (4). Las erupciones masivas en caldera son muy destructivas y capaces de provocar disturbios globales a gran escala; la última ocurrió en la prehistoria. En la actualidad, no hay manera de predecirlas ni planificarlas.

Predicción de erupciones y establecimiento de alarmas

Los vulcanólogos predicen el comportamiento general de los volcanes a partir de la evidencia disponible por sus características geológicas y su actividad pasada (5). El establecimiento de los riesgos asociados con los volcanes puede ser una actividad científica costosa, pero es un primer paso esencial, antes de emprender el establecimiento de riesgos o el desarrollo de planes de desastre. El uso de la información estadística sobre el momento de los eventos eruptivos previos para predecir erupciones futuras es difícil dado lo disperso de la información. Para los pocos volcanes sobre los cuales existen datos, se han identificado patrones aleatorios de erupción (Mauna Loa), agrupamiento (Kilauea) y creciente probabilidad de erupción violenta conforme pasa el tiempo desde la última erupción (Vesubio, Italia).

Si se pueden establecer en forma precisa el momento, la magnitud y la naturaleza de las erupciones, se puede prevenir la pérdida de vidas humanas mediante la evacuación

oportuna. Sin embargo, en la práctica, estamos lejos de alcanzar esta meta. Los avisos de una reactivación de la actividad volcánica pueden ser dados por ciertos eventos premonitorios como pequeños sismos o emisiones menores de gas y ceniza semanas o meses antes. Se pueden usar las técnicas de monitorización específica, la cual incluye la sismografía y la deformación del terreno, las emisiones de gas, la microgravedad y la actividad térmica (5). Aun con estrecha vigilancia, es imposible inferir, a partir de la actividad precursora, si habrá una erupción o determinar su magnitud o su carácter. Una evaluación de riesgos adelantada por estudios geológicos de Estados Unidos en 1978, predijo exitosamente el grado de la erupción del Monte Santa Helena del 18 de mayo de 1980, pero la erupción pudo ser presagiada como de ocurrencia probable, *'posiblemente en este siglo'*; aún cuando comenzó la actividad premonitoria, no hubo consenso científico sobre si ocurriría una erupción mayor. Sin embargo, para las subsecuentes erupciones menores, las técnicas de monitorización fueron capaces de predecirlas con un día o menos de anticipación y brindaron información importante a los servicios de personal de emergencia y para quienes continuaron trabajando en la vecindad del volcán.

Como desventaja adicional, sabemos de erupciones desastrosas que pueden ocurrir en lugares donde no se sabía de la existencia de volcanes - por ejemplo, en el Monte Lamington, Papua, Nueva Guinea, donde 2.942 personas murieron en 1951. En 1991, las autoridades filipinas fueron sorprendidas cuando el Monte Pinatubo mostró los primeros signos de actividad eruptiva, pues, la última erupción había ocurrido 600 años antes y no se consideraba un volcán bajo serio estudio. Hasta que los vulcanólogos condujeron un urgente abordaje stratigráfico del Monte Pinatubo, se reconoció el extenso depósito de flujo piroclástico y su peligro. La erupción explosiva el 14 de junio de 1991, fue una de las mayores de este siglo.

Infortunadamente, esta incapacidad para predecir exactamente cuándo y con qué fuerza hará erupción un volcán origina serios problemas en las áreas altamente pobladas donde puede requerirse mucho tiempo para la evacuación exitosa. Para el futuro predecible, las catástrofes como la del Nevado del Ruiz (tabla 9.2) parecen inevitables. Uno de los volcanes más peligrosos hoy día es el Vesubio en Italia. Aún no apagado, el volcán amenaza, por lo menos, a 800.000 personas, residentes en casas y edificios que han alcanzado inexorablemente sus flancos. Los ejemplos ilustran la importancia de dar máxima prioridad a los esfuerzos en la mitigación de desastres, dirigidos directamente hacia la preparación de la comunidad y las medidas de respuesta a las emergencias mientras persista la incertidumbre de las predicciones.

Riesgos asociados con las erupciones y factores que influyen en la morbilidad y la mortalidad

Los volcanes han sido respetados por su pavoroso poder y temidos por su capacidad de causar muerte y destrucción. El rango de los fenómenos eruptivos y las consecuencias secundarias es amplio y esa diversidad hace que el estudio de los

volcanes sea un compromiso particularmente complejo para los científicos y los trabajadores de salud (6). Los fenómenos más peligrosos son los flujos piroclásticos y las avalanchas (flujos de lodo con detritos volcánicos), los cuales se mueven como las corrientes de gravedad. El riesgo de lesión o muerte asociada con esos fenómenos depende de: 1) el tamaño y la naturaleza de la erupción, 2) los factores topográficos locales y 3) la proximidad de la población al volcán. Además, los gases asfixiantes formados durante una erupción son más peligrosos cerca de los cráteres o fisuras ubicadas en los flancos del volcán. Dado que la gravedad es crucial para el flujo de los sólidos volcánicos y de los gases densos, quienes viven en las áreas bajas y en los valles cerca del volcán están en mayor riesgo de lesiones o muerte. Los expertos que estudian los volcanes críticamente activos conocen bien la importancia de asegurar que la gente evite vivir en esas áreas tanto como sea posible y de poner especial atención a los riesgos que enfrentan las comunidades en esos lugares.

Riesgos de ráfagas y proyectiles

Una ráfaga es una fuerza explosiva y si ocurre una erupción, es probable que esté confinada cerca de la abertura o avance localmente en explosiones, como ocurre cuando los materiales calientes caen en los lagos. Producen un ruido que se escucha a grandes distancias y pueden romper ventanas y causar laceraciones por vidrios rotos. Los fragmentos de roca de diferentes tamaños pueden ser arrojados explosivamente en cualquier momento, causando lesión o muerte, y en las erupciones masivas pueden ser liberados sobre una amplia zona alrededor del volcán. Los proyectiles grandes pueden dañar las viviendas y, si son candentes, causar incendios.

En los cráteres pueden ocurrir pequeñas erupciones con poco aviso. Por ejemplo, en el Monte Etna en Sicilia, 1979, nueve turistas que visitaban el volcán murieron después de pequeñas erupciones y en el Galeras, Colombia, 1993, seis científicos que trabajaban al lado del cráter murieron sin anuncio. Esas liberaciones de energía a pequeña escala causadas por gases reprimidos o mecanismos similares son un riesgo ocupacional serio para los vulcanólogos que trabajan cerca de las bocas de los volcanes (1).

Riesgos por flujos y oleadas piroclásticas

Los flujos y oleadas piroclásticas son mezclas de gases calientes, ceniza, piedra pómez y rocas que son impulsadas primariamente por la gravedad y se pueden formar por el colapso de una erupción vertical o salir directamente al borde del cráter (3). Es importante visualizar esos flujos y oleadas como corrientes de gravedad que se mueven como nubes de gas denso y que son capaces de extenderse ampliamente y causar destrucción masiva. Pueden viajar a velocidades de 50 a 150 km por hora, una velocidad que, junto con el contenido sólido del flujo, crean un poderoso ímpetu destructor muy parecido al de los huracanes. Muchos flujos y oleadas se inician a altas temperaturas

(600-900 °C) y algunos se pueden enfriar rápidamente si son turbulentos y se mezclan con aire durante su viaje. En algunos casos, en la periferia del flujo, la temperatura pico y la concentración de partículas densas pueden ser tan efímeras que las personas incluso pueden sobrevivir al aire libre y a menudo las casas fuertes pueden proteger a las personas que permanecen dentro. Las oleadas piroclásticas son flujos diluidos que pueden dejar depósitos de pocos centímetros de espesor; sin embargo, pueden ser altamente destructivas cuando surgen del volcán a elevadas temperaturas y con altos niveles de energía. Muchos flujos piroclásticos vienen a levantar una oleada que se extiende varios kilómetros más lejos y la cual puede estar lo suficientemente caliente para causar quemaduras severas a la vegetación. También pueden estar presentes gases como vapor de agua, dióxido de carbono y de sulfuro, al menos en pequeñas concentraciones.

La primera oportunidad para investigar las causas de muerte por flujos piroclásticos fue luego del impacto de la erupción del Monte Santa Helena el 18 de mayo de 1980. A pesar de la alerta oficial y del establecimiento de zonas restringidas, más de 160 personas, incluyendo unos pocos leñadores, estaban en cercanías del volcán en el momento de la erupción. Las líneas de árboles descuajados marcaron un abrupto punto de corte de las máximas fuerzas dinámicas en una área de destrucción a más de 27 km del cráter. Las autopsias de los 25 cuerpos recuperados mostraron que 17 muertes ocurrieron por asfixia al inhalar cenizas y 5 por lesiones térmicas (7). Tres de los muertos eran leñadores en un paraje a 19 km del cráter; dos sobrevivieron al flujo pero sufrieron quemaduras de segundo y tercer grado que afectaron el 33 y el 47% de sus superficies corporales, respectivamente. Los dos leñadores murieron después por un síndrome de dificultad respiratoria del adulto inducido por la inhalación de partículas de cenizas calientes (8). Tres personas murieron con trauma cefálico por caídas de árboles (2) o rocas (1).

