

Pérdidas debidas a terremotos

J. GRASES

Universidad Central de Venezuela

RESUMEN

Entre las estadísticas mundiales de catástrofes naturales, destacan las pérdidas de vidas como consecuencia de terremotos con un porcentaje muy importante del total. En cuanto a los daños materiales, alcanza un promedio de 150 millones de pesetas diarios a lo largo de los dos últimos decenios.

Por ello, hay que llamar la atención sobre la posibilidad de reducir la vulnerabilidad de sismos, por medio de la aplicación sistemática de los conocimientos actuales de la ingeniería sísmica.

Introducción y alcance

El avance hacia una mejor comprensión de los fenómenos asociados a los sismos y a sus efectos ha sido considerable en los últimos 15 a 20 años; una nueva materia, la ingeniería sísmica, se ha incorporado en los programas de grado de algunas universidades y constituye una especialidad de post-gradado. No obstante, la naturaleza no determinística de aspectos fundamentales asociados a los terremotos y a sus efectos es un hecho reconocido. Basta citar los tres siguientes:

1. La fecha, magnitud y foco de futuros sismos no es aún apreciable.
2. Supuesta la ocurrencia de un sismo, el anticipo de las características de los movimientos del terreno es incierto y, por tanto, también lo son las acciones de diseño establecidas en los códigos.
3. La respuesta de las edificaciones a movimientos intensos del terreno, se confía a cualidades de los materiales y de los sistemas estructurales, generalmente mal controladas.

Parte de las consecuencias catastróficas de sismos recientes puede atribuirse al desconocimiento de los aspectos anteriores. La importancia de las pérdidas, con énfasis en estadísticas de América Latina, se presenta en este trabajo.

Terremotos, una amenaza de la naturaleza

En una compilación de catástrofes naturales que han causado más de 500 víctimas o, independiente o conjuntamente, pérdidas materiales por más de 10.000 millones de pesetas (100 millones de dólares USA) durante el lapso que va desde inicios de 1960 hasta agosto de 1983 (ref. 1; 2), se totalizaron 59 eventos mundiales. Su distribución acumulada en el tiempo se da en la fig. 1.

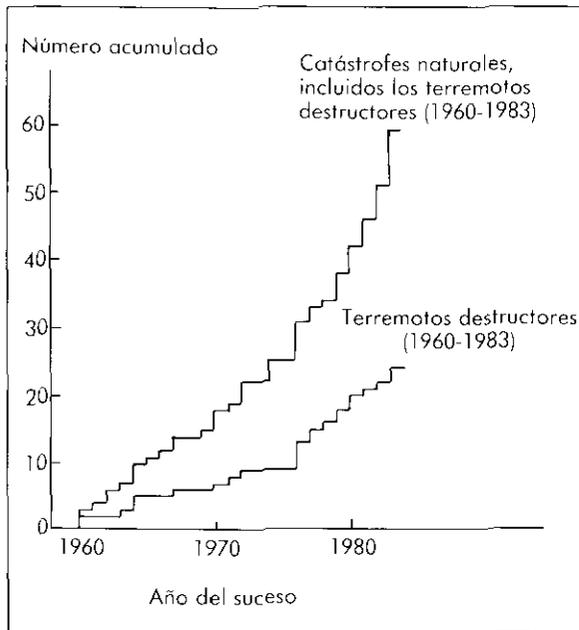


Figura 1. Distribución acumulada de una muestra de 59 catástrofes naturales a nivel mundial entre los años 1960 y 1983.

Las catástrofes se distribuyen en la forma siguiente:

- Terremotos destructores (fig. 1) 24
- Huracanes y vendavales 13
- Tifones y ciclones 6
- Borrascas invernales 6
- Tormentas e inundaciones 4
- Tornados y granizadas 4

- Volcanes 1
- Incendios de bosques 1

El total de pérdidas de vidas correspondiente a esa muestra es de 571.500, cifra influenciada por el terremoto de Tang-Shan (China, 1976) con un total de víctimas estimado en 240.000. Las evaluaciones de pérdidas materiales asociadas a ese sismo no son conocidas: el total de los 58 eventos restantes asciende a 5,9 billones de pesetas (59.000 millones de dólares USA), lo cual representa una pérdida media anual de 252.000 millones de pesetas (2.520 millones de dólares USA). En la fig. 2 se reflejan las pérdidas materiales de eventos individuales y en la figura 3 su distribución acumulada en el tiempo; obsérvese que los montos de pérdidas más recientes tienden a ser mayores, lo cual también se constata en la presentación de la figura 2, cuya ordenada es logarítmica.

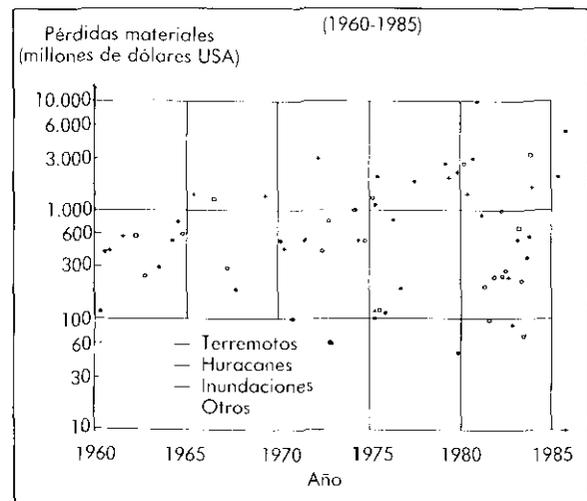


Figura 2. Pérdidas materiales debidas a catástrofes naturales (1960-1983).

