

SISMOLOGÍA



SERIE
Fascículos



SEGOB





- 1a. edición, octubre 1990
- 2a. edición, 1995
- 2a. reimpression de la segunda edición, 1996
- 3a. edición, mayo 1997
- 4a. edición, diciembre, 2001
- 5a. edición, agosto, 2005
- 1a. reimpression de la quinta edición, diciembre, 2008

© Secretaría de Gobernación
Abraham González No. 48,
Col. Juárez, Del. Cuauhtémoc,
C. P. 06699, México, D. F.

© Centro Nacional de Prevención de Desastres
Av. Delfín Madrigal No. 665,
Col. Pedregal de Santo Domingo,
Del. Coyoacán, C. P. 04360, México, D. F.
Teléfonos:
(55) 54 24 61 00
(55) 56 06 98 37
Fax: (55) 56 06 16 08
e-mail: editor@cenapred.unam.mx
www.cenapred.unam.mx

© Autores:
M. en C. Carlos Gutiérrez Martínez, M. en I. Roberto Quaas Weppen,
Dr. Mario Ordaz Schroeder, Ing. Enrique Guevara Ortiz, Dr. David Muria Vilá
y Dr. Shri Krishna Singh

Edición:
Violeta Ramos Radilla

Diseño:
Demetrio Vázquez Sánchez

ISBN: 970-628-876-7

Derechos reservados conforme a la ley.
Impreso en México. Printed in Mexico

Distribución Nacional e Internacional:
Centro Nacional de Prevención de Desastres

EL CONTENIDO DE ESTE DOCUMENTO ES
EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES

SERIE Fascículos

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Lic. Fernando Francisco Gómez Mont Urieta
Secretario de Gobernación

Lic. Laura Gurza Jaidar
Coordinadora General de Protección Civil

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE
DESASTRES

M. en I. Roberto Quaas Weppen
Director General

M. en C. Carlos A. Gutiérrez Martínez
Director de Investigación

M. en I. Enrique Guevara Ortiz
Director de Instrumentación y Cómputo

Lic. Gloria Luz Ortiz Espejel
Directora de Capacitación

M. en I. Tomás A. Sánchez Pérez
Director de Difusión

Profa. Carmen Pimentel Amador
Directora de Servicios Técnicos

Sismos

3	Introducción
4	Constitución interna de la Tierra Corteza Manto Núcleo externo Núcleo interno
6	Tectónica de placas
8	Relación entre la tectónica de placas y la sismicidad mundial
9	Ondas sísmicas
12	Tipos de sismos Sismos naturales Sismos artificiales
14	Maremotos
17	Escalas de intensidad y magnitud
19	Escala de intensidad Mercalli modificada abreviada
20	Zonas sísmicas en el mundo
21	Sismicidad en México
26	Regionalización sísmica
27	Brecha Sísmica de Guerrero
28	Instrumentación sísmica Instrumentos de registro Redes de observación sísmica Sistema de alerta sísmica Red de observación sísmica del CENAPRED
36	Conclusiones
37	Qué hacer antes, durante y después de un sismo
41	Glosario
44	Bibliografía

Introducción

Por su ubicación geográfica, México se encuentra sujeto a diversos fenómenos naturales que pueden derivar en casos de desastre; entre las calamidades a las que mayormente está expuesto el territorio nacional resaltan los sismos, que en el transcurso de la historia han sido de significación especial, tanto por su frecuencia como por los daños que han ocasionado, particularmente los ocurridos en la ciudad de México en septiembre de 1985.

En la dinámica de la naturaleza de nuestro país, la presencia de fallas geológicas activas y la acción de las placas tectónicas son factores siempre presentes. En la ciudad capital, y en otras ciudades del país, a estos elementos se adicionan características adversas del subsuelo y gran densidad poblacional, que propician riesgo sísmico.



Figura 1. El sismo del 19 de septiembre de 1985, produjo el colapso parcial o total de edificios en la Ciudad de México



Figura 2. El sismo de junio y septiembre de 1999, con epicentro en el sur del estado de Puebla, produjo graves daños especialmente en inmuebles históricos e iglesias.



Figura 3. La solidaridad mostrada por la población como respuesta a la tragedia provocada por los sismos de 1985, reflejó la necesidad de contar con instituciones dedicadas al estudio y prevención de los desastres

Ante tales hechos, la acción gubernamental se orienta a informar y capacitar a los ciudadanos para enfrentar eficazmente los fenómenos sísmicos, con base en conocimientos objetivos. De ahí que el propósito particular de este fascículo sea presentar la información sísmica más reciente y contribuir a la consolidación de la cultura de protección civil, sobre la cual se habrán de sustentar las acciones en pro de la prevención de desastres.

En búsqueda de una percepción de conjunto, en cada artículo de esta edición se abordan temas distintos y complementarios acerca de la dinámica de nuestro planeta que, estamos seguros, habrán de redundar en una mayor cultura de protección civil en México.

Constitución interna de la Tierra

El conocimiento actual acerca del interior de la Tierra es resultado de numerosos estudios científicos, en su mayoría basados en la propagación de las ondas sísmicas a través del propio material terrestre. De esta manera ha sido posible determinar su composición y dividirla en varias capas concéntricas; del exterior al interior, son: corteza, manto, núcleo externo y núcleo interno (fig.5).

Para el estudio de la actividad sísmica, es de particular importancia la cubierta rígida de nuestro planeta, constituida por la corteza y la parte superior del manto. A esta cubierta se le denomina litosfera; el promedio de su espesor es de 100 km.

Corteza

Se inicia en la superficie y llega hasta una profundidad promedio de 35 km. En algunas zonas continentales como las cadenas montañosas, puede ser mayor; en otras, bajo los océanos, su espesor es menor: unos 10 km. La corteza es completamente sólida y fracturable.

Manto

Comprende desde la parte inferior de la corteza hasta aproximadamente 2 900 km de profundidad. Debido a las condiciones de temperatura y presión imperantes en el material de esta capa, su estado físico oscila entre sólido y plástico.

Núcleo externo

Su espesor es de unos 2 300 km, comprendidos entre los 2 900 y los 5 200



Figura 4. Fotorelieve del continente americano donde se observa la textura de la corteza terrestre

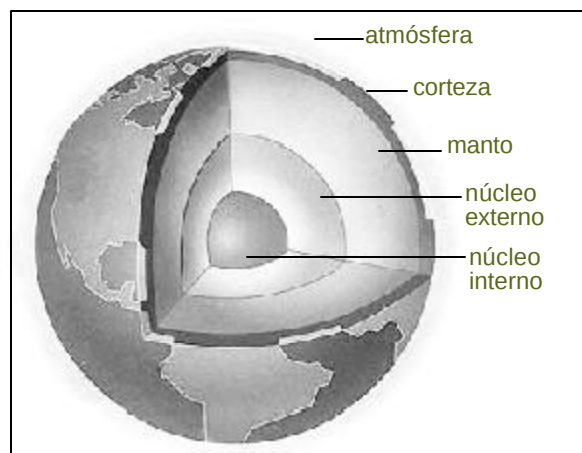


Figura 5. Corte de la Tierra en el que se muestra su estructura interna

km de profundidad. Con base en datos sismológicos se ha podido inferir que es líquido. Esto se puede deber a condiciones de temperatura elevada.

Núcleo interno

Éste es el centro de la Tierra; su diámetro es de 2,340 km.
Según se ha calculado, se encuentra en estado sólido.

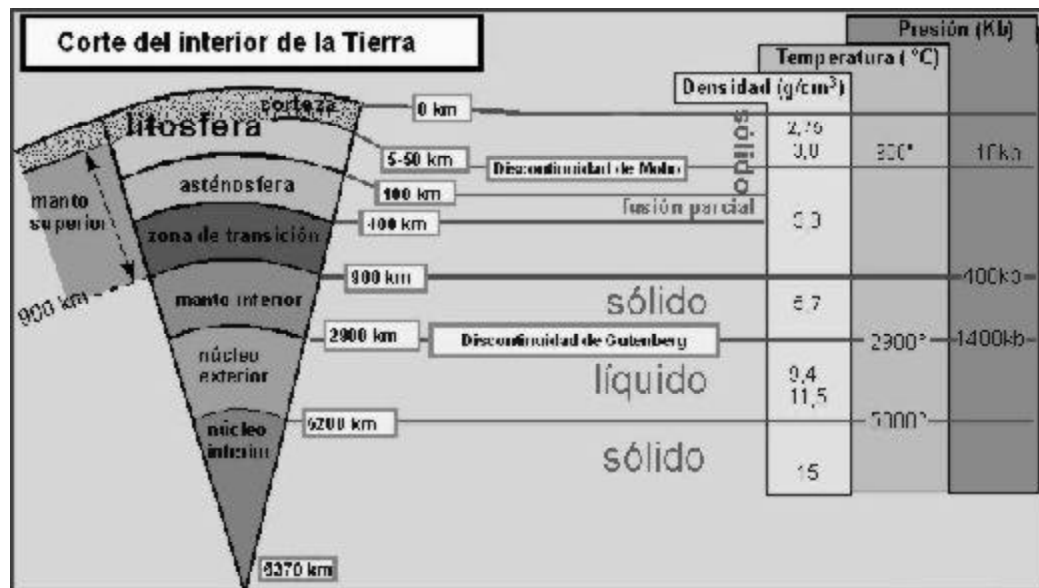


Figura 6. Distribución de las capas internas del planeta y algunas de sus características físicas

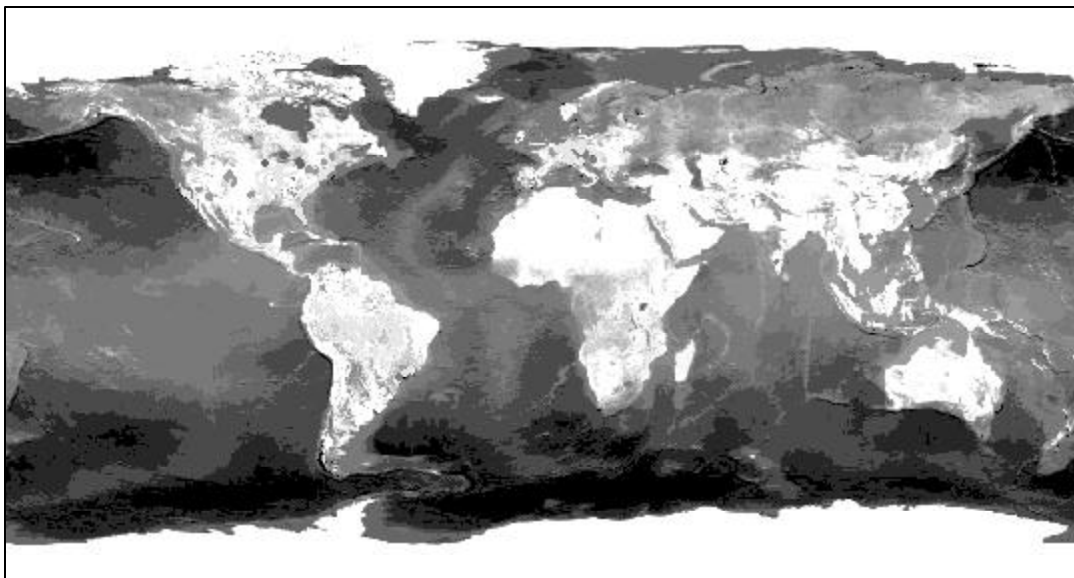


Figura 7. Mapa de la Tierra mostrando la distribución actual de los continentes

Tectónica de placas

En 1620, Sir Francis Bacon reconoció claramente que existe correspondencia en la forma de las líneas de la costa atlántica de América y las de África Occidental. Con esta base, en 1912 Alfred Wegener desarrolló la teoría de la deriva continental; en ella se afirma que, hace 200 millones de años, los continentes actuales integraban un supercontinente denominado Pangea (fig. 8). Al moverse constantemente sobre un supuesto sustrato viscoso, los continentes llegaron a ocupar su posición actual (fig. 9).