La tasa de mortalidad asociada con esta erupción fue cercana al 50% después de incluir aquéllos ubicados en la periferia del flujo, que también fueron contados. Este hallazgo es sorprendentemente bajo considerando que todas las víctimas y sobrevivientes fueron sorprendidos al aire libre en el momento de la erupción (9). La mejor evidencia disponible para la protección ofrecida por las viviendas se obtuvo después de la erupción del volcán San Vicente en 1902 (10). Las personas que se protegieron a sí mismas de la erupción dentro de casas firmes con ventanas selladas, sobrevivieron, mientras que aquéllas que permanecieron afuera murieron, al igual que los animales no protegidos. En una erupción del Monte Unzen en Japón en 1991, dos vulcanólogos y 39 periodistas murieron por una oleada de alta temperatura aunque 8 personas que estaban en casas cercanas y 1 dentro de un carro, sobrevivieron. Los hallazgos en estas diferentes erupciones tienen importantes implicaciones para la planeación de emergencias en viviendas levantadas alrededor de volcanes. Con todo, la evacuación debe ser la medida preventiva clave, dado que la magnitud y la energía de los flujos son impredecibles. Por ejemplo, en otra erupción en 1902 del Monte Pelee en Martinica, únicamente 2 de las 28.000 personas dentro del pueblo de Saint Pierre sobrevivieron al flujo piroclástico que devastó esa ciudad.

Avalanchas e inundaciones

Las avalanchas (deslizamientos de lodo es otra designación, pero no necesariamente precisa, para este escurrimiento de agua y detritos volcánicos) son frecuentes acompañantes de las erupciones y son, por lo menos, tan mortales como los flujos piroclásticos. El calor de los flujos piroclásticos, la lava y las ráfagas de vapor pueden fundir glaciares y nieve, o lluvias intensas pueden acompañar las erupciones de ceniza. Cuando el agua se mezcla con las cenizas y los detritos de roca, se forma un enorme volumen de material cuya consistencia varía desde un escurrimiento diluido hasta una pasta delgada o un concreto húmedo. Los lagos en el cráter, si están presentes, pueden ser también una fuente importante de agua y las avalanchas pueden expandir mucho más su volumen cuando fluyen por los lagos y cuando se les incorpora tierra suelta que se ha erosionado de los valles del río. Una gran avalancha es capaz de aplastar todo a su paso incluyendo casas, carreteras y puentes. Después de la erupción del Monte Santa Helena, las avalanchas viajaron por los ríos Cowlitz y Toutle y entraron por el río Columbia tan lejos como a la ciudad de Portland. El promedio de velocidad de este flujo a lo largo del valle fue tan sólo de 32 km por hora, lo que dió tiempo para que las personas que vivían en su ruta escaparan (11). En contraste, en 1985 la falta de preparación resultó en la gran avalancha del volcán Nevado del Ruiz en Colombia que enterró la ciudad de Armero a 48 km de distancia y causó la muerte a 23.000 personas (12). Dado que los valles de los ríos son los cursos naturales de las avalanchas, las inundaciones pueden ser una consecuencia inmediata ya que los detritos caen en los ríos y lagos. Adicionalmente, los materiales alteran los niveles y cursos de los ríos existentes, produciendo un serio riesgo de futuras inundaciones si ocurren lluvias intensas. Las inundaciones también pueden ser causadas por las avalanchas en lagos o por hielo y nieve derretida. Las grandes erupciones como la del Monte Pinatubo, llenan valles profundos con piroclasto y otro material eruptivo y las intensas lluvias pueden movilizar el material durante años. El agua que rebasa los ríos y canales, rápidamente erosiona las riberas y las viviendas cercanas son socavadas o inundadas rápidamente. Este problema ha sido particularmente serio en las áreas planas alrededor del Monte Pinatubo y ha resultado en el desplazamiento de decenas de miles de personas.

Precipitación de ceniza

Las cenizas caídas, fruto de grandes erupciones, pueden causar destrucción y daño ambiental en amplias áreas, tan lejos como cientos de kilómetros abajo del volcán. Las grandes precipitaciones de cenizas (más de 25 cm de espesor) pueden poner en riesgo la vida por el peso sobre el techo de las edificaciones. En el pasado, ese peligro no había sido enfatizado lo suficiente, como lo ilustran dos recientes erupciones. En la del Monte Santa Helena, el impacto y el tamaño de ellas en el centro del estado de Washington no había sido anticipado (13). Aunque el espesor máximo de la ceniza fue levemente mayor de 4 cm (figura 9.1), cuando la nube del 18 de mayo arribó, todas las

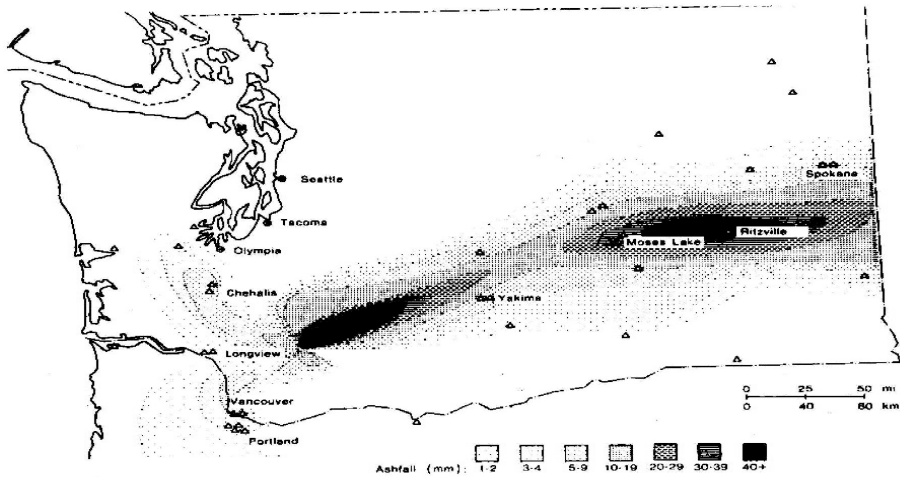


Figura 9-1. Profundidad máxima de la caída de ceniza de la erupción del Monte St. Helens, estado de Washington, 1980.

actividades económicas, especialmente las vías, el metro y el transporte aéreo, se pararon durante 5 días por la drástica reducción de la visibilidad como resultado de la interferencia causada por la ceniza suspendida en el aire. La parálisis continuó hasta que un inesperado aguacero compactó la ceniza y la adhirió al terreno. Las tres grandes erupciones de 1980 fueron de mediana magnitud para el Monte Santa Helena, el cual en una erupción pasada había dejado un depósito de cenizas de 30 cm de espesor a una distancia de 80 km. Dependiendo de la dirección predominante del viento, si semejante caída de ceniza ocurriera hoy, podría causar trastornos masivos en ciudades tan grandes como Portland, Oregon, al oeste del volcán. En 1991, en el Monte Pinatubo, por lo menos, murieron 300 personas y un número similar fue seriamente lesionado en edificaciones cuyos techos colapsaron bajo el peso de la ceniza; aunque el espesor en algunas de las ciudades afectadas sólo fue de 10 cm, su densidad estaba aumentada por las intensas lluvias que hubo durante la erupción (14).

Una nube volcánica que contenga ceniza y gases viajará en la dirección predominante del viento llevando muy lejos las partículas más finas y livianas. Los gases y otros materiales volátiles son adsorbidos en las partículas de ceniza, y al ser rápidamente solubles, serán sacados por la lluvia en las corrientes de agua o en lo que se siembra. Dependiendo del tipo de volcán, el flúor del ácido sulfhídrico puede ser un riesgo tóxico durante la caída de cenizas. Los granjeros en Islandia son conscientes del peligro de las erupciones del volcán Hekla, pues tan sólo 1 mm de depósito de ceniza sobre la hierba mató miles de ovejas. También se pensó que el envenenamiento por flúor mató al ganado después de la erupción del Lonquimay en Chile, 1988. Muchas ovejas también murieron después de la erupción del monte Hudson en Chile en 1991, pero esas muertes fueron probablemente debidas a inanición más que a causas tóxicas (15). Durante las grandes erupciones, una placa profunda de ceniza puede causar gran

fatiga a los animales de forraje que pueden ser incapaces de encontrar alimento o fuentes adecuadas de agua.