Una estadística mundial de grandes desastres en el lapso 1970-1985, que incluye eventos con 20 víctimas mortales o más, o daños materiales en exceso de 600 millones de pesetas (6 millones de dólares USA), reveló que en el período estudiado las amenazas naturales fueron responsables del 29% de las pérdidas materiales y del 94% de las pérdidas de vidas (ref. 3). Entre las principales amenazas naturales se incluyeron huracanes, tornados, inundacio-

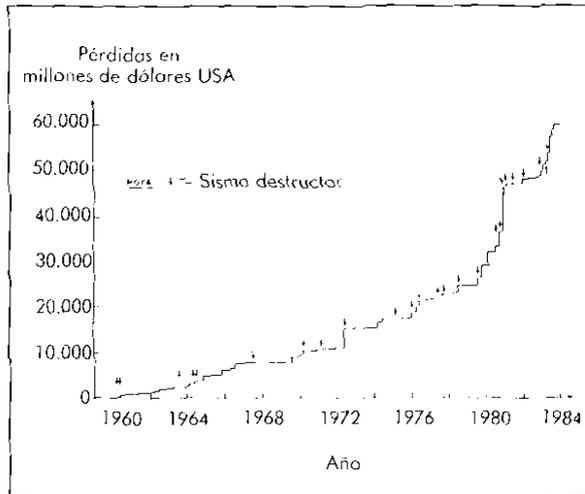


Figura 3. Pérdidas acumuladas debidas a catástrofes naturales a nivel mundial (1960-1984).

nes y sismos; el análisis de la frecuencia de estos eventos indica que la tendencia promedio fue creciente con el tiempo.

El porcentaje de víctimas debido a los 24 sismos de la muestra de 59 catástrofes naturales (ref. 1, 2), referido al total de víctimas es el 62,6% (incluido Tang-Shan) y 35,5% (excluido Tang-Shan); las pérdidas materiales debidas a terremotos, excluido Tang-Shan pues no se conoce este dato, suponen el 46,9%. Le siguen en importancia las debidas a huracanes (26,9%), tormentas e inundaciones (9,9%), borrasca invernal (6,0%), volcanes (4,5%), tifones y ciclonas (2,8%), tornados y granizadas (2,6%) e incendios de bosques (0,4%). De lo anterior se desprende que los terremotos constituyen una de las principales amenazas de la naturaleza.

Pérdidas humanas y materiales debidas a terremotos

ESTADÍSTICAS DE EFECTOS

Algunos problemas asociados a la eventual ocurrencia de futuros sismos han sido analizados en

base a las estadísticas de los efectos de eventos pasados. Es un hecho reconocido que ese tratamiento actuarial ofrece limitaciones, esencialmente debidas a la no homogeneidad de la información utilizada y la inexistencia de experiencias previas en muchas situaciones, ya que la tasa de ocurrencia de sismos intensos es pequeña en comparación a la velocidad de los cambios tecnológicos que se aplican en la construcción. No obstante estas limitaciones, las estadísticas de efectos son una muy útil fuente de datos que facilita la validación de posibles algoritmos a ser empleados en predicciones sobre las consecuencias esperadas y varianzas de futuros sismos.

En dichos algoritmos se debe reconocer que en los fenómenos sísmicos intervienen numerosos parámetros no siempre fáciles de identificar. Por ejemplo, de una manera general se espera que la tendencia a que los daños y pérdidas debidos a sismos que afectan zonas urbanas sean más importantes en la medida que sus magnitudes Richter sean mayores. El análisis de una muestra de 22 sismos destructores, acaecidos entre 1964 y 1987 en América, Europa y Asia, revela que tal tendencia no se satisface, especialmente si se analiza el número de víctimas (Tabla I). El total de pérdidas materiales de esa muestra excede los 2,5 billones de pesetas (25.000 millones de dólares USA), de los cuales 1,1 billones de pesetas (11.000 millones de dólares USA) son debidos a los efectos de 11 sismos con magnitud Richter por lo menos igual a 7,2. El total de víctimas es cercano a las 340.000, de las cuales el 70% corresponde a un único evento.

Las cifras dadas en la Tabla I sólo representan una muy limitada cantidad de la información disponible en cada sismo. A título de ilustración, en la Tabla II se comparan los efectos de 8 sismos anotados en la primera de las tablas citadas, todos ellos acaecidos en Latinoamérica entre 1967 y 1987. Además de saber que el total de muertes excede a 65.000 y las pérdidas materiales suman la cifra de 1,3 billones de pesetas (13.000 millones de dólares USA), de la Tabla II se desprende que se perdieron más de 250.000 unidades de vivienda, que hubo cerca de 200.000 personas heridas y otros aspectos de interés.