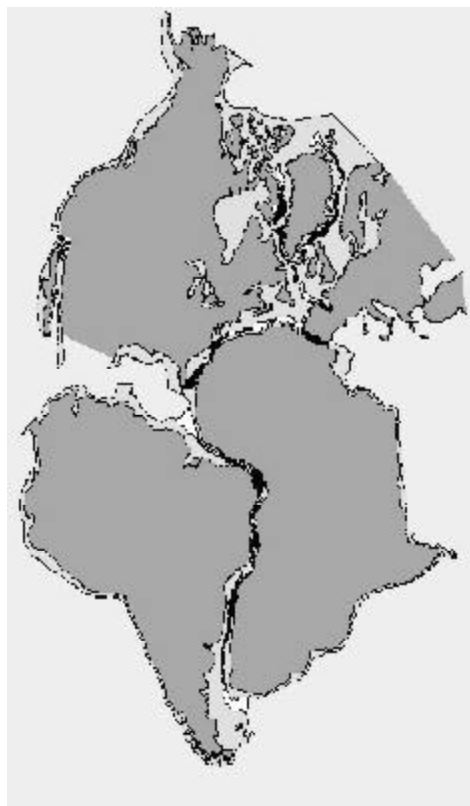


Figura 8. El supercontinente llamado Pangea

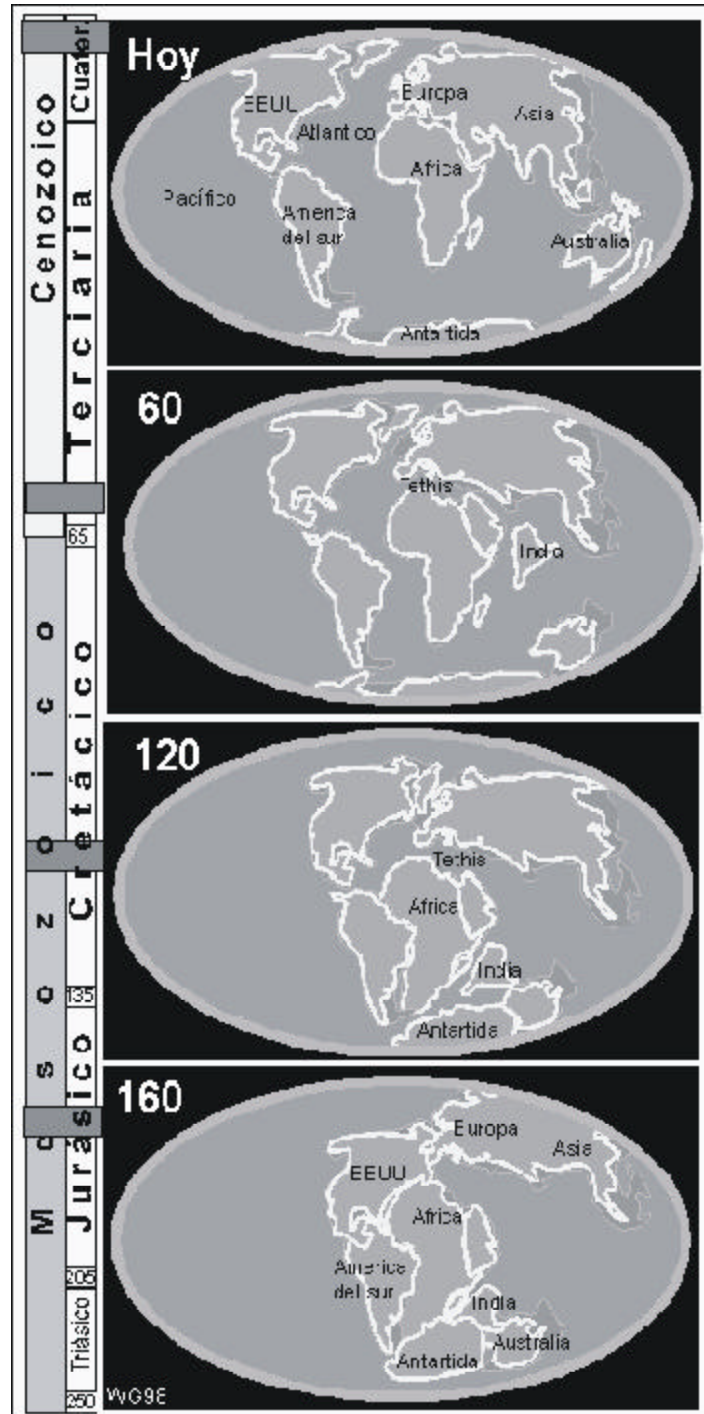


Figura 9. El desplazamiento de los continentes durante diferentes épocas de la Tierra (en millones de años)

Posteriormente, con base en la teoría elaborada por Wegener y numerosas contribuciones de geólogos y geofísicos, se desarrolló la teoría de tectónica de placas. En ella se postula que la litosfera está dividida, formando una especie de mosaico de sectores rígidos, conocidos como placas, las cuales se mueven entre sí, y cuyos desplazamientos promedio son de 2 a 12 centímetros por año.

Para entender el mecanismo que impulsa las placas se presenta la figura 10; en ella se muestra que, debido al arrastre provocado por corrientes de convección, los fragmentos de litosfera se desplazan sobre la parte viscosa del manto. Estas corrientes transportan el material caliente hacia zonas poco profundas mientras que el material con menor temperatura, y mayor densidad, es llevado a mayores profundidades.

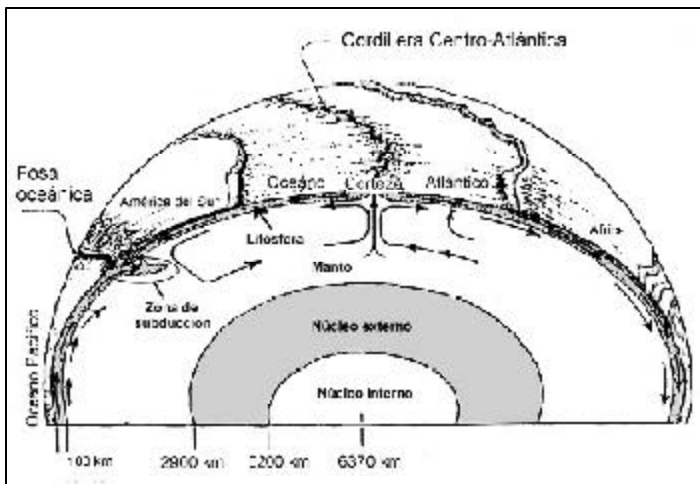


Figura 10. Dinámica de la Tierra, representada en sección transversal. Las placas tectónicas formadas por la corteza y parte del manto superior, se desplazan lateralmente sobre la capa del manto inferior, a mayor temperatura tal vez parcialmente fundida. El material fundido asciende por debajo de las crestas de las cordilleras oceánicas; al solidificarse da lugar a nueva corteza. (Fuente: Deriva continental y tectónica de placas, selecciones de Scientific American)

No hay coincidencia entre los límites de las placas y los continentales; una sola placa puede contener completa o parcialmente continentes y áreas oceánicas. Los límites o márgenes entre las placas pueden ser de tres tipos (fig. 11):

a) Divergentes: donde las placas se están separando; un ejemplo son las cordilleras oceánicas.

b) Convergentes: una de las placas se introduce abajo de otra, o bien, dos placas chocan entre sí. Ilustración del primer caso es la penetración de la Placa de Cocos bajo la Placa de Norteamérica, en la costa occidental de nuestro país. El efecto más representativo del segundo caso es la colisión entre las placas Indoaustraliana y Euroasiática, cuyos resultados son los plegamientos de grandes proporciones que constituyen la cadena montañosa de los Himalaya.

c) De transformación o transcurrentes: dos placas se mueven entre sí lateralmente; ejemplo: la falla de San Andrés, que cruza el estado de California en los Estados Unidos y que llega a afectar la parte norte de la península de Baja California. Esta falla no se prolonga en la región del Mar de Cortés ni en la costa occidental de México.

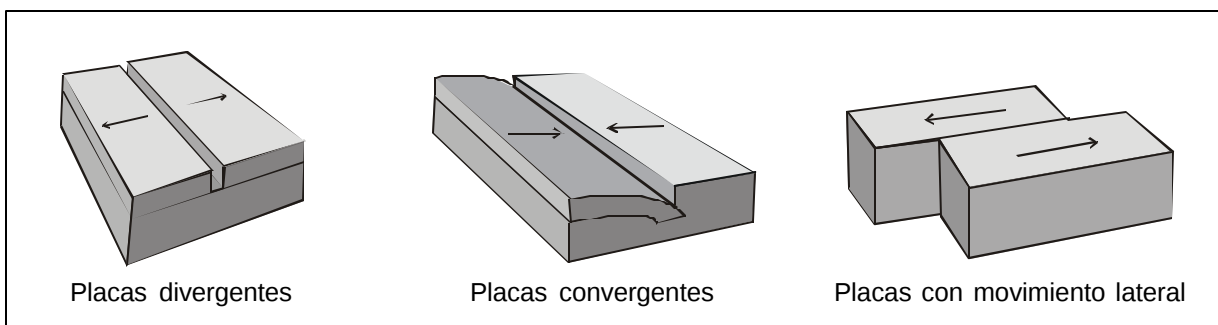


Figura 11. Tipos de límites entre las placas tectónicas

Relación entre la tectónica de placas y la sismicidad mundial

Como ya se mencionó, la litosfera está dividida en varias placas (fig. 12), cuya velocidad de desplazamiento es del orden de varios centímetros por año. En los límites entre placas, donde éstas hacen contacto, se generan fuerzas de fricción que impiden el desplazamiento de una respecto a la otra, generándose grandes esfuerzos en el material que las constituye (fig. 13). Si dichos esfuerzos sobrepasan la resistencia de la roca, o se vencen las fuerzas friccionantes, ocurre una ruptura violenta y la liberación repentina de la energía acumulada. Desde el foco (o hipocentro), ésta se irradia en forma de ondas que, a través del medio sólido de la Tierra, se propagan en todas direcciones. Se les conoce como ondas sísmicas.