La ceniza volcánica se puede producir por la explosión y el desmoronamiento de rocas viejas (líticas) así como por la descarga de presión sobre el magma (líquido fresco de roca) dentro del volcán. El tamaño de las partículas y su composición mineral varía entre volcanes y aun entre erupciones de un mismo volcán. Las cenizas emitidas recientemente imparten un olor sulfuroso o picante al aire y el material volátil adherente se adiciona al efecto irritante que las cenizas finas pueden tener sobre los pulmones. Las partículas de ceniza producidas en erupciones explosivas son a menudo lo suficientemente pequeñas para ser rápidamente inhaladas en lo profundo de los pulmones y las partículas más gruesas pueden alojarse en la nariz o en los ojos e irritar la piel. En la caída de cenizas del Monte Santa Helena (18 de mayo de 1980), más de 90% de las partículas estaban en el rango respirable (<10 micras).

Efectos respiratorios y oculares

Las erupciones del Monte Santa Helena de 1980 permanecen como el único ejemplo bien documentado en el cual la vigilancia epidemiológica fue asumida después de una erupción volcánica (16). Las tendencias en las visitas a salas de urgencias y los ingresos hospitalarios después de cada erupción revelaron incrementos en el número de pacientes en busca de tratamiento para el asma y la bronquitis (figura 9.2) (16). Además, un estudio de hogares en Yakima, Washington, mostró que cerca de un tercio de los pacientes con enfermedad pulmonar crónica que no enfermaron lo suficiente como para acudir al hospital en el momento de la erupción, de todos modos experimentaron una marcada exacerbación de sus síntomas respiratorios durante el período en que subieron los niveles de cenizas respirables que continuaron elevados por más de 3 meses después de la erupción (17). Esos pacientes indudablemente estarían más seriamente afectados si no hubiesen atendido el aviso de las autoridades de salud pública y su propio sentido común para permanecer en casa durante las peores condiciones. No se atribuyeron muertes a los efectos respiratorios de las cenizas. A pesar de la falta de datos epidemiológicos, hay pocas dudas de que el impacto de erupciones similares sería mayor en los países menos privilegiados donde las casas resisten menos la filtración de partículas. Así, en 1992, después de la erupción de Cerro Negro en Nicaragua, se reportó un incremento en los casos de asma pero la subutilización de los servicios de salud por la población hizo imposible un abordaje completo de la magnitud del impacto. En contraste, un sistema de vigilancia epidemiológica establecido por el Departamento de Salud de Filipinas después de la masiva caída de cenizas del Monte Pinatubo, no encontró ningún incremento en los problemas respiratorios en las comunidades afectadas, hallazgo inesperado que puede atribuirse a la compactación y la sedimentación de las cenizas por las intensas lluvias que acompañaron la erupción.

En las erupciones del Pinatubo y el Santa Helena (18), la ceniza contenía de 3 a 7% de cristal de sílice, un mineral que causa silicosis; la mayoría de las partículas estaba en el rango respirable. La exposición ocupacional a cenizas suspendidas de trabajadores

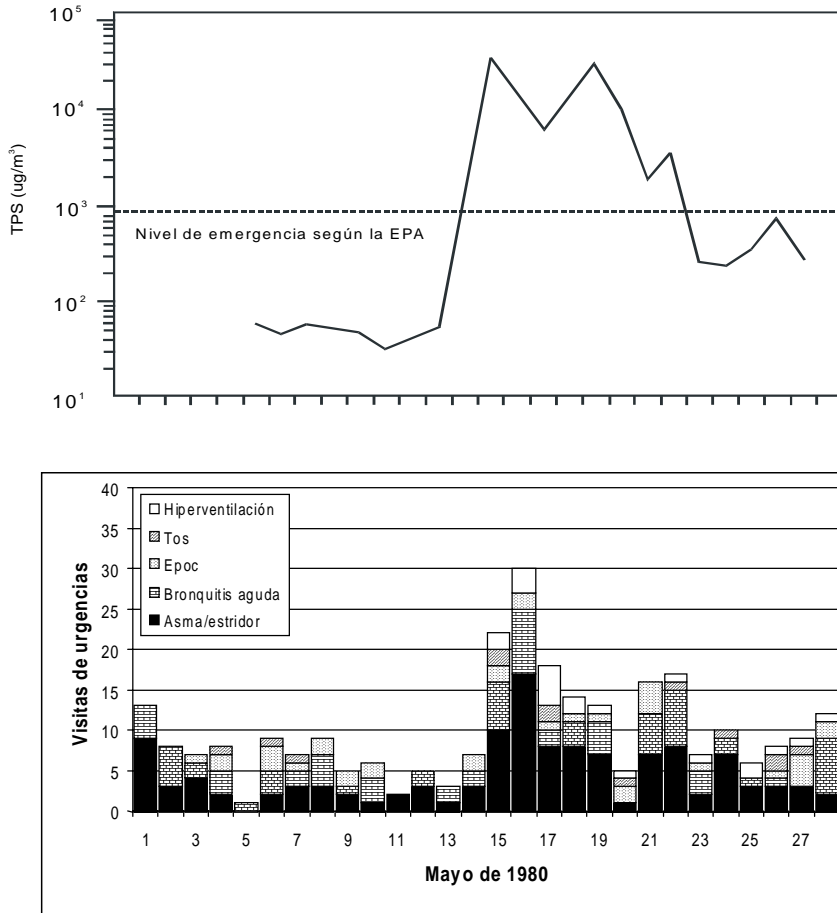


Figura 9-2. Superior: concentración total de partículas en suspensión (TPS) de la gran cantidad de partículas de ceniza producidas por las explosiones de la erupción del Monte Santa Helena, estado de Washington, 1980.

Inferior: las tendencias de las consultas a urgencias después de la erupción del Monte Santa Helena, estado de Washington, 1980, revelaron un aumento del número de pacientes que buscaban tratamiento para el asma y la bronquitis.

al aire libre, por parte de grupos como leñadores y trabajadores de fincas, podría ser potencialmente alta para causar silicosis si se mantuviere, por ejemplo, como resultado del volcán que repetidamente y por años emite cenizas. Mucha más ceniza emanó del Pinatubo en 1991 que la precipitación de este material que se dio durante las estaciones secas de los años subsecuentes.

La irritación de los ojos y las abrasiones menores de la córnea pueden resultar de las partículas de ceniza que entran en el ojo. Esos efectos no son normalmente serios, pero quienes trabajan al aire libre y quienes usan lentes de contacto deben usar máscaras o gafas protectoras cuando trabajan fuera.

Colapso de edificios

Muchas edificaciones son vulnerables a la acumulación de pesadas cenizas, especialmente si están húmedas. En la erupción del Pinatubo, las edificaciones con luces amplias como iglesias y edificios públicos, tenían 5 veces más riesgo de colapso que las viviendas (14). La susceptibilidad de las grandes construcciones al colapso es especialmente importante dado que se pueden usar como albergue para grupos de personas desplazadas. Las viviendas endebles son especialmente propensas a colapsar bajo el peso de las cenizas. Las acumulaciones de ceniza pueden ser rápidas (tanto como 25 cm en una hora) en ciertas erupciones. Las advertencias para mantener libres de ceniza los techos pueden ser imposibles de seguir en tales circunstancias y pueden ser necesarios dictámenes especiales para reforzar temporalmente los tejados con soportes o albergarse en las partes más resistentes de la casa mientras cesa la caída de cenizas.

Efectos tóxicos

Las cenizas se deben examinar de rutina para determinar su toxicidad química después de las erupciones, ya que la gente está usualmente ansiosa del riesgo real o imaginado para la salud humana y del ganado. Los animales de pastoreo se pueden envenenar a través de la hierba o de las aguas con cenizas. Además, el pH de los ríos puede estar disminuido por la ceniza ácida y, entonces, se comprometen los peces. Los lagos y los ríos usados por humanos y animales para beber agua se deben examinar si se sabe o se sospecha que puedan tener un alto contenido de flúor. Niveles elevados de flúor (tan altos como 9 ppm) se midieron en arroyos después de las erupciones del Hekla en 1947 y 1990 en Islandia. Las personas susceptibles también podrían tener reacciones adversas por beber aguas contaminadas y, por tanto, es mejor dar aviso para que usen fuentes alternativas hasta que desciendan los niveles, lo que puede ocurrir en pocos días, especialmente después de lluvias intensas.

Riesgo de radiación ionizante

El radón se puede emitir en grandes cantidades en las columnas de erupción donde es improbable estar en alto riesgo, pero el radón se puede adherir a las partículas de ceniza y exponer a la población en riesgo a la radiación. Las cenizas mismas pueden tener un alto contenido de uranio y se requiere examinar su radiactividad si proviene de un volcán con magma bien diferenciado. El usar ciertos materiales volcánicos para construir viviendas en algunas partes de Italia ha resultado en elevados niveles de radón en el aire intradomiciliario.