Tabla I. Pérdidas estimadas en una muestra de 22 terremotos destructores

Localidad o zona afectada	Año de ocurrenc.	Magnitud	Pérdidas materiales × 10 ⁶ US \$	N.º de víctimas
Alaska	1964	8,4	540	131
Niigata	1964	7,5	600	26
Caracas	1967	6,3	180	285
Ancash	1970	7,8	≤ 500	52.000
S. Fernando	1971	6,6	535	65
Managua	1972	5,6	800	8.000
Guatemala	1976	7,5	1.100	22.800
Tang-Shan	1976	7,8	—	242.769
Filipinas	1976	—	130	8.000
Friuli	1976	6,3	2.000	939
Bucarest	1977	7,2	800	1.570
San Juan	1977	7,4	250	65
Charco	1979	7,9	50	643
El Asnam	1980	7,3	1.000	2.633
Ipinia	1980	6,8	> 5.000	2.735
Cucuta	1981	5,5	5	50
Popayán	1983	5,5	400	350
Lolito	1985	7,8	2.200	177
México	1985	8,1	> 5.000	7.000-10.000
S. Salvador	1986	5,5	1.750	1.200
Whittier	1987	5,9	358	3
Ecuador	1987	6,9	2.600	1.100

Tabla II. Pérdidas estimadas como consecuencia de terremotos destructores en el área de California, USA (ref. 9; 10)

Sismo en la talla de:	Pérdidas materiales (10 ⁶ US \$)		
	Edificaciones	Contenido	Total (1)
San Andreas (norte)	25	13	38
Hayward	29	15	44
Newport-Inglewood	45	24	69
San Andreas (sur)	11	66	17

(1) Posibles errores en el estimado alcanzan factores de 2 a 3 (ref. 10).

De acuerdo a las estadísticas sobre desastres naturales, no siempre hay proporcionalidad entre el número total de víctimas y las pérdidas materiales. Esto se ilustra con la distribución acumulada (fig. 4) del número de muertes informadas y los daños materiales estimados, en una muestra de 60 desastres naturales que han afectado América Latina durante

el siglo xx (ref. 4). Si bien las estadísticas en general se pueden considerar más fiables en los últimos años, incluso en éstos es fácil identificar la poca correlación entre las dos curvas de la fig. 4.

Esto también se evidencia si se procede al análisis de una muestra de terremotos destructores a nivel mundial. En la fig. 5 se presentan las estadísticas de pérdidas correspondientes a 39 terremotos acaecidos en el lapso 1957-1988, en 22 países diferentes. Cualquier intento de análisis requiere la consideración de parámetros adicionales; por ejemplo en la ref. 5 se presenta una correlación positiva entre el número de víctimas y la hora del día de terremotos chilenos, encontrándose la máxima mortalidad en las horas nocturnas cuando las familias se encuentran en sus hogares. En cualquier caso en la fig. 5 destaca el hecho de que, en general, a igualdad de pérdidas materiales, en los países más desarrollados las pérdidas de vidas tienden a ser más limitadas.

MORTALIDAD Y MORBILIDAD

Se ha estimado que en los últimos 4.000 a 6.000 años, los sismos han ocasionado un total de víctimas que oscilan entre 10 y 15 millones de habitantes (LECHAT M. F., citado en la ref. 6). El acopio de estadísticas sobre sismos destructores en el mundo, revela que en el último siglo han sido los causantes de cerca de un millón de muertes (fig. 6); esta cifra excede largamente la mortalidad debida a erupciones volcánicas, que en los últimos cuatro siglos se ha cobrado más de 266.000 víctimas (ref. 7).

Mortalidad

Es un hecho estadísticamente demostrado que los terremotos pueden ocasionar muchas defunciones; en algunos casos más del 10% de la población, tal como ocurrió en Agadir, Marruecos, donde el número de víctimas debido al sismo del 29-2-1960 alcanzó el 34% de la población. Obviamente, en zonas epicentrales el porcentaje de víctimas puede ser muy elevado, como fue el caso de Tabas-e-Gols-