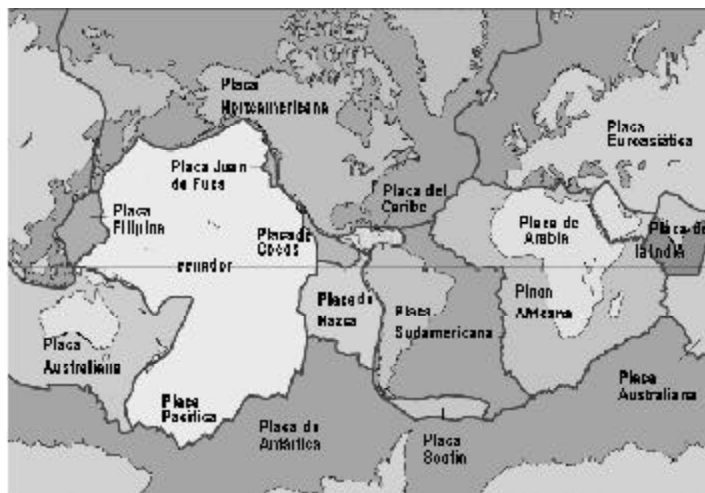


Figura 12. Distribución actual de las placas tectónicas

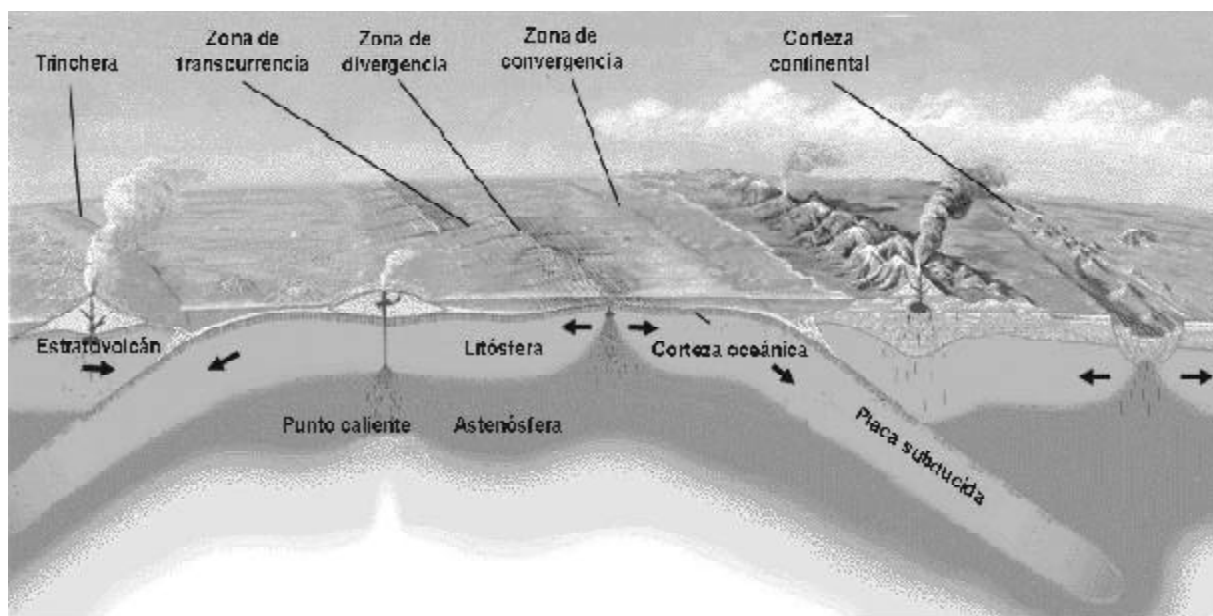


Figura 13. Formas de desplazamiento típicas de las placas tectónicas

Ondas sísmicas

Al ocurrir un sismo, tres tipos básicos de ondas producen la sacudida que se siente y causa daños; sólo dos se propagan en todas direcciones en el interior de la Tierra; por ello se les denomina ondas internas. La más rápida de éstas es la onda primaria u onda P, cuya velocidad varía dependiendo del tipo de roca, entre 1,100 y 8,000 m/s.

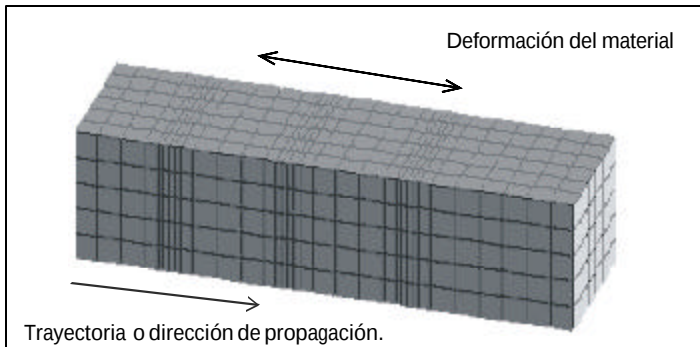


Figura 14. Deformación elástica producida por el paso de la onda P. Implica cambios de volumen transitorios.

La característica principal de esta onda es que alternadamente comprime y expande la roca, en la misma dirección de su trayectoria. Es capaz de propagarse a través de rocas (sólidos) y de líquidos; por ejemplo, el magma y los océanos. Además, se puede transmitir a través de la atmósfera; en ocasiones, personas y animales la perciben como un sonido grave y profundo.

La segunda onda, llamada secundaria u onda S, viaja a menor velocidad que la P (normalmente entre 500 y 4,400 m/s). Mientras se propaga, deforma el material lateralmente respecto de su trayectoria. Por esta razón no se transmite en fluidos (líquidos y gases).

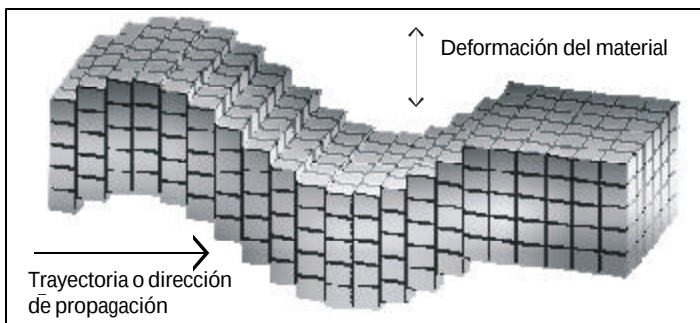


Figura 15. Deformación elástica producida por el paso de la onda S. En este caso no se producen cambios de volumen en el material en que se propaga.

Cuando ocurre un terremoto primero se siente, en un sitio a cierta distancia del epicentro, la onda P, con un efecto de retumbo que hace vibrar paredes y ventanas. Unos segundos después llega la onda S, con movimiento vertical de arriba hacia abajo -y viceversa- y de lado a lado, de tal manera que sacude la superficie del terreno vertical y horizontalmente. Este es el movimiento responsable del daño a las construcciones, en zonas cercanas al epicentro e incluso a distancias considerables.



Figura 16. Colapso de un edificio de concreto reforzado causado por el sismo del 19 de septiembre de 1985, en la Ciudad de México.

El tercer tipo de ondas sísmicas es el de las llamadas ondas superficiales, cuya característica es propagarse por la parte más superficial de la corteza terrestre; a medida que la profundidad aumenta disminuye la amplitud de su movimiento. Las ondas superficiales generadas por el terremoto se pueden clasificar en dos grupos:

Ondas Love, llamadas así en honor de su descubridor, el físico A.E.H. Love, deforman las rocas similarmente a las ondas S, aunque únicamente en dirección horizontal.

Ondas Rayleigh, en honor de Lord Rayleigh, producen movimiento vertical, similar al de las olas marinas.

Las ondas superficiales viajan más despacio que las internas.

De las ondas superficiales, las Love son un poco más rápidas. Debido al componente vertical del movimiento de las Rayleigh, los cuerpos de agua, por ejemplo lagos, pueden ser afectados. A causa del movimiento lateral del sustrato rocoso de lagos y bahías, las ondas Love (que no se propagan en el agua) pueden afectar la superficie de estos cuerpos de agua.

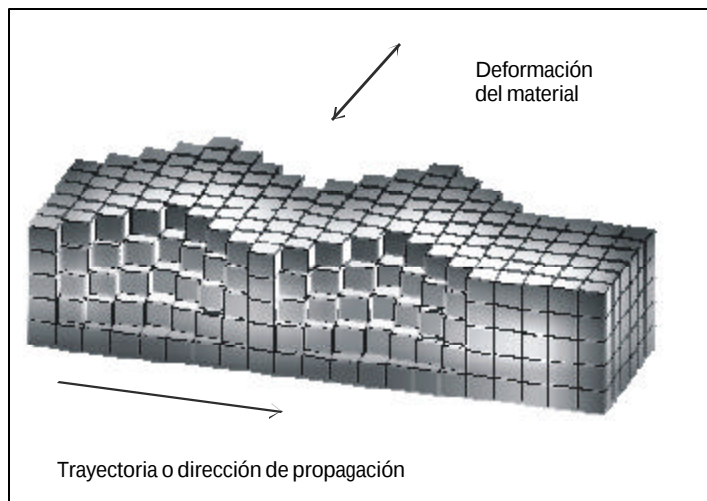


Figura 17. Características de la propagación de las ondas **Love**. Su amplitud disminuye con la profundidad.

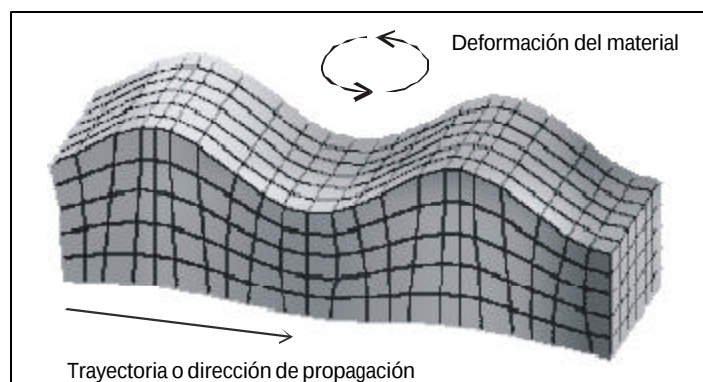


Figura 18. Características de la propagación de las ondas **Rayleigh**. El desplazamiento de un punto en la superficie tiene componentes vertical y horizontal.



Figura 19. El sismo del 19 de septiembre tuvo su origen en las costas de Michocán, produjo los daños mayores en la ciudad de México, donde cientos de edificios resultaron dañados.



Dependiendo del tamaño del temblor y de la cercanía al punto de origen, las amplitudes de las ondas varían.

Pueden ser muy pequeñas imperceptibles por el ser humano, detectables sólo con instrumentos altamente sensibles, o bien tan grandes que pueden alterar de manera permanente el terreno, deformando tuberías, vías férreas, etc.

Durante la ocurrencia de un gran temblor se podría observar como se deforma la superficie del terreno ante el paso de las ondas sísmicas.

Las ondas sísmicas de temblores moderados o grandes alcanzan a ser detectadas con claridad en observatorios de todo el mundo ya que se propagan a través del interior de la tierra y en la superficie de ésta, hasta por varias horas.