Efectos en la salud mental

Como en otro tipo de desastres naturales o situaciones caóticas, la amenaza de una inminente erupción volcánica o el tener que vérselas con el resultado de una gran

erupción, pueden llevar a la ansiedad o la depresión o a experimentar desórdenes de estrés postraumático. Los trastornos y alteraciones de la vida normal causados por fenómenos como las repetidas caídas de cenizas, la contaminación del aire por gases volcánicos o la continua amenaza de avalanchas afectan sobre todo a las familias reubicadas, o a quienes han visto destruidas o severamente averiadas sus casas, negocios o granjas. Por ejemplo, aunque no hubo evidencia de daño mental severo luego del impacto de la erupción del Monte Santa Helena (18/05/80), en las comunidades locales la gente experimentó reacciones adversas en salud mental (19) (ver capítulo 6 'Consecuencias de los desastres en la salud mental').

Riesgos en transporte

Virtualmente todos los medios de transporte paran ante una intensa caída de ceniza dada la impenetrable oscuridad y su efecto negativo sobre los motores de automóviles, trenes y aviones. En el peor pero más probable escenario futuro, las ciudades caerían en una virtual parálisis por días en el caso de una masiva caída de ceniza, con todas las obvias implicaciones para los servicios de emergencia y las líneas vitales. Las varadas y los accidentes vehiculares debidos a la poca visibilidad o las vías resbaladizas, pueden sumarse al caos. Una tarea importante de los agentes de tránsito es controlar el paso de vehículos para permitir solamente el de los esenciales.

Problemas con las comunicaciones

No sólo los servicios de transporte se verán severamente afectados por las cenizas, sino que las transmisiones de radio y televisión pueden sufrir una seria interferencia mientras la ceniza está cayendo y las antenas se pueden dañar por las elevadas precipitaciones. Los sistemas telefónicos rápidamente se sobrecargan con personas ansiosas. Los teléfonos, los equipos de transmisión y las computadoras se dañan fácilmente por las partículas finas infiltrables. Las comunicaciones por satélite cumplen un invaluable papel cuando están disponibles.

Problemas con los servicios públicos

La ceniza húmeda es un buen conductor de la electricidad y una placa de ceniza sobre un aislante no protegido puede provocar un cortocircuito en un equipo externo y, en consecuencia, interrupciones de energía. Además, los ingenieros se pueden ver impedidos en sus tareas de reparación si la visibilidad es tan restringida que no pueden mover los vehículos. Muchas de las consecuencias de las interrupciones de energía son bien conocidas, pero menos obvia es la falla en el suministro de agua dependiente del bombeo eléctrico.

Los suministros de agua también se pueden ver restringidos por la caída de cenizas en los reservorios y ríos, que causan obstrucciones en las entradas y plantas de

filtración. Además, la calidad del agua puede estar comprometida por turbidez y cambios del pH. La maquinaria para la disposición de basuras se ve rápidamente sobrecargada y puesta fuera de acción por la ceniza abrasiva.

Relámpagos

Intensos relámpagos frecuentemente acompañan a las nubes de ceniza a muchos kilómetros del volcán y se pueden sumar a la sensación general de alarma y temor. La caída de rayos sobre el terreno puede causar muertes e incendios en la vecindad de un volcán.

Riesgos infecciosos

Los detritos y las cenizas que caen alrededor de los volcanes pueden obstruir los ríos y rellenar los lagos y las inusuales inundaciones y acumulaciones de agua pueden favorecer la transmisión de enfermedades infecciosas endémicas como leptospirosis y malaria (ver capítulo 5, 'Enfermedades transmisibles y su control').

Gases

Los volcanes elevados ejercen un efecto de "chimenea" que, junto con el calor y la fuerza de una erupción, resultan en la dispersión de gases en la atmósfera. Sin embargo, hay ocasiones en las cuales los gases pueden concentrarse, o ser liberados, en el suelo. Algunos volcanes liberan rápidamente gases durante los períodos de silencio entre las fases eruptivas mayores. Una investigación reciente ha demostrado que aun los volcanes con mínima evidencia de actividad pueden estar liberando dióxido de carbono y radón desde el magma profundo por difusión en el terreno (20) y el flujo de esos gases podría elevarse rápidamente después de una erupción. Las muertes provocadas por los gases son raras comparadas con otras muertes relacionadas con los volcanes, aunque se debe admitir que los efectos de los gases sobre los humanos durante las erupciones no han sido bien documentados.

Las emisiones volátiles principales son vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S) y dióxido de sulfuro (SO_2), seguidos de ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF), monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H), helio (He) y radón (Rn). Las emisiones volátiles inorgánicas, como mercurio, también pueden ser importantes en ciertos volcanes (por ejemplo, en Kilauea, con el potencial de contaminación ambiental). Los materiales orgánicos volátiles (por ejemplo, hidrocarburos polinucleares aromáticos y halogenados) también pueden ser detectados en pequeñas cantidades en nubes eruptivas, particularmente si el calor de la erupción ha incinerado árboles y otros vegetales. En las nubes de las erupciones del Monte Santa Helena también se encontraron apreciables cantidades de sulfuro de carbonilo, disulfuro de carbono y dióxido de nitrógeno (21).

Desde el punto de vista de los efectos en salud, los gases volcánicos pueden ser clasificados como asfixiantes (dióxido de carbono) o como irritantes respiratorios (dióxido de sulfuro). La acumulación de gases asfixiantes en concentraciones letales es más probable en las pendientes de un volcán, dentro de un cráter o cerca de una fisura, mientras que los gases irritantes pueden ejercer sus efectos a mucha menor concentración a muchos kilómetros del volcán.

Volcanes inactivos

Los animales que pacen en la cercanías o sobre las pendientes de ciertos volcanes peligrosos se han asfixiado, probablemente por CO_2 , el cual es más denso que el aire. También se ha reportado que el ácido sulfhídrico mata pájaros y causa ceguera en las ovejas. Quienes merodean en las áreas volcánicas también están en riesgo por los gases asfixiantes. Cerca de las fumarolas, la presencia de gases ácidos altamente irritantes hace difícil la respiración cuando se alcanzan altas concentraciones y esa intolerancia ayuda a proteger contra la sobreexposición - al menos irritante pero más venenoso gas - H_2S (20). Sin embargo, han ocurrido muertes en clima apacible sobre el volcán Kusatsu-Shirane en Japón, donde las emisiones han sido principalmente H_2S y CO_2 . Los esquiadores no percibieron que el H_2S estaba presente (el olor a huevo descompuesto de ese gas no se puede detectar en concentraciones elevadas). Los vulcanólogos que trabajan en áreas de cráter también pueden no percibir la presencia de H_2S y siempre deben portar un medidor para detectarlo (20).

Las emisiones de gas, en el suelo de los flancos de los volcanes o en calderas inactivas, pueden ser lo suficientemente elevadas para implicar riesgo dentro de las casas. Por ejemplo, en el poblado de Furnas en las Azores de 2.000 habitantes, levantado dentro de una caldera volcánica, se pudieron medir altas concentraciones de CO_2 y radón en las casas construidas.

Volcanes liberadores de gases

Varios ejemplos de volcanes que liberan gases y que, por tanto, implican riesgo para las personas que viven cerca por la polución de aire, se han encontrado en Centroamérica, donde la prevalencia de fuertes vientos se combina con la topografía para dirigir la nube a la zona habitada sobre los flancos de los volcanes. En 1986, en Nicaragua, la gente debió evacuar el área alrededor del volcán Concepción. La última crisis por emisión de gases en el volcán Masaya en Nicaragua cesó a principios de los 80, pero este volcán continúa una fase cíclica de liberación de gases cada 25 años, con severas consecuencias para la agricultura, particularmente para las plantaciones de café en las faldas del volcán (22). Los efectos del volcán San Cristóbal, también en Nicaragua, no se han estudiado, pero las nubes de gas pueden viajar pendiente abajo a zonas pobladas durante algunos días, dependiendo de las condiciones climáticas. En 1993, durante las erupciones del volcán Kilauea en Hawaii, se tomaron muestras de gases para descartar una amenaza de alta exposición a SO_2 en la población local (23).

Uno de los ejemplos más intrincados de volcanes liberadores de gas ocurrió con el Poas en Costa Rica, el cual liberó gases a través de un lago-cráter. Desde 1986, el lago ha evaporado cíclicamente a bajo nivel durante sucesivas estaciones secas y se llenaba nuevamente durante las estaciones lluviosas. Los principales gases en la nube son: dióxido de carbono, dióxido de azufre, ácido sulfhídrico, ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico, pero las epidemias de compromisos respiratorios en las comunidades sobre las faldas del volcán y el daño a los cultivos han sido debidas probablemente a los aerosoles ácidos concentrados que se generan cuando cae el nivel del lago. Otra materia en partícula fina se forma por las rocas disueltas en las aguas ácidas del lago y esta materia también se puede introducir en la nube. Durante un período de varios meses en 1994, la actividad del volcán y la emisión de gases hicieron un pico y se usó un equipo para monitorizar los niveles de SO_2 en la población cercana a los flancos del volcán.