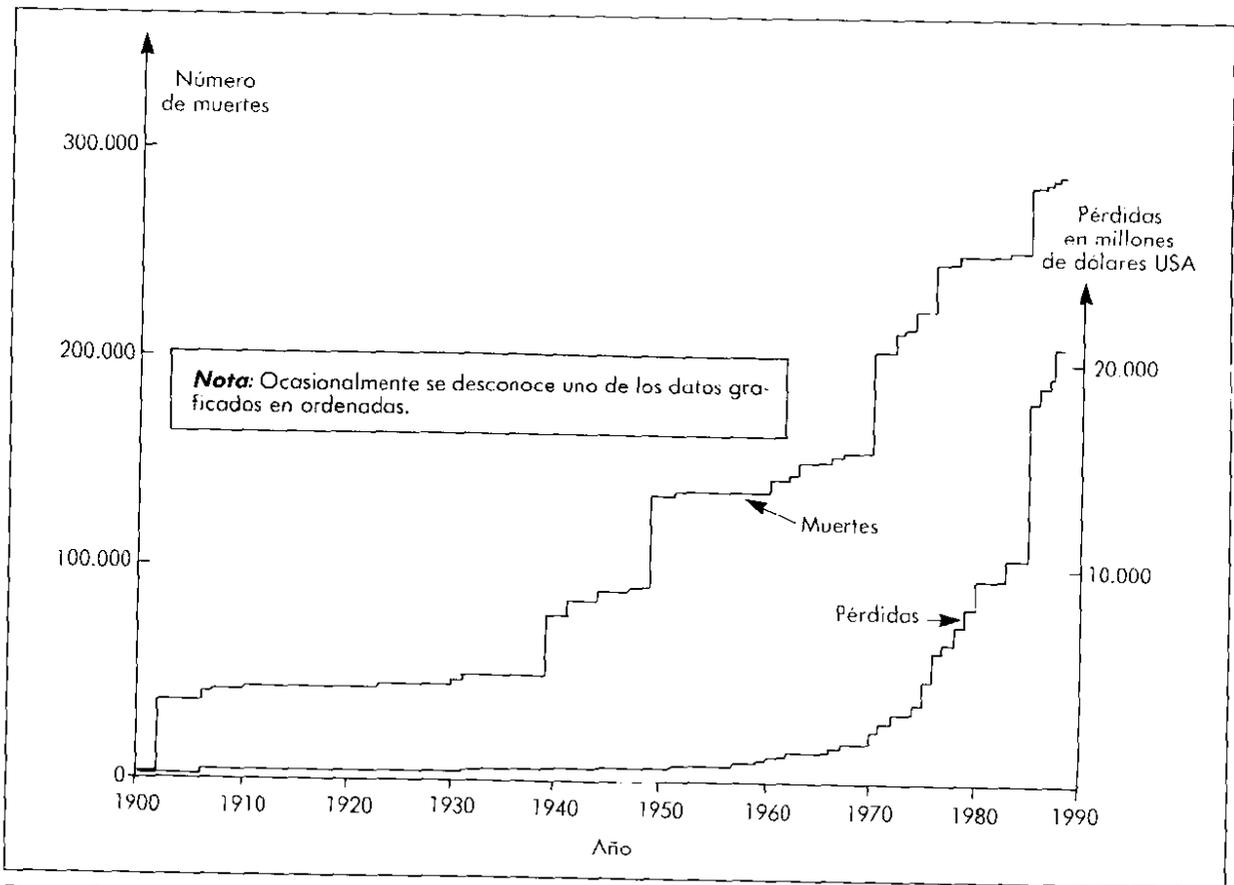


Figura 4. Distribución acumulada del número de muertes y pérdidas estimadas, en una muestra de 60 desastres naturales que han afectado América Latina durante el siglo xx.

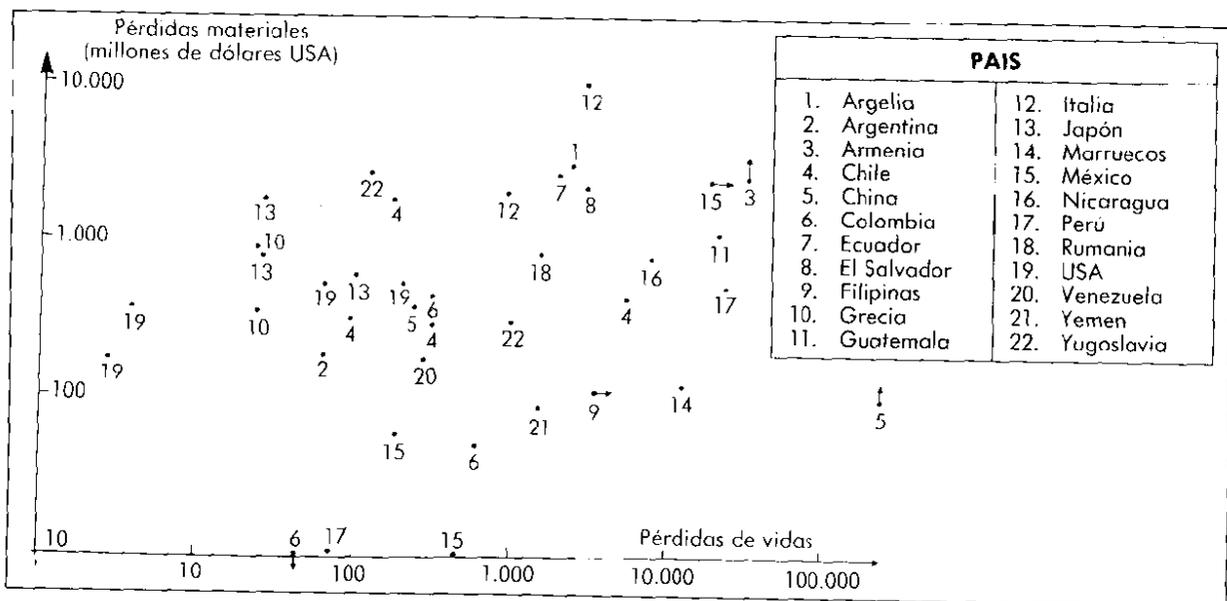


Figura 5. Pérdidas como consecuencia de terremotos destructores en el lapso (1957-1988).