Figura 20. Colapso de un viaducto en Northridge, C.A., 1994.



Figura 21. Colapso lateral del viaducto Hanshin, Japón, 1995.



Figura 22. Durante el sismo de Kobe, Japón en 1995 se registraron intensidades sísmicas de grado XI en la escala de Mercalli.

Tipos de sismos

Por su origen, los sismos se pueden clasificar como naturales y artificiales. En general, los de origen natural liberan mayor cantidad de energía; por tanto, sus efectos en la superficie son mayores.

Cabe aclarar que los términos sismo, terremoto y temblor son sinónimos.

Los sismos naturales

Sismos tectónicos

Se generan por interacción de placas tectónicas. De estos sismos se han definido dos clases: los interplaca, ocasionados por fricción en las zonas de contacto entre las placas, ya descrita, y los intraplaca, que se generan en la parte interna de las placas, aun en zonas donde se ha llegado a suponer un

nivel nulo de sismicidad. Estos terremotos, consecuencia de deformaciones continentales, menos frecuentes que los interplaca, pueden tener profundidades similares a éstos (15-30 km) o mayores, por ejemplo, 60 ó 70 km.

Un tipo particular de sismos intraplaca son los llamados locales, que son producto de deformaciones del material terrestre, debido a concentración de fuerzas en una región limitada.

Sismos volcánicos

Éstos son simultáneos a erupciones volcánicas; principalmente los ocasiona el fracturamiento de rocas debido a movimiento del magma. Aunque puede haber decenas de ellos en un día, no llegan a ser tan grandes como los anteriores.

Sismos de colapso

Se generan por derrumbamiento del techo de cavernas y minas. Generalmente ocurren cerca de la superficie y se sienten en un área reducida.

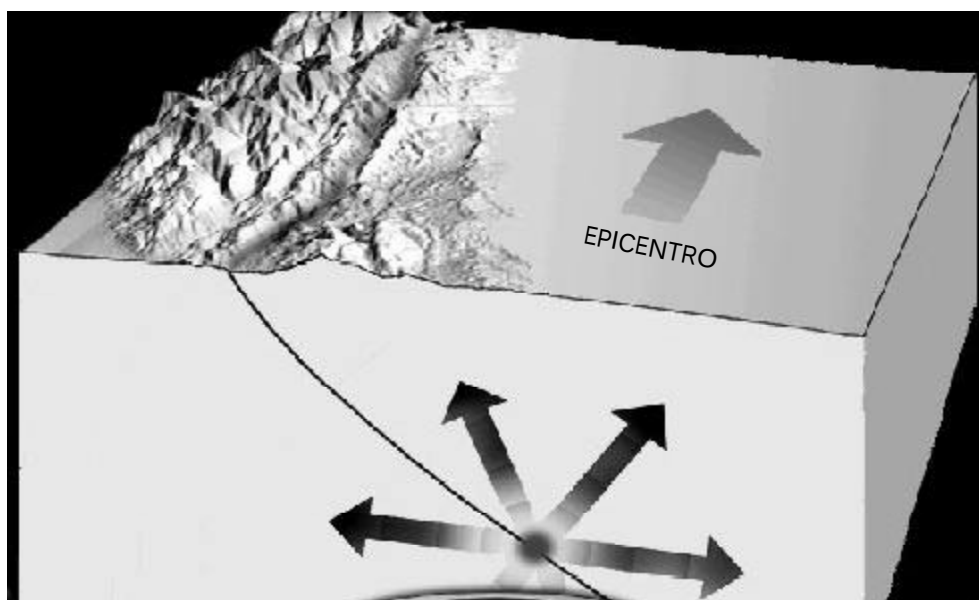


Figura 23. Se ilustra la posición del foco o hipocentro y su proyección sobre la superficie del terreno conocida como epicentro.

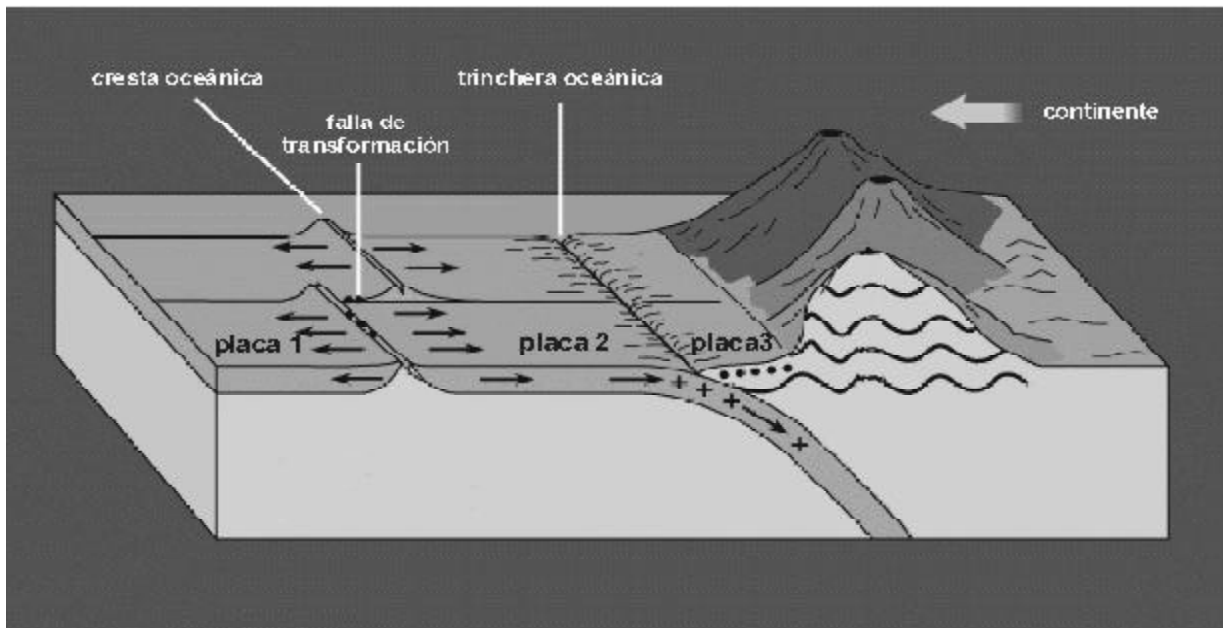


Figura 24. Nuestro territorio está expuesto permanentemente a sismos fuertes debido a que la Placa de Cocos se mueve horizontalmente y se introduce debajo de la Placa Norteamericana ocasionando deformación y concentración de esfuerzos. Se produce un sismo cuando dichos esfuerzos rebasan la resistencia de las rocas y se libera repentinamente la energía acumulada.

Sismos artificiales

Son los producidos por el hombre por medio de explosiones comunes y nucleares, con fines de exploración, investigación, y explotación de bancos de material para la industria (por ejemplo, extracción de minerales). Ocasionalmente las explosiones nucleares son suficientemente grandes de modo que las detectan instrumentos en diversas partes del planeta, pero se sienten sólo en sitios cercanos al lugar de pruebas. La ocurrencia de sismos de gran magnitud y la actividad volcánica no están ligadas con las explosiones nucleares.



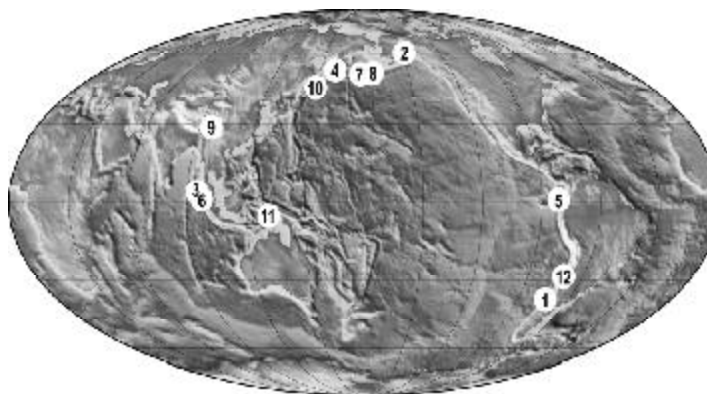
Figura 25. Las explosiones generadas por el hombre se consideran sismos de origen artificial. En este caso, el tamaño, hora de ocurrencia y localización del evento están controlados.



Figura 26. Las explosiones nucleares pueden ser detectadas por los instrumentos de medición en diversas partes del planeta, aunque no están ligadas a la ocurrencia de sismos de gran magnitud.

Maremotos

Los maremotos, también conocidos como tsunamis, son consecuencia de sismos tectónicos bajo el fondo del océano. Debido al movimiento vertical del piso oceánico, el agua se mueve como si un gran remo la empujara. A partir de los alrededores de la fuente del terremoto, las olas provocadas se propagan a través del océano hasta que llegan a la costa. Allí, su altura puede llegar a ser hasta de 30 metros, como sucedió en Japón a finales del siglo XIX.



USGS National Earthquake Information Center

Figura 27. Epicentros de los sismos con mayor magnitud, según tabla 1

El tsunami del 2004 en el Océano Índico

El terremoto del 26 de diciembre del 2004, con magnitud Mw 9.0, y epicentro frente a la costa occidental de Sumatra, Indonesia se encuentra catalogado como el tercero más grande, a escala mundial, a partir de 1900. Lo superan en tamaño el de Chile de 1960 y el de Alaska de 1964 con magnitudes Mw de 9.5 y 9.2, respectivamente (ver tabla 1). Estos sismos también produjeron tsunamis que impactaron amplias regiones costeras del Océano Pacífico. El tsunami de 1960 afectó las costas de Hawaii y Japón, mientras que el de 1964 causó daños en el Golfo de Alaska, Hawaii y las costas occidentales de Canadá y Estados Unidos.

Tabla 1. Sismos con mayor magnitud desde 1900, a nivel mundial

	Lugar	Fecha	Magnitud
1.	Chile	22 de mayo, 1960	9.5
2.	Sonda Prince William, Alaska	28 de marzo, 1964	9.2
3.	Costa occidental, norte de Sumatra	26 de diciembre, 2004	9.0
4.	Kamchatka	04 de noviembre, 1952	9.0
5.	Costa de Ecuador	31 de enero, 1906	8.8
6.	Costa occidental, norte de Sumatra	28 de marzo, 2005	8.7
7.	Islas Rat, Alaska	04 de febrero, 1965	8.7
8.	Islas Andreanof, Alaska	09 de marzo, 1957	8.6
9.	Assam - Tibet	15 de agosto, 1950	8.6
10.	Islas Kuril	13 de octubre, 1963	8.5
11.	Mar de Banda, Indonesia	01 de febrero, 1938	8.5
12.	Frontera Chile - Argentina	11 de noviembre, 1922	8.5

El sismo de diciembre del 2004 se debió a la subducción de las placas de la India y Australiana, con respecto a la microplaca de Burma, donde el desplazamiento entre placas tiene una velocidad relativa promedio de 6 cm por año (fig. 28).