En la nube, el dióxido de azufre y los aerosoles finos de ácido sulfúrico probablemente son los componentes más importantes en lo que concierne a la salud respiratoria de los humanos. La irritación aguda de las vías aéreas puede llevar a efectos dañinos desde la constricción de pequeñas vías aéreas en adultos sanos (concentraciones en el aire inspirado de 1-5 ppm por unos pocos minutos) a franca asma entre personas susceptibles (niveles tan bajos como 200 ppb) (24).

Los aerosoles ácidos se pueden generar a partir de la formación de una burbuja gaseosa en la superficie de los lagos cráter o, posiblemente, dentro de los cráteres y esos aerosoles pueden evaporarse para formar finas partículas submicrométricas capaces de viajar grandes distancias en una nube. Los niveles a los cuales los aerosoles ácidos pueden causar efectos adversos en la salud son controvertidos. El dióxido de azufre es un buen marcador cuando es componente de las nubes y ha sido bien estudiado como contaminante del aire en los países industrializados. Los efectos en la salud pueden ser causados también por la mezcla de otros componentes en la nube y no debe darse tanta relevancia solamente a las concentraciones de SO_2 como indicador del riesgo en salud. Todos los volcanes liberadores de gases deben ser activamente monitorizados, dado que los incrementos súbitos en el flujo de gas pueden ser un aviso de una nueva y violenta actividad eruptiva. Además, si las concentraciones en el aire en áreas habitadas exceden rápidamente los estándares de calidad del aire para SO_2 de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (25), las comunidades afectadas pueden necesitar informes sobre las medidas de protección respiratoria o sobre la conveniencia de la evacuación.

Emisiones de gas en erupciones

El potencial de descargas catastróficas de gases en erupciones volcánicas fue demostrado en Dieng Plateau, en Java en 1979, cuando 142 personas murieron mientras intentaban huir de una erupción leve. Aparentemente, estaban agobiados por una poderosa emisión de CO_2 de una fuente a menos de dos kilómetros arriba, sobre los flancos del volcán (26). El engañoso riesgo que los gases pueden implicar fue ilustrado

en 1973 en Vestmannaeyjar, en la isla de Heimaey, Islandia, cuando una erupción a través de una fisura, comenzó sin aviso y la ciudad debió ser evacuada rápidamente. Los trabajadores salvaron las casas de copiosas precipitaciones de ceniza, pero estaban acosados por las acumulaciones de gas, particularmente CO_2 y por monóxido de carbono y metano que se filtraban a través del suelo dentro de las edificaciones (27). La posibilidad de fisuras y agujeros súbitamente abiertos que liberen gas de los volcanes en erupción es una amenaza importante que se debe considerar en la planeación de desastres. Para que el CO_2 fluya hacia los valles bajos, debe ciertamente ser liberado a temperaturas no mucho más altas que las del aire ambiente. Entonces, la fuente es probablemente un reservorio por debajo del terreno o dentro del volcán.

Un dramático ejemplo de liberación masiva de CO_2 de un reservorio, en este caso de las placas del fondo del lago cráter, ocurrió en el lago Nyos, Camerún, el 21 de agosto de 1986 y resultó en la muerte de 1.700 personas (28). Cerca de un cuarto de millón de toneladas de CO_2 fluyó tan lejos como 20 km a lo largo del valle abajo del lago.

El área era una parte montañosa remota al norte de Camerún; en una región densamente poblada, la carga de muertes habría sido enorme. En 1984, un evento similar mató 37 personas. Ocurrió en el lago Monoun, el cual está situado a sólo 95 km al sudeste del lago Nyos. La causa de ambos eventos fue quizá un vuelco de las placas profundas en las cuales se había acumulado lentamente CO_2 de las fuentes de soda en el fondo del lago. Se han hecho sugerencias para liberar de gases los lagos Nyos y Mnoum; entretanto los dos lagos se están recargando lentamente con dióxido de carbono y siguen siendo una seria amenaza potencial. Afortunadamente, parece que hay muy pocos lagos semejantes en el mundo, pero en materia de volcanes, cualquier lago profundo (200 m o más) se debe considerar como potencialmente riesgoso.

Otros fenómenos peligrosos o eruptivos

Lluvia ácida

La lluvia ácida no implica un riesgo para la salud de los humanos aunque causa daño a la vegetación y las cosechas y tiene otros efectos ambientales adversos. La lluvia que cae a través de la nube de un volcán que libera gases, rápidamente disuelve el HCl, principal componente de la lluvia ácida volcánica. Las lluvias en el volcán Poas en Costa Rica o el Masaya en Nicaragua durante sus ciclos de liberación de gas, pueden tener un pH tan ácido como 2,5-3,5 cuando la gente se queja que la lluvia le irrita los ojos y la piel (22). En los países en vías de desarrollo, la lluvia ácida es a menudo recogida sobre los techos de las láminas metálicas de las casas y se usa como bebida. Los problemas de salud pueden surgir si la lluvia ácida disuelve metales y tiene alto contenido de flúor; la última situación podría ocurrir únicamente si la nube contiene una alta concentración de ácido fluorhídrico. Los aerosoles y la lluvia ácida corroerán los materiales de maquinaria o de cercas (por ejemplo, alambre de púas) y ataca los techos galvanizados y las superficies pintadas. En forma interesante, los capullos de las plantaciones de café parecen particularmente sensibles a la polución

del aire a niveles a los cuales también se presentan los síntomas respiratorios en humanos.

Flujos de lava

Los flujos de lava de los volcanes son destructivos, pero su poca velocidad permite a los habitantes evacuar el área afectada con tiempo. Infortunadamente, la gente no siempre tiene la oportunidad de escapar. En 1977, un lago de lava fluida en Nyiragongo, Zaire, drenó súbitamente y mató 300 personas (29); en 1994, una recurrencia potencial de este fenómeno mortal amenazó los campos de refugiados ruandeses en Goma, Zaire. Las barreras de contención y otros métodos de influjo sobre la dirección del flujo de lava pueden intentarse para mitigar sus efectos. Uno de los más interesantes y recientes ejemplos de tal mitigación ocurrió durante la erupción del monte Etna en 1991-1993, la mayor en tres siglos. La lava amenazaba la villa de Zefferana pero los ingenieros fueron capaces de desviar el flujo de lava con un canal artificial y limitar su avance. La posibilidad de una súbita liberación de lava fluida de una fisura cercana a otro asentamiento también requirió una estrecha monitorización durante la erupción principal (30).

Sismos

El inicio de una erupción explosiva puede ser anunciado por sismos localizados de magnitud 4-5, pero, dado que pueden ser bastante superficiales, su intensidad puede ser suficiente para colapsar estructuras y amenazar la vida. La limitada erupción de lava del Etna el 25 de diciembre de 1985, estuvo acompañada de varios temblores, uno de los cuales destruyó un hotel en la vecindad y mató una persona. Debe prestarse especial consideración no sólo a las viviendas sino a la posibilidad de colapso de puentes y deslizamientos sobre las vías que podrían bloquear las rutas de evacuación.

Tsunamis

Son olas marinas gigantescas producidas por explosiones y sacudidas subterráneas, capaces de devastar las líneas costeras. La mayor cantidad de muertes de una erupción en época reciente fue causada por tsunamis después de la erupción del Krakatoa en 1883, cuando se ahogaron 36.000 personas en las costas de las cercanas Java y Sumatra (2). La ocurrencia de un tsunami es impredecible pero las innovaciones tecnológicas ahora están haciendo posible avisar a las comunidades costeras del riesgo de uno que se avecina (es decir, uno que ocurriría como resultado de un maremoto). Otra causa importante de maremotos es el colapso de la pendiente de un volcán que corre hacia el mar.