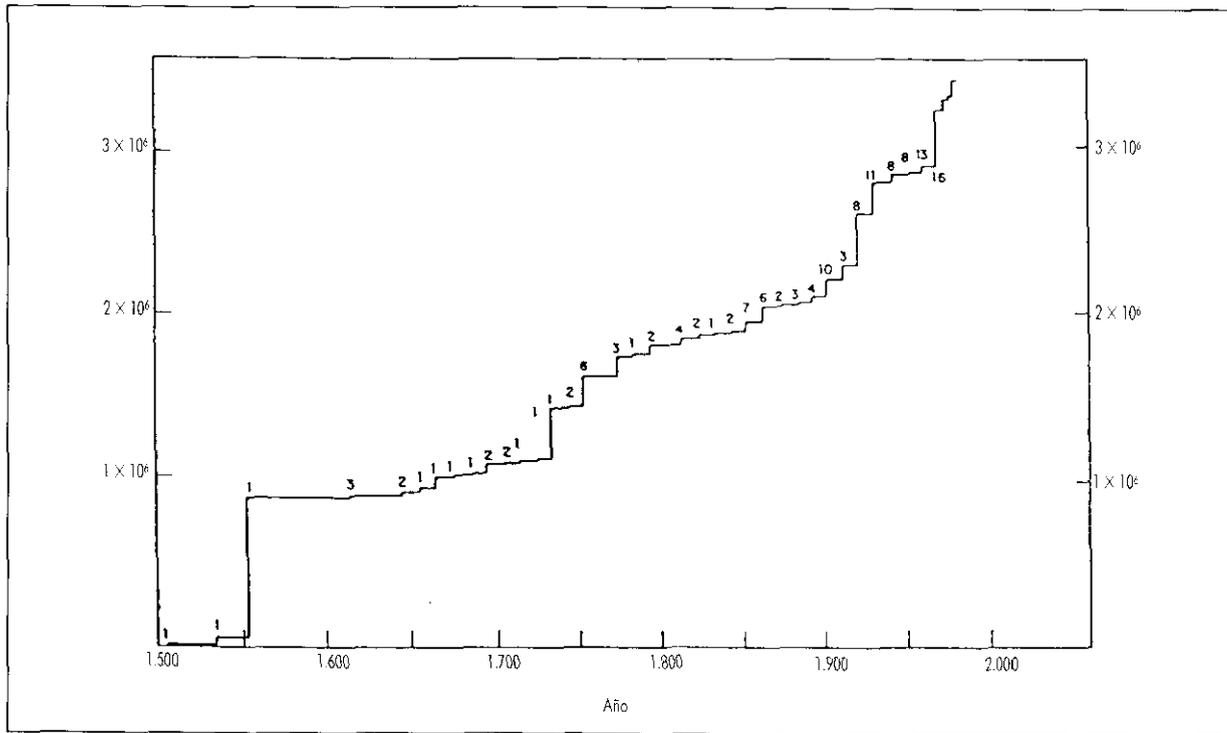


Figura 6. Número acumulado de víctimas como consecuencia de la actividad sísmica o nivel mundial.

han, Irán, en 1978, donde perecieron 11.000 de los 13.000 habitantes, o más recientemente en Spitac, Armenia, literalmente borrada del mapa por el terremoto del 7 de diciembre de 1988.

En la fig. 7 se da el número de víctimas por 10.000 habitantes en áreas afectadas por terremotos: es importante señalar que el número de víctimas se ha dividido por la cifra correspondiente a la mejor estimación del número de habitantes de las áreas correspondientes a la isosista de intensidad VII.

Morbilidad

Con frecuencia se emplea la relación 3/1 para estimar la proporción entre heridos y víctimas mortales en catástrofes de origen sísmico. Las estadísticas sobre este cociente en diferentes catástrofes ofrecen, no obstante, una amplia dispersión tal como se ilustra en la fig. 8.

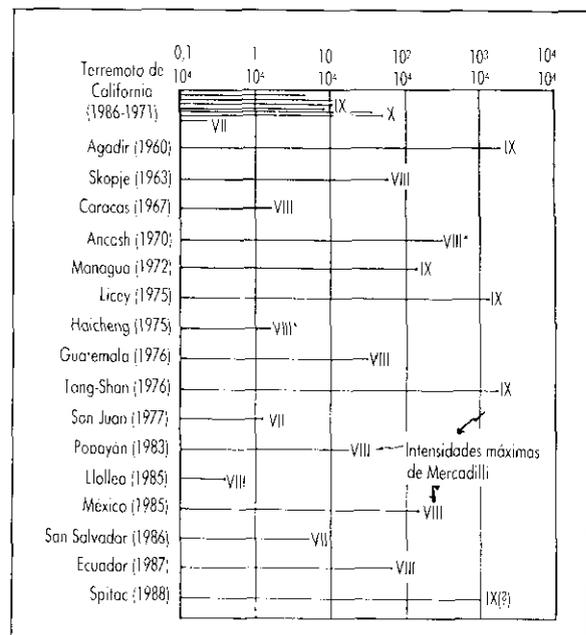


Figura 7. Número de víctimas referido a la población dentro de la isosista de intensidad VII.

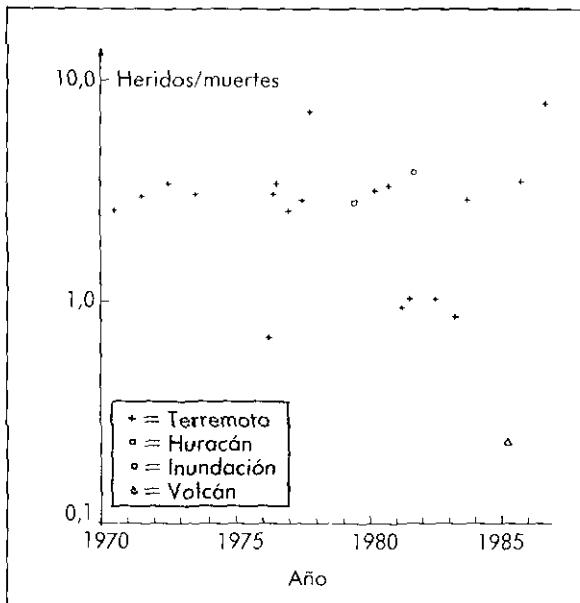


Figura 8. Número de heridos referido al número de muertes en desastres naturales.

PERDIDAS MATERIALES

Estudios prospectivos sobre pérdidas esperadas como consecuencia de las amenazas de la naturaleza en USA (ref. 8) revelan que si bien las pérdidas medias anuales son pequeñas para terremotos (fig. 9) el potencial de pérdidas en un solo evento puede alcanzar cifras que exceden los 6,5 billones de pesetas (65.000 millones de dólares USA). Esto aparece discriminado para el área de California en la Tabla III, ref. 8, donde un terremoto centrado en la falla Newport-Inglewood puede ocasionar pérdidas estimadas en 6,9 billones de pesetas (69.000 millones de dólares USA). Nótese que las pérdidas de contenido representan aproximadamente 1/3 de la pérdida total.