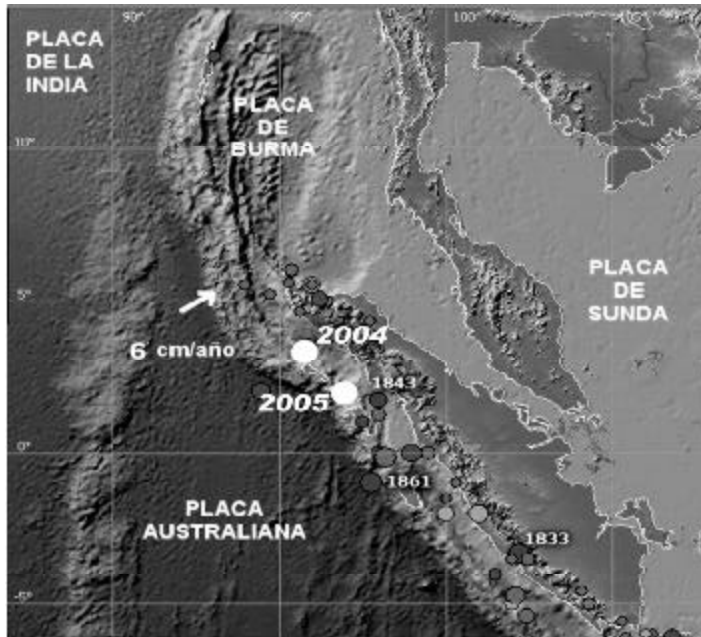


Figura 28. Epicentros de los sismos del 26 de diciembre de 2004 (Mw 9.0) y 28 de marzo de 2005 (Mw 8.7)

La región donde el temblor de Indonesia tuvo su mayor efecto, en términos de intensidades sísmicas, fue en el extremo norte de la isla de Sumatra, donde se asignaron grados IX y VIII de la escala de Mercalli. No obstante la gran magnitud del temblor, el número de inmuebles dañados fue bajo. Algunos edificios de mampostería y estructuras de concreto presentaron colapsos parciales o totales, o bien daño leve en muros o elementos estructurales. En consecuencia el número de víctimas por el sismo, aunque no fue posible determinarlo, fue relativamente bajo en comparación con las producidas por el tsunami.

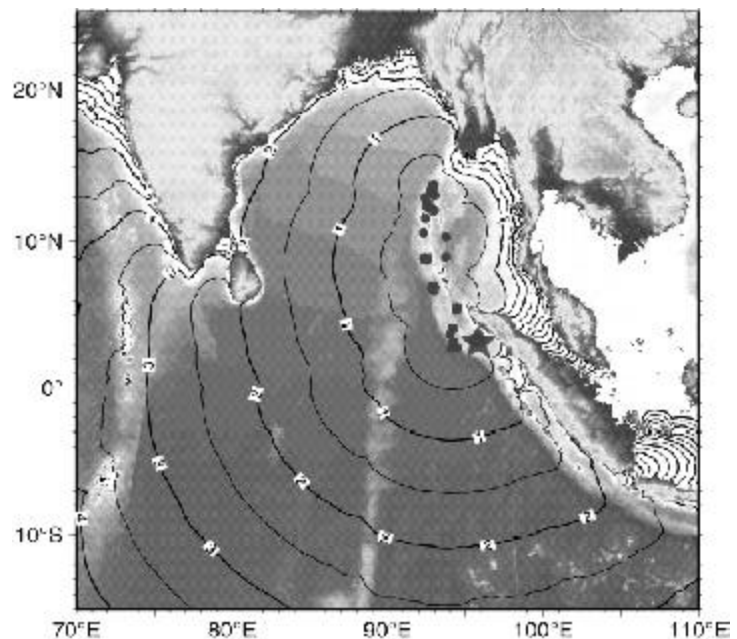


Figura 29. Propagación del tsunami del 26 de diciembre del 2004. Se muestra el epicentro del sismo (estrella) y las principales réplicas (círculos)



Figura 30. Colapso de una estructura de concreto en Banda Aceh, extremo norte de Sumatra, Indonesia

El tsunami del 26 de diciembre del 2004, es el que mayor número de víctimas ha producido (cerca de 300,000), según se tiene conocimiento. Además de los daños por temblor en el norte de Sumatra, esa región fue afectada severamente por el tsunami; en la costa norte se observó una altura promedio de 9 m, mientras que en la costa oeste, se reportan alturas hasta de poco más de 30 m. También se produjeron numerosas víctimas en Sri Lanka, la India y Tailandia y también, aunque en menor proporción, en Somalia, Myanmar, Islas Maldivas, Malasia, Tanzania, Islas Seychelles, Bangladesh y Kenya. Asimismo, causó daños en Madagascar, Islas Mauricio y algunos sitios en la costa occidental de Australia.

El 28 de marzo del 2005, ocurrió otro sismo frente a la costa occidental de Sumatra, con magnitud Mw 8.7 y con epicentro 120 km al sureste del evento del 26 de diciembre. Por su magnitud, está catalogado como el sexto temblor más grande. No obstante que este temblor se originó en la misma región sismogénica y con profundidad similar, el tsunami que produjo, tuvo olas con altura máxima alrededor de 3 m y cuyo impacto fue significativo esencialmente en las islas más cercanas al epicentro.



Figura 31. Daños por tsunami en muros de planta baja, en Banda Aceh

Escalas de intensidad y magnitud

Generalmente, al describir un gran sismo, además de su epicentro se mencionan valores de magnitud e intensidad; estos dos últimos términos aluden a fenómenos distintos y son frecuentemente confundidos.

La intensidad de un sismo se refiere a un lugar determinado; se asigna en función de los efectos causados en el hombre, en sus construcciones y, en general, en el terreno del sitio. Esta medición resulta un tanto subjetiva, debido a que la manera de cuantificación depende de la sensibilidad de cada persona y de la apreciación que se haga de los efectos.



Figura 32. Sala dedicada a Giuseppe Mercalli en el Museo Venusiano, Italia.

En 1883, S. de Rossi y F. Forell propusieron la primera escala de intensidad, con grados de 1 al 10. En 1902, Giuseppe Mercalli propuso otra escala, de doce grados, modificada en 1931 por H. Hood y F. Newmann, para construcciones más modernas. A ésta se le conoce como Escala de Mercalli Modificada, que ahora se utiliza profusamente.

Actualmente, puede tenerse una medición indirecta de la intensidad, de una manera instrumental, a través de valores de aceleración del terreno producto de los acelerógrafos.

Con el objetivo de comparar el tamaño de los terremotos en todo el mundo, se necesita una medida que no dependa, como la intensidad, de la densidad de población ni del tipo de construcción. La manera de evaluar el tamaño real de un

sismo, está relacionada con la cantidad de energía liberada, que es independiente de la ubicación de los instrumentos que los registran.

En 1932, Charles Richter desarrolló una escala estrictamente cuantitativa, aplicable a sismos ocurridos en regiones tanto habitadas como no pobladas, utilizando las amplitudes de las ondas registradas por un sismógrafo. Precisó la escala de magnitud (M), basada en evaluación de numerosos sismos en la costa de California. Hoy el uso de la magnitud ha trascendido estos modestos comienzos. La conveniencia de designar los efectos de un terremoto mediante números (magnitud), ha requerido que el método se amplíe a otros tipos de sismógrafos por todo el mundo. Consecuentemente, hay varias escalas de magnitud. Éstas no tienen límite superior ni inferior; aunque en el extremo superior, el terremoto está limitado por la resistencia de las rocas de la litosfera.

En el siglo pasado, los terremotos de mayor magnitud ocurrieron en Chile, en 1960 ($M = 9.5$), y Alaska, en 1964 ($M = 9.2$).



Figura 33. Giuseppe Mercalli
(Milano 1850-Napoli 1914)



Figura 34. Charles Richter (1900-1985).

En ocasiones, para referirse a un temblor cuya magnitud supera los 7 grados se habla de un macrosismo.

Una diferencia de un grado de magnitud entre dos sismos cualesquiera implica, en términos de energía liberada, una diferencia de 32 veces. Así, un sismo de magnitud 8 equivale, de manera aproximada, en términos de energía liberada, a:

32 sismos de magnitud 7
1000 sismos de magnitud 6
32,000 sismos de magnitud 5
ó 1´000,000 de magnitud 4.

Por tanto, es fácil notar que un sismo de magnitud 4, como los que llegan a ocurrir varias veces por semana a lo largo de la costa occidental de México, no es la mitad de uno de magnitud 8, cuyo periodo de repetición en una determinada región puede ser de varias décadas.

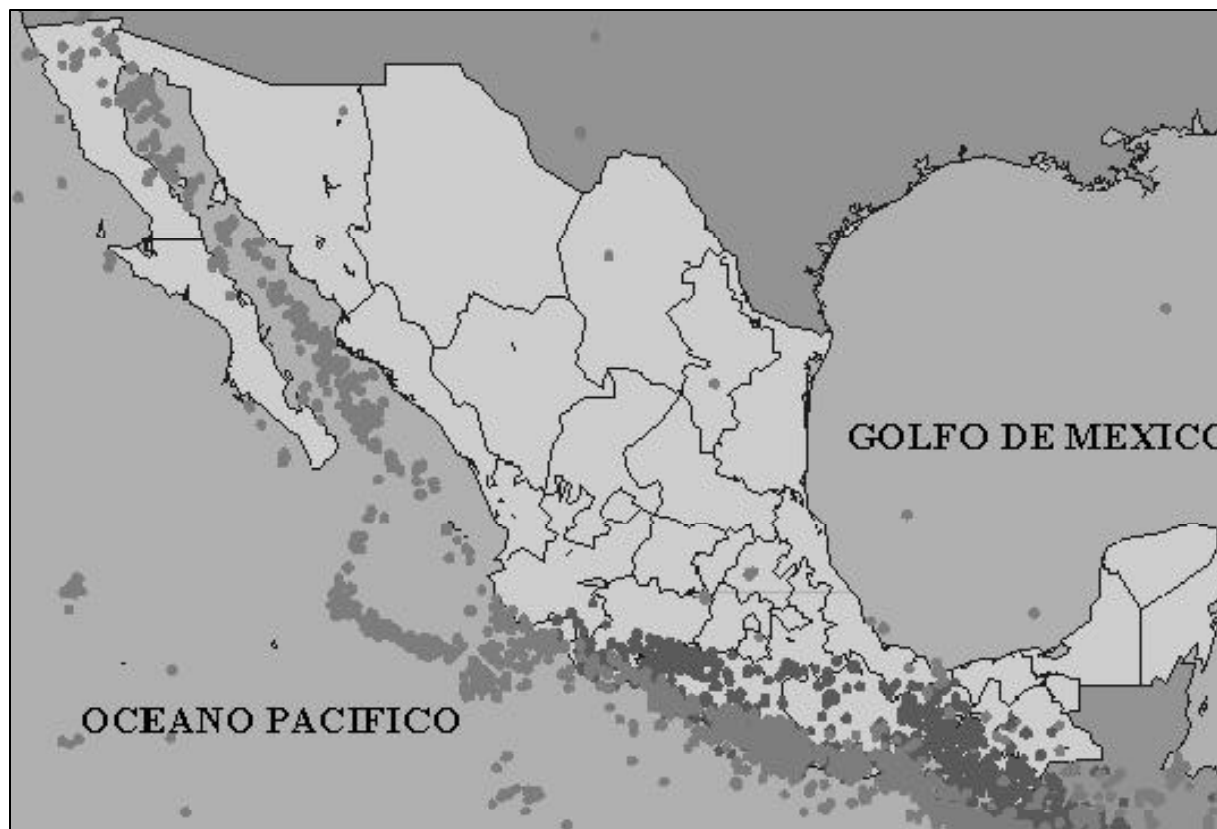


Figura 35. Epicentros de sismos con magnitudes mayores o iguales a 4.5, localizados en la República Mexicana entre 1964 y 1995. Los puntos claros representan sismos superficiales (profundidades menores a 50 Km), mientras que los puntos oscuros representan sismos con profundidades mayores a 50 Km. (Fuente: Servicio Sismológico Nacional, UNAM).