Colapso de pendiente

La importancia de la estabilidad de las pendientes volcánicas se puso en claro para los vulcanólogos durante la erupción del Monte Santa Helena en 1980. La erupción se desencadenó por un terremoto que causó que la inestable pendiente norte cediera y una erupción mayor siguió a la liberación de presión sobre el magma. Los trabajadores

del campo alrededor de los volcanes en años recientes han confirmado que el colapso de la pendiente no es un fenómeno raro como se pensaba y muchos volcanes pueden mostrar algún grado de inestabilidad conforme incrementan su masa con la actividad eruptiva en el tiempo. La falla masiva de la estructura ha ocurrido cerca de cuatro veces cada siglo durante los pasados 500 años (31). Cuando el volcán Unzen hizo erupción en Japón en 1792, desencadenó el colapso del complejo del Monte Mauyama y originó uno de los peores desastres naturales en Japón (tabla 9.2); la pendiente se deslizó dentro del mar y el maremoto resultante envió los asentamientos al otro lado de la bahía. Doscientos años después, surgió la ansiedad de una posible recurrencia de este terrible fenómeno cuando se reactivó el volcán. Infortunadamente, en la actualidad es imposible predecir exactamente tales eventos, pero, ciertos volcanes activos que parecen inestables (por ejemplo, el Calima en México y el San Agustín en Alaska) están siendo estrechamente vigilados.

Implicaciones en salud pública y medidas preventivas

En la mayoría de las áreas volcánicas, el tiempo entre una erupción mayor y otra es tan largo que la gente no recuerda el desastre (pobre ‘memoria de desastres’) o no establece un grupo de estrategias tradicionales para protegerse. Aun en aquellas áreas donde las erupciones cegaron varias vidas en cada generación (por ejemplo, el Merapi en Indonesia), las comunidades tienden a reasentarse en los mismos lugares peligrosos.

Ya que la reactivación de un volcán usualmente será una nueva experiencia para una o varias generaciones de habitantes, hay comúnmente una aceptación del riesgo con otros riesgos en la vida. Cuando una erupción inicia su amenaza o los trabajadores en desastres intentan asumir la planificación como parte de un proyecto de mitigación, los ciudadanos y las autoridades usualmente poco creen que la erupción pueda darse y la descripción de los vulcanólogos sobre los fenómenos eruptivos puede que no los impresione. Sobre todo, la amenaza de trastornos económicos por la actividad volcánica influye fuertemente en la percepción del riesgo en la comunidad. En consecuencia, la gente, o por lo menos, sus líderes políticos, pocas ganas tienen de tratar con criterios de alerta y evacuación u otros aspectos potencialmente alarmantes en la preparación de la comunidad. La evacuación de ciudades suscita interrogantes sobre la viabilidad en la comunidad y es improbable a menos que los vulcanólogos puedan casi que garantizar que ocurrirá una gran erupción. En la medida en que la predicción volcánica permanezca como ciencia inexacta, quienes toman las decisiones localmente verán en los riesgos volcánicos un asunto político muy difícil. Sin embargo, se han dado dos respuestas exitosas que resultaron en decenas de miles de vidas salvadas en las erupciones del Monte Pinatubo en 1991 y en Rabaul, Nueva Guinea, en 1994. Cinco mil personas fueron evacuadas alrededor del Pinatubo y 30.000 en Rabaul; en ambos, los anuncios de erupción eran obvios y los habitantes necesitaron poca persuasión para dejar el área rápidamente dentro de las 24 horas transcurridas entre el momento en que

se sintieron los primeros temblores y ocurrió la erupción cataclísmica. Ese éxito debe resaltarse en el desarrollo de estrategias ante futuros trabajos de mitigación.

Preparación ante el desastre

Aunque una de las principales metas del sistema de Naciones Unidas (DIRDN) en la materia es asegurar que el levantamiento de mapas de las amenazas volcánicas se extienda rápidamente a tantos volcanes peligrosos como sea posible, la respuesta hasta la fecha ha sido lenta. En consecuencia, el principal desafío para los vulcanólogos en el futuro cercano será conducir un rápido establecimiento del riesgo para volcanes no estudiados que han comenzado a amenazar poblaciones con renovada actividad. Una breve descripción de los principales aspectos de la preparación es la siguiente.

Evaluación de la amenaza

Involucra el estudio y el levantamiento del mapa de la geología estratigráfica del volcán, incluyendo sus productos eruptivos previos. Esta tarea, que puede tomar varios años para un gran volcán, requiere un grupo de expertos y considerables recursos. En terrenos inhóspitos o difíciles, la labor puede ser logísticamente complicada. Su propósito es caracterizar la frecuencia y la magnitud de la actividad previa y usar los hallazgos para predecir las probabilidades de diferentes tipos de erupciones futuras y sus consecuencias (32,33).

En una situación particularmente amenazadora, sólo puede haber tiempo para un abordaje rápido en pocos días o semanas. Esto puede ser suficiente para caracterizar el grado de peligro (por ejemplo, en el Monte Pinatubo, un breve estudio de campo fue suficiente para reconocer la magnitud de los flujos piroclásticos pasados y apreciar el extremo peligro de otra explosiva erupción).

Evaluación del riesgo

En colaboración con los vulcanólogos, las autoridades de preparación en desastres deben desarrollar un rango de escenarios que contemple desde las más pequeñas hasta las mayores erupciones posibles, junto con el evento más probable. Este último escenario se debe usar sobre las bases de la planificación de emergencia. Esta táctica es preferible a la usual para producir un 'mapa de amenaza' que puede ser falsamente registrado como el más exacto o como la única versión de una futura erupción. Desde luego, la extensión de una erupción nunca se podrá presagiar exactamente y los vulcanólogos pueden tener desacuerdos en la interpretación de los hallazgos de los estudios de campo. Los escenarios deben ser usados por los planificadores en el establecimiento del riesgo que el impacto de una erupción tendría sobre la comunidad y su economía. En particular, se debe establecer la vulnerabilidad de las estructuras, (viviendas, hospitales y edificaciones usadas como albergue) y la infraestructura, (comunicaciones, líneas de energía). También se requiere incluir la vulnerabilidad de la comunidad (factores sociales y económicos que puedan llevar a incremento del riesgo).

El uso de los sistemas de información geográfica para desarrollar escenarios y mapas de riesgo están apenas comenzando ahora.

Planificación de emergencia

Usando los diferentes escenarios, todas las medidas usuales de planificación en desastres, incluyendo los planes de evacuación y los de búsqueda y rescate, deben ser establecidas con participación de las autoridades civiles y de personal de servicios de emergencia. Para el uso en crisis volcánicas, los sistemas de alarma y los criterios de evacuación son las medidas más importantes y difíciles de establecer.

Preparación de la comunidad

La percepción del riesgo en las comunidades casi siempre difiere de aquella entre los vulcanólogos. Las comunidades deben ser instruidas en cómo responder a las alarmas de inminentes erupciones y qué hacer si ocurre la erupción antes de terminar la evacuación. Puede ser necesario incluir en el entrenamiento, sobre todo a aquellos grupos especiales capaces de movilizarse por sí mismos donde están los casos, habilidades en búsqueda y rescate e instrucción en primeros auxilios.

Medidas específicas previas a la erupción

La reactivación de un volcán explosivo es una emergencia en salud pública y la respuesta inicial más apropiada es considerar y planificar para el peor tipo de evento que se podría esperar (34,35). Se debe establecerse que el comité de planificación de desastres incluya profesionales al cuidado de la salud. Ese comité debe tener en cuenta los siguientes pasos cuando planifica la asistencia a quienes viven en la vecindad del volcán:

- Designar áreas para evacuación e identificar las áreas en riesgo. Esas medidas preventivas claves son decisiones esencialmente tomadas por las autoridades de gobierno después de la consulta con vulcanólogos. Se debe considerar también la información de las autoridades de salud (por ejemplo, la factibilidad de evacuar los enfermos, los ancianos y los muy jóvenes con cortos anuncios). La salud y el bienestar de las personas evacuadas temporalmente o por largos períodos es también asunto de salud pública. La seguridad de los grupos específicos de trabajadores a quienes se permite entrar en áreas peligrosas requiere cuidado. Se debe difundir información a todos los trabajadores sobre el riesgo y los beneficios del trabajo en esas áreas.
- Desarrollar planes de búsqueda y rescate para localizar y salvar de la muerte a cualquier sobreviviente abandonado después de la erupción. Esos planes también deben incluir la designación de sitios para las estaciones de atención de urgencias en campo y morgues. Determinar qué personal estará en esos sitios.
- Desarrollar procedimientos para evaluar la eficacia de los planes de

emergencia en los hospitales locales, especialmente para una llegada súbita de víctimas con 1) quemaduras y daño pulmonar por inhalación de cenizas calientes en flujos piroclásticos, 2) varios tipos de trauma por avalanchas, colapso de edificaciones, precipitación de cenizas y oleadas piroclásticas.

- Proveer equipo de emergencia para la monitorización del aire para detectar gases tóxicos dentro de las casas y en el aire ambiente.
- Establecer un sistema de vigilancia epidemiológica.