No siempre las estadísticas de daños se presentan de forma adecuada. Como ilustración de un caso bien estudiado nos referimos aquí al sismo que sacudió el área de San Fernando, California, el año 1971,

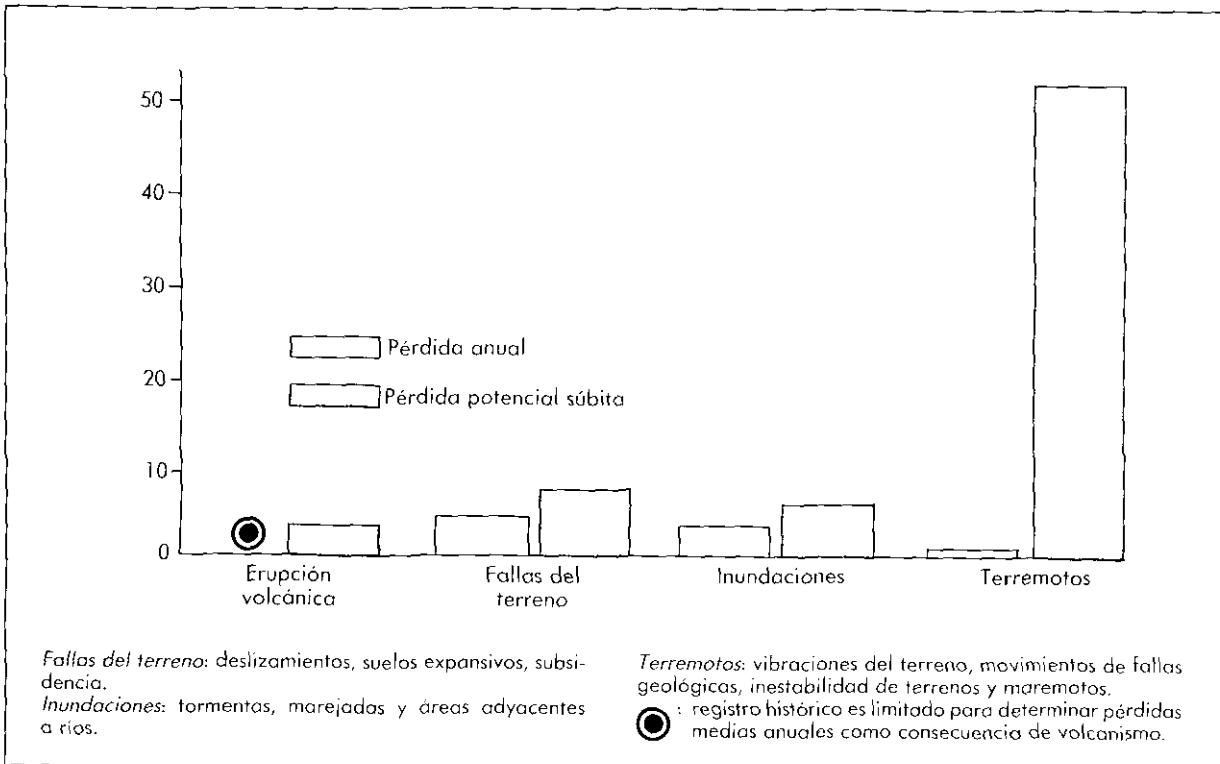


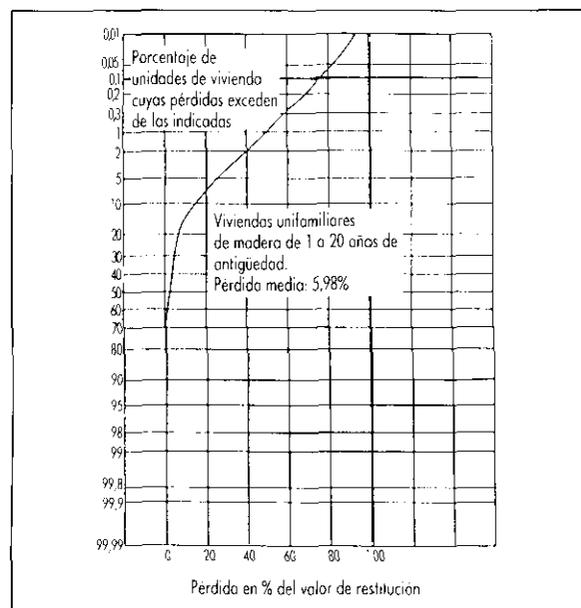
Figura 9. Estimaciones de pérdidas medias anuales y la pérdida potencial súbita, de peligros geológicos e hidrológicos en los Estados Unidos de Norteamérica (ref. 10).