Escala de intensidad Mercalli modificada abreviada

Escala	Descripción
I.	No es sentido, excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables.
II.	Sentido sólo por muy pocas personas en posición de descanso, especialmente en los pisos altos de los edificios. Objetos delicadamente suspendidos pueden oscilar.
III.	Sentido claramente en interiores, especialmente en pisos altos de los edificios, aunque mucha gente no lo reconoce como un terremoto. Automóviles parados pueden balancearse ligeramente. Vibraciones como al paso de un camión. Duración apreciable.
IV.	Durante el día sentido en interiores por muchos; al aire libre por algunos. Por la noche algunos despiertan. Platos, puertas y ventanas agitadas; las paredes crujen. Sensación como si un camión pesado chocara contra el edificio. Automóviles parados se balancean apreciablemente.
V.	Sentido por casi todos, muchos se despiertan. Algunos platos, ventanas, y similares rotos; grietas en el revestimiento en algunos sitios. Objetos inestables volcados. Algunas veces se aprecia balanceo de árboles, postes y otros objetos altos. Los péndulos de los relojes pueden pararse.
VI.	Sentido por todos, muchos se asustan y salen al exterior. Algún mueble pesado se mueve; algunos casos de caída de revestimientos y chimeneas dañadas. Daño leve.
VII.	Todo el mundo corre al exterior. Daños insignificantes en edificios de buen diseño y construcción; leve a moderado en estructuras comunes bien construidas; considerables en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas; se rompen algunas chimeneas. Notado por algunas personas que conducen automóviles.
VIII.	Daño leve en estructuras diseñadas especialmente para resistir sismos; considerable, en edificios comunes bien contruidos, llegando hasta colapso parcial; grande en estructuras de construcción pobre. Los muros de relleno se separan de la estructura. Caída de chimeneas, objetos apilados, postes, monumentos y paredes. Muebles pesados volcados. Eyección de arena y barro en pequeñas cantidades. Cambios en pozos de agua. Cierta dificultad para conducir automóviles.
IX.	Daño considerable en estructuras de diseño especial; estructuras bien diseñadas pierden la vertical; daño mayor en edificios comunes bien contruidos, colapso parcial. Edificios desplazados de los cimientos. Grietas visibles en el terreno. Tuberías subterráneas rotas.
X.	Algunas estructuras bien construidas en madera, destruidas; la mayoría de estructuras de mampostería y marcos, destruidas incluyendo sus cimientos; suelo muy agrietado. Rieles torcidos. Deslizamientos de tierra considerables en las orillas de los ríos y en laderas escarpadas. Movimientos de arena y barro. Agua salpicada y derramada sobre las orillas.
XI.	Pocas o ninguna obra de mampostería quedan en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el suelo. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. La tierra se hunde y el suelo se desliza en terrenos blandos. Rieles muy retorcidos.
XII.	Destrucción total. Se ven ondas sobre la superficie del suelo. Líneas de mira (visuales) y de nivel deformadas. Objetos lanzados al aire.

Zonas sísmicas en el mundo

A finales del siglo XIX y a principios del XX, en varios países, incluido México, se establecieron estaciones sismológicas.

Mediante sismógrafos de diversos tipos se inició el registro instrumental de las ondas sísmicas generadas por terremotos, tanto de origen local como lejano. De manera relativamente precisa, esto permitió determinar la ubicación y la profundidad de los focos sísmicos.

Con el transcurso del tiempo se conformó un mapa bien definido de la distribución geográfica de los sismos. Desde el advenimiento de la sismología moderna a los investigadores les sorprendió que, en un mapa, al representar los focos de los terremotos registrados durante un periodo de tiempo dado, siempre éstos se concentraron a lo largo de franjas relativamente angostas, indicando zonas de alta sismicidad.

A su vez, estas franjas limitan o separan grandes regiones oceánicas y continentales de actividad sísmica escasa o nula.

Como se observa en el mapa de sismicidad mundial (fig. 36), la distribución de los focos sugiere la división de la superficie terrestre en una serie de placas. Esto apoya la teoría de tectónica de placas, ya explicada.

Se observa que la franja de sismicidad más importante se encuentra en la periferia del Océano Pacífico. Comprende Patagonia y Chile en América del Sur, Centroamérica, parte occidental de México, Estados Unidos, Canadá y Alaska, atraviesa las Islas Aleutianas, continúa por la Península de Kamtchatka, Japón, Islas Filipinas y termina en Nueva Zelanda, en el sur. Además, esta zona sísmica se caracteriza por una actividad volcánica intensa. Por esto se le conoce como Cinturón de Fuego del Pacífico, o simplemente Cinturón Circunpácífico.

Es claro que, a escala mundial, la sismicidad se concentra en zonas bien delimitadas. En contraste, grandes regiones de la Tierra están libres de actividad sísmica de gran magnitud o en ellas casi nunca ocurren terremotos. Tal es el caso de Brasil, norte y centro de Canadá, Noruega, Suecia, oeste de África y gran parte de Australia.

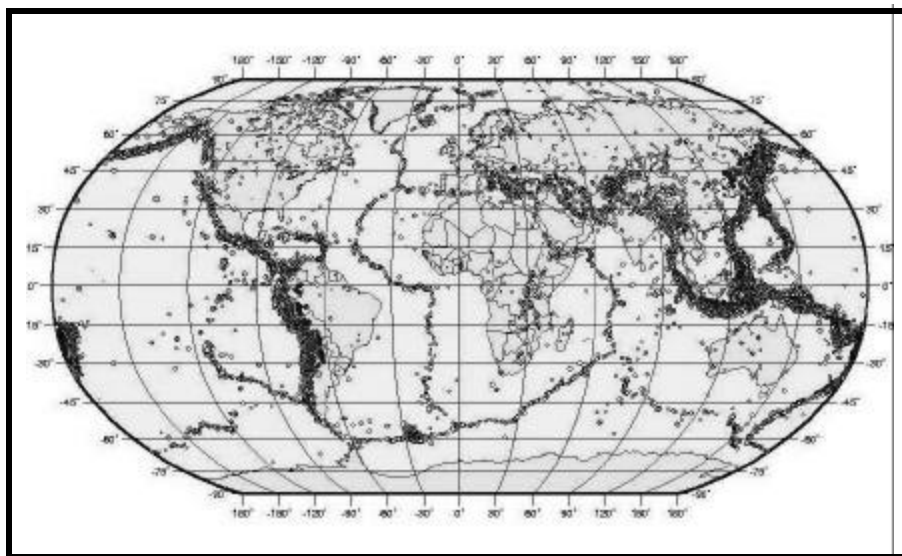


Figura 36. Mapa de la sismicidad mundial

Sismicidad en México

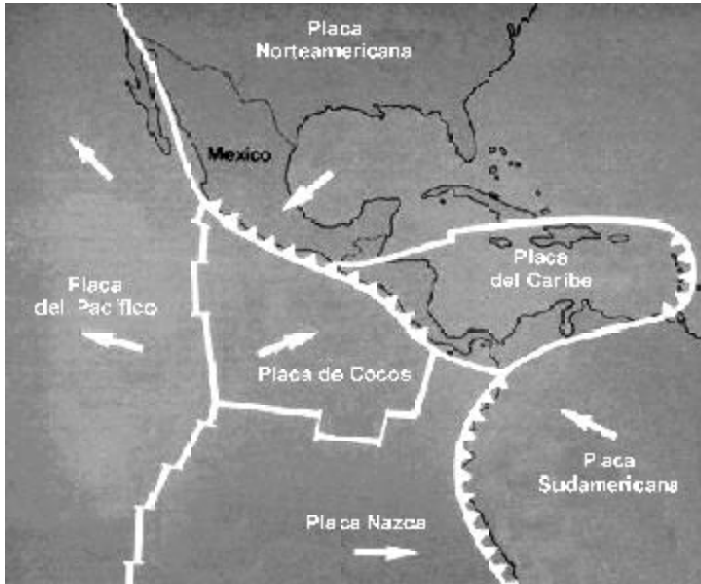


Figura 37. Las flechas indican el movimiento relativo de las principales placas tectónicas asociadas al continente americano

Se puede observar que nuestro país está integrado a una gran zona generadora de sismos, y que seguramente éstos han ocurrido durante millones de años.

Los epicentros de la mayor parte de los terremotos de gran magnitud (mayores de 7, por ejemplo), que ocasionan grandes daños, se ubican en la costa del Pacífico, a lo largo de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Sin embargo, también han ocurrido grandes sismos en el centro y el sur de Veracruz y Puebla, norte y centro de Oaxaca y Chiapas, Estado de México y la península de Baja California, especialmente en la zona fronteriza con los Estados Unidos.

En los estados de Zacatecas, Durango, Sinaloa y Sonora, la sismicidad es más bien escasa; a fines del siglo XIX, en este último estado ocurrió un sismo de magnitud 7.3. En los estados restantes no se han originado movimientos sísmicos de importancia, aunque algunos (por ejemplo Nayarit, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala y Tabasco) llegan a ser afectados por los grandes sismos que se originan en otras regiones.



Figura 38. En contraste con el edificio administrativo derrumbado, la Torre Latinoamericana resistió sin daños este terremoto, al igual que el de 1975. Se trata de una estructura simétrica a base de marcos de acero, perfectamente diseñada para resistir sismos.

Fuente: Terremoto de México '85, Münchener, Rückversicherungs-Gesellschaft, Munich Re

A continuación se listan los sismos de magnitud superior a 7 ocurridos en el país durante los siglos XIX (tabla 2) y XX (tabla 4).

Muy probablemente, la diferencia en número de sismos entre ambas listas se debe a escasez de datos del siglo XIX y no a una disminución real de la sismicidad.