Además, la planeación ante las intensas precipitaciones de cenizas sobre una amplia zona, si es aplicable, debe incluir lo siguiente:

- Proveer facilidades de laboratorio con el fin de recoger y analizar cenizas para elementos tóxicos lixiviables y para monitorizar la calidad del agua de consumo. Deben estar disponibles laboratorios especiales para medir el tamaño de las partículas de ceniza y el contenido de cristales de sílice.
- Proveer equipo para monitorizar las exposiciones a cenizas en la comunidad y entre quienes trabajan a la intemperie.
- Si está indicado, tener reservas de máscaras livianas de alta eficiencia para distribución al público después de una caída de ceniza. Los mejores protectores oculares y respiratorios pueden ser necesarios para los trabajadores de emergencia y otros trabajadores a la intemperie.
- Prepararse para posibles daños en los suministros de agua y en la disposición de desechos. Tal preparación debe asegurar la adecuada cloración del agua o los avisos para que se hierva.
- Mantener los servicios de urgencias y hospitalarios.
- Proveer un albergue de emergencia y apoyo alimentario.
- Avisar a los residentes de las comunidades afectadas sobre las medidas protectoras para combatir el sobrepeso y colapso de los techos en las intensas precipitaciones de cenizas.

Medidas posteriores a la erupción

Una pequeña erupción de un volcán explosivo puede ser el prelude de una mucho mayor en cuestión de días, semanas o meses. Viceversa, las grandes erupciones pueden ser seguidas por una sucesión de otras más pequeñas, durante el tiempo en el cual el volcán puede permanecer extremadamente peligroso. En efecto, el comportamiento peligroso de un volcán puede recurrir en los siguientes meses o años durante la formación de la cúpula, proceso en el cual el magma es empujado a la cima del volcán, conforme se va formando. Las cúpulas pueden colapsar y producir flujos piroclásticos. Esas incertidumbres requieren que el volcán sea monitorizado intensamente por un grupo de vulcanólogos, aunque no siempre puedan predecir su comportamiento.

Durante una crisis volcánica, se deben considerar los siguientes requerimientos:

- Establecer un comité de desastre de nivel nacional cuyos miembros reporten

a la cabeza de estado. Un designado del Ministerio de Salud o una persona de alto nivel es usualmente un miembro de ese comité. Aunque los asuntos de salud más prominentes, discutidos en ese comité, pueden girar alrededor de los evacuados y su salud y alrededor de formas para proveer suministros de apoyo adecuados a las áreas afectadas, y aunque la atención también se enfocará sobre la importancia de predecir cualquier actividad volcánica futura, los intereses de la población pueden ser desatendidos a menos que los profesionales de la salud estén involucrados en los esfuerzos de apoyo a la emergencia. Por ejemplo, las preguntas más frecuentes en las áreas de caída de ceniza son si el respirar ese aire, si el ingerir las cosechas o el pasto sobre el que cae la ceniza, o el agua de las fuentes superficiales o profundas alrededor del volcán, es seguro o no para humanos y animales. Estos asuntos deben ser abordados por las autoridades.

- Las autoridades deben establecer un equipo de salud con destrezas médicas, epidemiológicas y en salud comunitaria antes de la erupción y deben desplazar el equipo inmediatamente después. Su función es colaborar con otras agencias y dar aviso e información relacionada con todos los asuntos de salud surgidos con el desastre. Este grupo necesita establecer una vigilancia epidemiológica a través de una red de trabajo que incorpore a los hospitales y los departamentos de urgencias en las áreas afectadas. Pueden ser necesarios rápidos estudios de campo para establecer la naturaleza de los problemas de salud en áreas de intensa caída de ceniza tan pronto como las condiciones de desplazamiento lo permitan. En particular, es importante que la ceniza sea recogida y examinada para toxicidad, al igual que el agua para la presencia de un amplio rango de aniones y cationes, particularmente flúor y metales pesados.
- El equipo de salud debe comunicarse con los vulcanólogos para determinar si la nube en las partes bajas del volcán puede causar contaminación del aire en las áreas pobladas. Normalmente, se puede establecer esto mirando el cráter desde un helicóptero o aeroplano o desde el terreno a una distancia segura. Los vulcanólogos también miden el flujo de SO_2 del cráter usando la técnica de la correlación espectrométrica (COSPEC).
- El público puede requerir estar informado sobre los efectos de la ceniza en los ojos y el sistema respiratorio. La monitorización epidemiológica de visitas a los centros médicos y hospitales dará importante información sobre los brotes de asma, por ejemplo, como también sobre la ocurrencia de otros problemas de salud o lesiones. Las personas ubicadas en campos de evacuados pueden estar en riesgo de enfermedades infecciosas como sarampión y pueden necesitarse programas especiales de vacunación. Esto sucedió en 1991, después de la erupción del Pinatubo.
- Los veterinarios, preferiblemente con entrenamiento en desastres, juegan un importante papel en la fase de respuesta. La salud de los animales de pastoreo debe ser monitorizada y establecerse un sistema de reporte de

muerres con el fin de excluir causas tóxicas. Los animales pueden tener malestar después de las erupciones o como resultado de quemaduras y otras lesiones y pueden vagar hasta morir exhaustos. Además, las personas pueden ser incapaces de cultivar su tierra por prolongados períodos si el espesor de las cenizas supera los 30 cm; los disturbios a largo plazo pueden también ser causados por el riesgo de avalanchas si se han acumulado grandes cantidades de detritos volcánicos en los flancos del volcán y pueden ser movilizados por intensas lluvias.

- La comunicación estrecha entre los vulcanólogos y el personal de salud es necesaria, con el fin de avisar a la población sobre la futura actividad volcánica y su impacto. La difusión regular de información es una parte esencial de las actividades post-erupción y los profesionales de salud necesitan estar estrechamente involucrados en el proceso. La radio y la televisión serán esenciales para la transmisión de alarmas y avisos pre y post-erupción. Se deben dar advertencias y equipo, incluyendo sistemas de alarma de emergencia, a quienes se permita vivir o trabajar en las áreas restringidas cerca al volcán.

Vacíos de conocimiento y recomendaciones para investigación

Nuestro limitado conocimiento del impacto agudo y a largo plazo de las erupciones sobre la salud humana necesita ser superado con urgencia, particularmente debido al amplio rango de los fenómenos eruptivos y de las consecuencias adversas para la seguridad y la salud que implican. La falta de estudios epidemiológicos bien concebidos para examinar tanto el impacto agudo como a largo plazo de las erupciones sobre las poblaciones limita nuestro entendimiento de los varios fenómenos naturales que bloquean nuestra habilidad para dar apropiada y oportuna asistencia en emergencia. Se requiere de más estudios epidemiológicos inmediatamente después de las erupciones, particularmente las que involucran flujos piroclásticos, avalanchas y caída de cenizas, para registrar las lesiones y los problemas de salud y así relacionarlos con los agentes lesivos.

Los profesionales de la salud deben colaborar con los vulcanólogos, ingenieros y planificadores de emergencias en el desarrollo de planes de preparación ante desastres en áreas de riesgo. En lo posible, se debe aprovechar el período de silencio de los volcanes para estudiarlos con el fin de obtener información que pueda ser de utilidad cuando se tornen nuevamente activos. Este tipo de estudios está aún poco desarrollado y para hacer que sean útiles se requiere de abordajes multidisciplinarios.

El establecimiento de las amenazas por parte de los volcanes más peligrosos del mundo está haciéndose muy lentamente y, a pesar del estímulo dado por el DIRDN, pocos volcanes han sido adecuadamente estudiados. El levantamiento de mapas es una tarea académica que requiere fondos adecuados, pero los cuerpos de investigación

de los países desarrollados son reacios a apoyar trabajos que ellos estiman aplicados y menos meritorios que aquéllos sobre los mecanismos. Se deben estandarizar las metodologías usadas en el levantamiento de mapas. Para los vulcanólogos, hay pocas experiencias más deprimentes que estar orgullosos de mostrar un crudo mapa de una zona de riesgo y decir que ya ha culminado la planeación. Generalmente, el mapa muestra unas cuantas líneas curvas a varias distancias del volcán, cada una marcando el pronóstico de un límite para el producto de la erupción. Infortunadamente, esas predicciones están basadas en unos pocos, si alguno, trabajos de campo. En ninguna parte del mundo se está haciendo rutinariamente la construcción de mapas sobre bases científicas y realistas para tornarlos en útiles abordajes del riesgo (analizando lo que llevan dentro esas líneas engañosamente curvadas). Indudablemente, se habrán logrado importantes avances cuando los modelos numéricos simulados acerca de los flujos piroclásticos, avalanchas y caídas de cenizas estén disponibles y se apliquen rutinariamente en el establecimiento de la vulnerabilidad. Se requiere desarrollar los sistemas de información geográfica para simplificar el manejo de grandes y dispares grupos de datos requeridos para el levantamiento de mapas y el desarrollo de escenarios.