Tabla III. Comparación entre las características y los efectos de terremotos americanos

	Caracas	Ancash	San Juan	Popayán	Llolleo	México	S. Salvador	Ecuador
Magnitud Richter	6,3	7,8	7,4	5,5	7,8	8,1 + réplicas	5,4	6,9
Profundidad focal (km)	10-20	45	20	10	Sup.	Sup.	7	12 ± 9
Distancia epicentral en km, a:	Caracas 50-60 (VI-VIII)	Chimbote 50	San Juan 50	Popayán 8	Viña del mar 45	México (D. F.) 330-380	S. Salvador 4	Quito 74 (VI)
Victimas	285	52.000	65	350	177	10.000	1.200	1.100
Población dentro de la isosista:								
IX	0	?	0,03 m	—	—	—	—	—
VIII	0,2-0,3 m	0,3 m	0,10 m	0,05* m	0,23 m	—	1,5 m	—
VII	1-2 m	0,8 m	0,35 m	0,19 m	2,5 m	0,7	—	140.000
VI	4-5 m	1,8 m	1,5 m	—	(V) 4,4 m	—	—	—
Victimas/10 ⁴ habitantes	1,9	~ 650	1,8	13,5	0,7	143	8	78,6
Heridos	2.100	150.000	260	> 1.500	2.575	18.000-30.000	10.000	—
Unidades de vivienda perdidas	200-300	138.000	11.130	4.500	75.724	miles	22.800	2.000
Pérdidas materiales en m US \$:								
Totales	180-200	477-800	186-250	400	1.800-2.200	> 5.000	900 (1.750)	2.600
• Vivienda	120 + (60)	230 + 28	136 + 3,8	—	—	5.000* (edificaciones)	234	pérdida de 35 km de oleoducto + gasoducto; lucro cesante durante 6 meses
• Vías de Com.	0,50	102	6,1	no	si (18 puentes)	si	193 (infraestr.)	
• Equip.	0,10	90	0,9	—	Importantes	?	159 (educación + salud)	
• Canales	—	?	5,4	—	—	si	—	
• Herencia cultural	0	?	?	Importante	—	Limitada	—	
• Debido a disrupción	Limitada	Importante	4,6 a 25%	?	—	Importante	232 (sector productivo)	

el cual afectó a un número considerable de viviendas unifamiliares de madera ocasionando daños de diferente importancia. La información de pérdidas referidas al valor de restitución en una muestra de 12.000 de estas edificaciones, con edades entre 1 y 20 años, arroja una media de 5,98% y la distribución acumulada que se da en la fig. 10; ésta, dibujada a partir de los datos de Roth (ref. 9), revela que sólo un 10% sufrió pérdidas mayores en el 18% de su valor de reposición, 4% pérdidas en exceso del 30% y 1% en exceso del 50%.

Figura 10. Terremoto de San Fernando, California (9-2-1971) distribución acumulada del porcentaje de viviendas de cuyas pérdidas exceden las indicadas (ref. 9).



Terremotos en localidades latinoamericanas

Las áreas de elevado peligro sísmico al sur del río Grande representan un 17% de una extensión total del orden de 20 millones de km², si se incluye Brasil, 29% si se excluye ese país. Tomando en consideración la distribución de áreas urbanas, el porcentaje de población amenazada por sismos puede estimarse entre 2/3 y 3/4 de los 280 millones de habitantes (excluido Brasil). Al menos una vez, 20 de 26 capitales de estado de esa región han sufrido des-

trucción o daños importantes como consecuencia de terremotos en tiempos históricos.

De acuerdo con la información de 134 terremotos destructores que han afectado a 71 localidades americanas durante los últimos 400 años, de los que más de un tercio han sucedido durante el presente siglo, el balance de víctimas supera las 300.000, de las cuales 160.300 han sido como consecuencia de eventos entre 1900 y 1986. En este lapso las pérdidas materiales directas totalizan 19.760 millones de dólares USA, que representan algo más de medio millón de dólares USA-diarios aproximadamente; en los últimos dos decenios, esa cifra media es aproximadamente tres veces mayor. En la fig. 11 se sintetiza la información disponible correspondiente al siglo xx.