Figura 39. Estacionamiento derrumbado como un castillo de barajas también por falta de rigidez. Ciudad de México 1985

Fuente: Terremoto de México '85, Münchener, Rückversicherungs-Gesellschaft, Munich Re

Tabla 2. Sismos ocurridos en México durante el siglo XIX

Fecha	Región	Magnitud
25 mar. 1806	Costa de Colima-Michoacán	7.5
3 may. 1818	Costa de Colima-Michoacán	7.7
4 may. 1820	Costa de Guerrero	7.6
22 nov. 1837	Jalisco	7.7
9 mar. 1845	Oaxaca	7.5
7 abr. 1845	Costa de Guerrero	7.9
5 may. 1854	Costa de Oaxaca	7.7
19 jun. 1858	Norte de Michoacán	7.7
3 oct. 1864	Puebla-Veracruz	7.3
11 may. 1870	Costa de Oaxaca	7.9
27 mar. 1872	Costa de Oaxaca	7.4
16 mar. 1874	Guerrero	7.3
11 feb. 1875	Jalisco	7.5
9 mar. 1879	Costa de Jalisco-Colima	7.4
17 may. 1879	Puebla	7.0
19 jul. 1882	Guerrero-Oaxaca	7.5
3 may. 1887	Bavispe, Sonora	7.3
29 may. 1878	Guerrero	7.2
6 sep. 1889	Costa de Guerrero	7.0
2 dic. 1890	Costa de Guerrero	7.2
2 nov. 1894	Costa de Oaxaca-Guerrero	7.4
5 jun. 1897	Costa de Oaxaca	7.4
24 ene. 1899	Costa de Guerrero	7.9

Tabla publicada por S.K. Singh et al., 1981



Figura 40. Aquí la columna de apoyo perforó, como un punzón, las losas de hormigón derrumbadas unas sobre otras. Ciudad de México 1985.

Fuente: Terremoto de México '85, Münchener, Rückversicherungs-Gesellschaft, Munich Re

Tabla 3 Resumen de daños por sismos en la República Mexicana (1957-2003)

Sismos 1957 - 2003	Decesos	Población afectada	Afectaciones en edificios o casas	Monto del daño (millones de dólares corrientes)
Sismo en Guerrero y Ciudad de México 1957	160	Sin dato	Sin dato	25
Sismo en Guerrero y Michoacán 1964	45	4,000 personas afectadas	Sin dato	3
Sismo en la Ciudad de México 1979	5	3,750 personas afectadas	Sin dato	30
Sismo en Guerrero y Oaxaca 1985		10,000 personas damnificadas	2,204 viviendas, 20 escuelas, 11 templos y edificios públicos	sin dato
Sismo en la Ciudad de México 1985	6000	30,000 heridos y 150,000 damnificados	3,300 edificios dañados, 36,000 viviendas destruidas y 65,000 viviendas con daños considerables, 50 hospitales, 34% del total de los edificios de la administración pública, el 11.4% del total de la infraestructura educativa y el 8.9% del total de la pequeña industria y comercio	4,103.50
Sismo en Colima 1995	58	35,000 personas damnificadas	3 hoteles, termina de autobuses, edificio de telmex, cinematógrafo, 89 edificaciones, una iglesia, la presidencia municipal de Cihuatlán	sin dato
Sismo en Puebla y Oaxaca 1999	15	2 millones de personas, la mayor parte en Puebla	500 edificios de los siglos XVI y XIX en Puebla, 7,867 viviendas dañadas en Oaxaca, 65 edificios de salud en Puebla, 22 edificios de salud en Oaxaca, 870 escuelas en Puebla, 468 escuelas en Oaxaca, 109 inmuebles históricos dañados en Oaxaca	150.9
Sismo en Oaxaca 1999	35	360,000 personas afectadas	43,200 viviendas afectadas, 2,800 escuelas 270 edificios en la ciudad, 15 unidades de salud y 240 iglesias	149.8
Sismo en Guerrero 2001	0	3,000 personas afectadas	2,600 viviendas afectadas	3.2
Sismo en Colima 2003	21	2,000 personas afectadas	3,757 viviendas, 387 escuelas, 94 inmuebles de la universidad, 134 unidades de salud, afectaciones en edificios históricos, artísticos y religiosos y en varios edificios públicos y en infraestructura urbana de varias localidades	99.8

Fuente: Área de Estudios Económicos y Sociales con base en información de:

CENAPRED, "Serie Impacto Socioeconómico de los Desastres Ocurredos en la República Mexicana" y EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database

Tabla 4. Sismos ocurridos en México durante el siglo XX con magnitud 7.0 o mayor

Fecha	Latitud °N	Longitud °W	Profundidad km	M max	M s	Región
20 ene. 1900	20.00	105.00	33	7.4	7.3	Jalisco
8 dic. 1901	26.00	110.00	S	7.0	7.0	Golfo de California
16 ene. 1902	17.62	99.72	S	7.0	7.0	Guerrero
19 abr. 1902	14.90	91.50	25	7.5	7.4	Guatemala a 70 km de la frontera con México
23 sep. 1902	16.50	92.50	25	7.7	7.7	Chiapas
12 dic. 1902	29.00	114.00	S	7.1	7.0	Baja California
14 ene. 1903	15.00	93.00	S	7.6	7.6	Costa de Chiapas
15 abr. 1907	16.70	99.20	33	7.6	7.6	Costa de Guerrero
16 oct. 1907	28.00	112.50	10	7.1	7.1	Golfo de California
26 mar. 1908	16.70	99.20	33	7.5	7.5	Costa de Guerrero
27 mar. 1908	17.00	101.00	33	7.0	7.0	Costa de Guerrero
30 jul. 1909	16.80	99.90	33	7.2	7.2	Costa de Guerrero
7 jun. 1911	17.50	102.50	33	7.6	7.6	Jalisco
16 dic. 1911	16.90	100.70	50	7.5	7.5	Costa de Guerrero
9 dic. 1912	15.50	93.00	S	7.0	7.0	Costa de Chiapas
30 mar. 1914	17.00	92.00	150	7.2		Chiapas
21 nov. 1915	32.00	115.00	10	7.0	7.0	Baja California Norte
2 jun. 1916	17.50	95.00	150	7.0		Sur de Veracruz
4 feb. 1921	15.00	91.00	120	7.4		
10 dic. 1925	15.50	92.50	S	7.0	7.0	Chiapas
22 mar. 1928	15.67	96.10	33	7.5	7.3	Oaxaca
17 jun. 1928	16.33	96.70	33	7.6	7.6	Oaxaca
4 ago. 1928	16.83	97.61	33	7.4	7.4	Oaxaca
9 oct. 1928	16.30	97.30	33	7.5	7.4	Oaxaca
15 ene. 1931	16.34	96.87	40	7.8	7.6	Oaxaca
3 jun. 1932	19.57	104.42	33	8.2	8.2	Jalisco
18 jun. 1932	19.50	103.50	33	7.8	7.8	Jalisco
30 nov. 1934	19.00	105.31	33	7.0	7.0	Costa de Jalisco
31 dic. 1934	32.00	114.75	S	7.1	7.1	Baja California Norte
14 dic. 1935	14.75	92.50	S	7.3	7.2	Costa de Chiapas
26 jul. 1937	18.45	96.08	85	7.3	7.2	Oaxaca
23 dic. 1937	17.10	98.07	33	7.4	7.3	Oaxaca
19 may. 1940	32.70	115.07	S	7.1	7.1	Baja California Norte
15 abr. 1941	18.85	102.94	33	7.6	7.5	Michoacán
6 ago. 1942	14.80	91.30	50	7.9	7.7	Guatemala a 80 km de la frontera con México
22 feb. 1943	17.60	101.10	33	7.4	7.3	Guerrero

Continúa...

Tabla 4. (continuación). Sismos ocurridos en México durante el siglo XX con magnitud 7.0 o mayor

Fecha	Latitud °N	Longitud °W	Profundidad km	M max	M s	Región
28 jun. 1944	15.00	92.50	S	7.1	7.1	Chiapas
6 ene. 1948	17.00	98.00	80	7.0	7.0	Oaxaca
29 sep. 1950	19.00	107.00	60	7.0	6.6	A 200 km de las costas de Jalisco
23 oct. 1950	14.30	91.80	33	7.2	7.2	Guatemala. A 50 km de la frontera con México
14 dic. 1950	17.22	98.12	33	7.2	7.1	Oaxaca
12 dic. 1951	17.00	94.50	100	7.0	7.0	Oaxaca
29 abr. 1954	28.50	113.00	S	7.0	7.0	Golfo de California
28 jul. 1957	17.11	99.10	33	7.8	7.5	Guerrero
11 may. 1962	17.25	99.58	33	7.2	7.0	Guerrero
19 may. 1962	17.12	99.57	33	7.1	6.9	Guerrero
6 jul. 1964	18.03	100.77	55	7.2	7.2	Guerrero
23 ago. 1965	16.17	95.87	12	7.6	7.6	Oaxaca
23 ago. 1968	16.60	97.80	16	7.3	7.2	Oaxaca
29 abr. 1970	14.46	92.68	44	7.3	7.1	Costa de Chiapas
30 ene. 1973	18.41	103.01	24	7.6	7.3	Costa de Michoacán
28 ago. 1973	18.24	96.55	82	7.3	7.1	Oaxaca - Veracruz
4 feb. 1976	15.26	89.19	13	7.5	7.5	Guatemala. A 150 km de la frontera con México
29 nov. 1978	16.01	96.58	23	7.6	7.6	Oaxaca
14 mar. 1979	17.75	101.26	25	7.4	7.4	Guerrero
24 oct. 1980	218.17	98.22	65	7.1	7.1	Oaxaca - Puebla
26 oct. 1981	18.08	102.06	21	7.3	7.3	Costa de Guerrero
7 jun. 1982	15.51	98.33	19	7.0	7.0	Oaxaca - Guerrero
2 dic. 1983	14.03	91.95	35	7.0	7.0	Guatemala. A 70 km de la frontera con México
19 sep. 1985	18.41	102.46	15	8.1	8.1	Costa de Michoacán
21 sep. 1985	17.82	101.68	17	7.6	7.6	Costa de Michoacán
30 abr. 1986	18.36	103.04	22	7.0	7.0	Costa de Michoacán
10 sep. 1983	14.80	92.68	34	7.2	7.2	Costa de Chiapas
14 sep. 1995	16.75	98.66	21	7.3	7.2	Oaxaca - Guerrero
9 oct. 1995	18.99	104.24	25	8.0	7.3	Colima - Jalisco
21 oct. 1995	16.81	93.47	160	7.1	6.9	Chiapas
25 feb. 1996	15.88	97.98	15	7.1	7.1	Costa de Oaxaca
11 ene. 1997	18.34	102.58	40	7.1	6.9	Michoacán
15 jun. 1999	18.13	97.53	63	7.0	6.5	Puebla
30 sep. 1999	16.01	97.00	42	7.5	7.5	Oaxaca
9 ago. 2000	17.970	102.660	16	7.0	7.0	Costa de Michoacán
22 ene. 2003	18.600	104.220	9.3	7.6	7.6	Costa de Colima

Se presenta para cada evento el valor máximo de magnitud de una de las tres escalas más usadas en la investigación sismológica, mb. (magnitud de ondas superficiales) o Mw (magnitud de momento sísmico), de acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional. Además, se presentan de manera particular las magnitudes Ms para la mayoría de los eventos, en vista de que son las más utilizadas en estimaciones de riesgo sísmico y generalmente reportadas en los medios de difusión como valores de la escala Richter. Debe tomarse en cuenta que pueden encontrarse diferencias menores en localización geográfica, profundidad o valores de magnitud con respecto a otros catálogos, sin que deban interpretarse necesariamente como errores. Los parámetros sísmicos, especialmente aquellos de las primeras décadas, fueron determinados con un número escaso de instrumentos, que aún no contaban con todos los atributos tecnológicos actuales.