Los trabajadores de salud pública y de cuidado primario en salud en áreas volcánicas necesitan ser educados en el riesgo de erupciones explosivas para que puedan entender la importancia de la preparación en desastres y actuar como comunicadores ante la población local. No sólo se requiere investigaciones acerca del desarrollo de métodos para mejorar la comunicación del riesgo de desastres, incluyendo estudios de percepción del riesgo en las comunidades, sino que los modelos médicos tradicionales necesitan incluir las causas sociales y de comportamiento que llevan a la vulnerabilidad.

El crecimiento de las poblaciones y las fuerzas económicas parecen llevar a la explotación de toda la tierra capaz del sostenimiento agrícola y del desarrollo industrial, incluyendo el turismo. La economía de las islas volcánicas es especialmente vulnerable. Infortunadamente, la planificación del uso de la tierra a largo plazo para minimizar el riesgo en las áreas volcánicas está aun en su infancia. Hoy, el énfasis está en la vida adaptativa o la coexistencia, con amenazas volcánicas y sobre un ideal de desarrollo sostenible, el cual, para muchas partes del mundo permanecerá remoto hasta que los perfiles de riesgo de muchos más volcanes se complete y las lecciones aprendidas sean aceptadas por los gobiernos y los ciudadanos.

Resumen

Para el año 2000, más de 500 millones de personas estarán viviendo alrededor de volcanes activos en el mundo y existe una urgente necesidad de incorporar la planeación en desastres dentro de las políticas de desarrollo sostenible en aquellos países en riesgo. Un amplio rango de fenómenos devastadores y letales ocurre en las erupciones volcánicas y su impacto es pobremente entendido. Los fenómenos más peligrosos son los flujos y las oleadas piroclásticas y las avalanchas. Las intensas lluvias de

ceniza tienen un amplio impacto, incluyendo muertes por colapso de edificaciones, efectos respiratorios en humanos, intoxicación por flúor en animales de pastoreo en áreas a cientos de kilómetros del volcán. El dióxido de carbono y el ácido sulfhídrico pueden causar asfixia cerca de las aberturas de volcanes, mientras que los gases irritantes, en particular el dióxido de sulfuro, los aerosoles ácidos y otros constituyentes de las nubes de volcanes liberadores de gas, pueden causar polución del aire en comunidades situadas abajo del volcán. Otros fenómenos eruptivos amenazantes o que dañan el ambiente, incluyen los sismos, los flujos de lava, los tsunamis y los colapsos de pendiente.

La prevención de las peores consecuencias de las erupciones explosivas requiere la activa colaboración de los trabajadores de la salud en la planeación. Los mapas de riesgo requieren de aplicación al escenario desarrollado para los diferentes tipos de erupción. En la fase post-erupción, los trabajadores de salud pública necesitan montar rápidamente un sistema de vigilancia en salud pública y deben dar aviso sobre un amplio rango de asuntos de salud. Su papel en el proceso de planificación en desastres debe ser integral.

Referencias

1. Tilling RI, Lipman PW. Lessons in reducing volcanic risk. *Nature* 1993;364:277-80.
2. Simkin T, Siebert L. *Volcanoes of the world*. 2nd. edition. Washington, D.C.: Smithsonian Institution; 1994.
3. Francis P. *Volcanoes. A planetary perspective*. Oxford: Oxford University Press; 1993.
4. McCormick MP, Thomason LW, Trepte CR. Atmospheric effects of the Mt. Pinatubo eruption. *Nature* 1995;373:399-404.
5. Tilling RI, editor. *Volcanic hazards. Short course in geology*. Washington, D.C.: American Geophysical Union; 1989.
6. Blong RJ. *Volcanic hazards: a source book on the effects of eruptions*. Sydney: Academic Press; 1984.
7. Eisele JW, O'Halloran RL, Reay DT, et al. Deaths during the May 19, 1980, eruption of Mount Santa Helenas. *N Engl J Med* 1981;305:931-6.
8. Parshley PF, Kiessling PJ, Antonius JA, et al. Pyroclastic flow injury, Mount Santa Helenas. May 18, 1980. *Am J Surg* 1982;143:565-8.
9. Bernstein RS, Baxter PJ, Falk H, et al. Immediate public health concerns and action in volcanic eruptions: lessons from the eruptions of Mount Santa Helenas, May 18-Oct. 18, 1980. *Am J Public Health* 1986;76(Suppl):25-38.
10. Baxter PJ. Medical effects of volcanic eruptions. 1. Main causes of death and injury. *Bulletin of Volcanology* 1990;52:532-44.
11. Lipman PW, Mullineaux DR, editors. *The 1980 eruptions of Mount Santa Helenas, Washington*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1250. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey; 1981.
12. Voight B. The 1985 Nevado del Ruiz volcano catastrophe: anatomy and retrospection. *Journal of Volcanological and Geothermal Research* 1990;44:349-86.
13. Saarinen TF, Sell JL. *Warning and response to the Mount Santa Helenas eruption*. Albany: State University of New York Press; 1985.
14. Spence RJS, Pomonis A, Baxter PJ. Building damage in the Mount Pinatubo eruption. In: Newhall C, editor. *The 1991 eruption of Mount Pinatubo, Philippines*. Reston, VA: U.S. Geological Survey; 1995.

15. Rubin CH, Noji EK, Seligman PJ, *et al.* Evaluating a fluorosis hazard after a volcanic eruption. *Arch Environ Health* 1994;49:395-401.
16. Baxter PJ, Ing R, Falk H, *et al.* Mount Santa Helenas eruptions, May 18-June 12, 1980: an overview of the acute health impact. *JAMA* 1981;246:2585-9.
17. Baxter PJ, Ing R, Falk H, *et al.* Mount Santa Helenas eruptions: the acute respiratory effects of volcanic ash in a North American community. *Arch Environ Health* 1983;38:138-43.
18. Dollberg DD, Bolyard ML, Smith DL. Crystalline silica in Mount Santa Helenas volcanic ash. *Am J Public Health* 1986;76(Suppl.):53-8.
19. Shore JH, Tatum EL, Vollmer WM. Evaluation of mental health effects of disaster. *Am J Public Health* 1986;76(Suppl.):76-83.
20. Baxter PJ, Tedesco D, Miele G, *et al.* Health hazards of volcanic gases. *Lancet* 1990;336:176.
21. Olsen KB, Fruchter JS. Identification of hazards associated with volcanic emissions. *Am J Public Health* 1986;76(Suppl.):45-52.
22. Baxter PJ, Stoiber RE, Williams SN. Volcanic gases and health: Masaya Volcano, Nicaragua. *Lancet* 1982;2:150-1.
23. Bernstein RS, Falk H, Greenspan J, *et al.* Assessment of respiratory, hazards associated with air pollutants from volcanic eruptions, Kilauea Volcano, Hawaii. Internal report (EPI-83-23-2). Atlanta, GA: Centers for Disease Control; 1984.
24. Advisory Group on the Medical Aspects of Air Pollution Episodes. *Sulphur dioxide, acid aerosols and particulates*. 2nd. report. London: HMSO Department of Health; 1992.
25. World Health Organization. *Air quality guidelines for Europe*. Copenhagen: World Health Organization; 1987.
26. Le Guern F, Tazieff H, Fajure PR. An example of health hazard: people killed by gas during a phreatic eruption: Dieng Plateau (Java, Indonesia), February 20, 1979. *Bulletin of Volcanology* 1982;45:153-6.
27. Williams SN, Moore JG. *Man against volcano: the eruption of Heimaey, Vestmannaeyjar, Iceland*. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey; 1983.
28. Baxter PJ, Kapila M, Mfonfu D. Lake Nyos disaster, Cameroon. 1986: the medical effects of large scale emission of carbon dioxide? *Br Med J* 1989;298:1437-41.
29. Tazieff H. An exceptional eruption: Mount Nyiragongo, January 10, 1977. *Bulletin of Volcanology* 1976-77;40:188-200.
30. Barberi F, Villari L. Volcano monitoring and civil protection problems during the 1991-1993 Etna eruption. *Acta Vulcanologica* 1994;4:1-16.
31. Siebert L. Threats from debris avalanches. *Nature* 1992;356:658-9.
32. Crandell DR, Booth B, Kazumadinata K, *et al.* *Source book for volcanic hazards zonation*. Paris: U.N. Educational, Scientific and Cultural Organization; 1984.
33. Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator (UNDRO). *Volcanic emergency management*. New York: United Nations; 1985.
34. Baxter PJ, Bernstein RS, Falk H, *et al.* Medical aspects of volcanic disasters: an outline of the hazards and emergency response measures. *Disasters* 1982;6:268-76.
35. Baxter PJ, Bernstein RS, Buist AS. Preventive health measures in volcanic eruptions. *Am J Public Health* 1986;76(Suppl.):84-90.