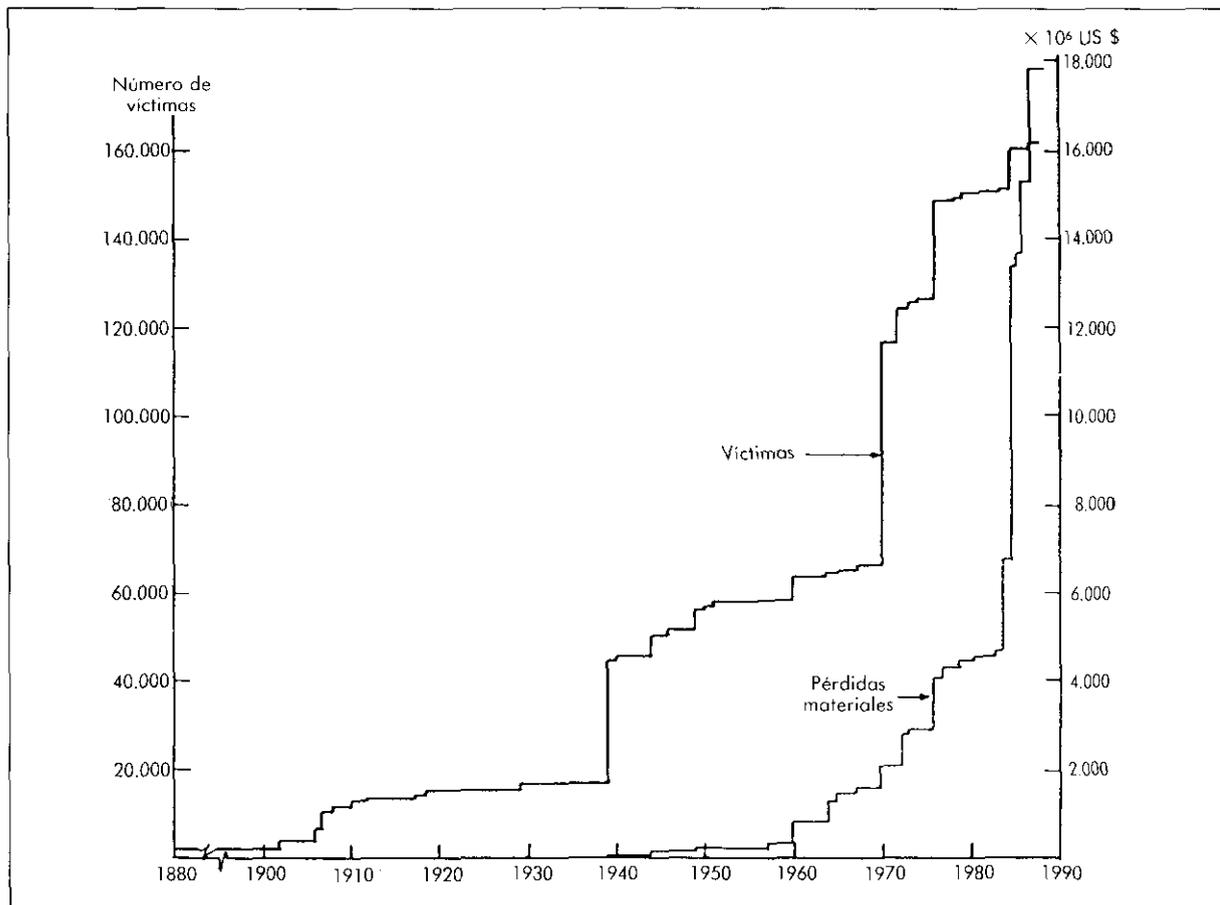


Figura 11. Terremotos americanos, pérdidas de vidas (1900-1987) y pérdidas materiales (1939-1987).

Nota final

Las estadísticas presentadas en las secciones anteriores ilustran la importancia de los terremotos, una amenaza de la naturaleza con la cual el hombre debe aprender a convivir en extensas regiones del planeta. Las acciones de prevención más comunes obedecen a una estrategia a largo plazo: proyectar y construir en forma tal que las edificaciones resistan los movimientos sísmicos, aprovechando el indudable avance de conocimientos en esta disciplina. Aún cuando conceptualmente correcta, las acciones propias de tal estrategia no siempre han conducido a resultados satisfactorios, por las siguientes razones:

a) Insuficiente difusión de conocimientos sistematizados de formación profesional; se requiere incorporarlos a los programas de las Facultades y Escuelas de Ingeniería.

b) Obsolescencia de la herramienta de cálculo usualmente utilizada por los ingenieros proyectistas, que son las normas antisísmicas; su actualización en muchos países es materia prioritaria.

c) Dificultades por parte de estudiantes y profesionales de encontrar textos adecuados para el estudio sistemático de la ingeniería sísmica; es necesario subsanar esta deficiencia con textos adecuados, debidamente ilustrados con aplicaciones a casos reales.

d) Errores de concepción y ejecución; los tres correctivos anteriores podrán en su justa perspectiva la importancia de una buena concepción, ejecución e inspección honesta.

Algunas iniciativas como el reforzamiento, reducción de situaciones vulnerables a sismos, etc., forman parte de estrategias a corto plazo, de costo prohibitivo si se considera el inventario de edificios existente. En algunas sociedades, esta estrategia de adecuación se está aplicando a edificaciones que deben sobrevivir sismos intensos, tales como: hospitales, edificios para bomberos, o bien a obras cuyo mal funcionamiento pueda dar lugar a catástrofes (centrales nucleares, represas, tanques de almacenamiento de combustibles en áreas urbanas).

Finalmente, debe tenerse presente que la aplica-

ción sistemática de los conocimientos actuales en ingeniería sísmica, permite elevar la fiabilidad de obras hechas por el hombre en áreas de elevado peligro sísmico y, por tanto, mitigar considerablemente las posibles consecuencias catastróficas en nuestras sociedades.

Referencias

1. GRASES, J.: «Pérdidas como consecuencia de terremotos. Métodos para estimación». Seguros Caracas, p. 69, Caracas, 1986.
2. BERZ, G.: «Research and statistics on natural disasters in Insurance and Reinsurance companies». *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, 9:31, pp. 135-147, Geneva, April 1984.
3. Swiss Reinsurance Company: «International survey of major losses and catastrophes 1970-1985». *Sigma* 11, 1986.
4. Programa de cooperación y coordinación regional en caso de desastres naturales. Sistema económico Latinoamericano, SELA, p. 185, Caracas, 1987.
5. LOMNITZ, C.: «Casualties and behaviour of populations during earthquakes». *Bulletin of the Seismological Society of America*, 60, pp. 1309-1313, 1970.
6. DE VILLE DE GOYET, C.: «The health impact of Earthquakes». In: *Biomedical Research in Latin America: Background Studies*. Chapter 13, NIH publications n.º 80-2051, pp. 215-233, April 1980.
7. SIGURDSSON, H., y CAREY, S.: «Volcaic disasters in Latin America and 13th November 1985 eruption of Nevado de Ruiz volcano in Colombia». *Disasters*, 10:3, pp. 205-216, 1986.
8. Bay area regional earthquake preparedness project (BAREPP): «Reducing the risk of nonstructural earthquake damage: a practical guide», p. 86, October 1985.
9. ROTH, R. J.: «Department of Insurance». Los Angeles. Comunicación personal, mayo 1988.
10. California at risk. Reducing earthquake hazards: 1987 to 1992: «Seismic safety Commission». State of California, p. 92, September 1, 1986.