S significa superficial, es decir con profundidad menor de 40 km. Las fechas corresponden a tiempo del meridiano de Greenwich (tiempo local + 6 horas; tiempo local + 5 en horario de verano)

Regionalización sísmica

El territorio mexicano está clasificado según el peligro sísmico al que están sujetas las construcciones. Se han delimitado cuatro zonas: A, B, C y D, cuyo peligro es de menor a mayor. Básicamente se determinaron en función de la sismicidad propia de cada región.

A esta clasificación se le conoce como regionalización sísmica y tiene como objetivo principal, junto con manuales de obras civiles, proporcionar a los diseñadores y constructores la información necesaria para el cálculo de valores para diseño de obras, de tal manera que resulten suficientemente seguras y su costo no sea excesivo. Se advierte que esta regionalización es aplicable a estructuras construidas en terreno firme; no se toma en cuenta el fenómeno de amplificación del movimiento sísmico por efecto de suelos blandos. Esto puede ser decisivo para el peligro sísmico de algunos lugares, como la ciudad de México.

Utilizando los datos del censo poblacional del año 2000 y la regionalización sísmica, puede tenerse una estimación del volumen de población más expuesto al fenómeno sísmico.

En las zonas C y D (de mayor peligro), que juntas incluyen 1001 municipios de los 2443 que tiene la República Mexicana, se concentraron para entonces poco más de 24 millones de habitantes.

Si a éstos se agregan los 8.6 millones correspondientes al Distrito Federal, área donde la amplificación del movimiento sísmico en terreno blando implica un nivel de peligro alto, se tiene que cerca de 32.6 millones de un total al 97.4 millones de habitantes (aproximadamente el 33%) están expuestos a un nivel de peligro por sismo alto o severo.

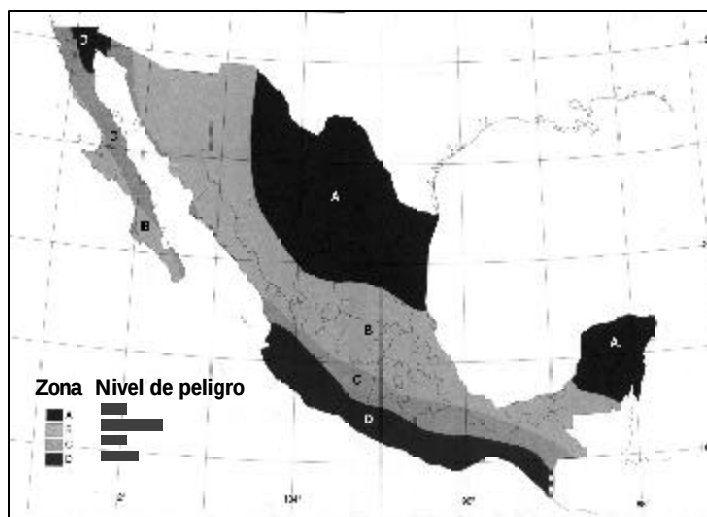


Figura 41. Empleando los registros históricos de grandes sismos en México, los catálogos de sismicidad y datos de aceleración del terreno como consecuencia de sismos de gran magnitud, se ha definido la Regionalización Sísmica de México.

La zona A es aquella donde no se tienen registros históricos, no se han reportado sismos grandes en los últimos 80 años y donde las aceleraciones del terreno se esperan menores al 10% del valor de la gravedad (g).

Las zonas B y C, presentan sismicidad con menor frecuencia o bien, están sujetas a aceleraciones del terreno que no rebasan el 70% de g.

En la zona D han ocurrido con frecuencia grandes temblores y las aceleraciones del terreno que se esperan pueden ser superiores al 70% de g.

(Fuente: Manual de Obras Civiles de la CFE)

Brecha sísmica de Guerrero

Se conoce como brecha sísmica aquel segmento de contacto entre placas tectónicas en el que no se ha producido un temblor de importancia (magnitud mayor que 7 grados) en un lapso relativamente grande, que para México los investigadores han definido como de más de 30 años.

Cuando la brecha sísmica libera su energía (produciendo un temblor), es necesario un nuevo periodo de acumulación de energía, hasta que se rebase la resistencia de las rocas o la fricción entre ellas y se origine en el lugar un nuevo temblor.

Una de las brechas sísmicas que en México pueden generar uno o varios sismos de gran magnitud en un futuro cercano es aquella de la costa de Guerrero. En la comunidad científica existe consenso acerca de que actualmente la zona de mayor potencial sísmico en nuestro país es la Brecha de Guerrero. En su porción noroeste (Zihuatanejo-Acapulco), se originaron grandes sismos en 1899 (M 7.9), 1907 (M 7.6), 1908 (M 7.5, 7.0), 1909 (M 7.2) y 1911 (M 7.5); des-

de entonces no han ocurrido temblores importantes en esa zona. En la porción sureste de esta brecha (desde Acapulco hasta los límites con Oaxaca), no se han verificado eventos de importancia después de los terremotos de 1957 (M7.8), 1962 (M 7.2 ,7.1) y 1989 (M 6.9).

De acuerdo con el tamaño de la brecha, la magnitud del sismo que se puede llegar a presentar puede ser superior a 8.0 grados; no obstante, existe la posibilidad que, en vez de un solo sismo grande, sucedan varios de menor magnitud en un periodo relativamente corto. Es necesario aclarar que no se puede precisar una fecha de ocurrencia del temblor; solamente se definen zonas con mayor probabilidad de ocurrencia.

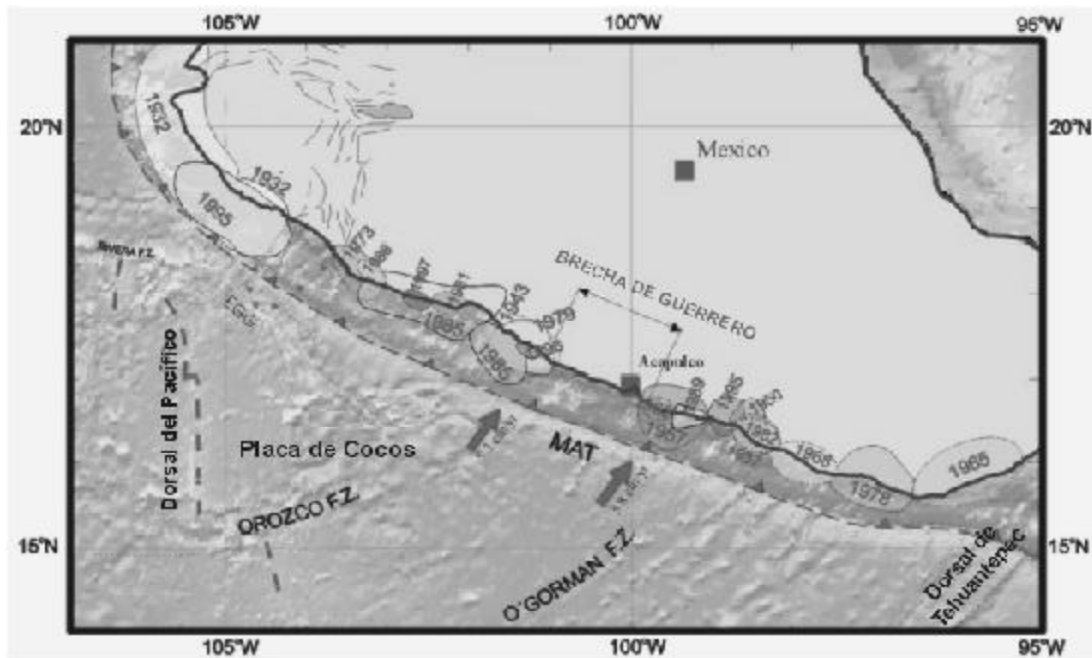


Figura 42. Áreas de ruptura de sismos importantes en México y ubicación de la Brecha Sísmica de Guerrero
(Fuente: Instituto de Geofísica, UNAM)

Instrumentación sísmica

Instrumentos de registro

Para conocer las características de los temblores es necesario registrarlos, de manera que posteriormente se les pueda estudiar, con el fin de precisar su magnitud, localización, la duración del movimiento, sus direcciones principales, etc. Para ello se emplean principalmente sismógrafos y acelerógrafos, que registran el movimiento del terreno al paso de las ondas sísmicas. El principio de operación de ambos equipos es el mismo y consiste de una masa suspendida por un resorte y un amortiguador; este permite a la masa permanecer en reposo con respecto al movimiento del terreno. Si se sujeta a la masa suspendida un lápiz que pueda dibujar en un papel pegado sobre un cilindro que gira a velocidad constante, se obtiene así un registro del movimiento del suelo llamado sismograma o acelerograma, (fig. 44).

El movimiento del terreno se mide usualmente en tres direcciones: vertical, norte-sur y este-oeste.

Los sismógrafos modernos utilizan este mismo principio de operación, sólo que para su implementación utilizan componentes mecánicos y electrónicos para



Figura 43. Sismógrafo moderno

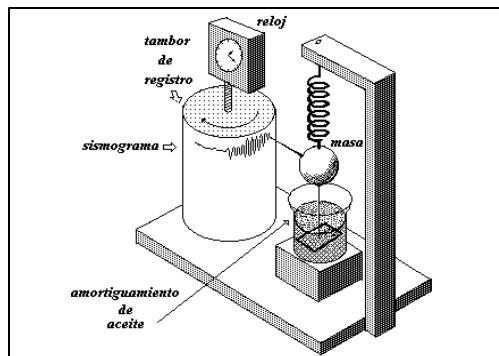


Figura 44. Elementos básicos de un sismógrafo

obtener una señal eléctrica proporcional al movimiento del suelo (velocidad), la cual puede almacenarse en forma local, convertida a un formato digital y/o ser transmitida por algún medio de comunicación (teléfono, radio, satélite, Internet) hasta un centro de registro y evaluación.

El sismógrafo se caracteriza por su alta sensibilidad; es decir, tiene capacidad de ampliar decenas o centenas de miles de veces la velocidad de movimiento del terreno, ya sea a causa de un sismo cercano muy pequeño o de uno grande lejano.

Sin embargo, cuando a corta distancia ocurre un sismo muy fuerte, el sismógrafo no es capaz de registrarlo íntegramente, pues por su gran sensibilidad produce un sismograma saturado. Para registrar estos movimientos fuertes de gran intensidad, se utiliza otro tipo de instrumentos llamados acelerógrafos.

A diferencia de los sismógrafos, independientemente de la magnitud del sismo, una característica de los acelerógrafos es la de registrar la aceleración del terreno, expresada como fracción de la gravedad terrestre. Este instrumento se utiliza fundamentalmente para registrar la intensidad del movimiento producido por un temblor en un sitio determinado. Así, por ejemplo, son utilizados por los ingenieros para medir el comportamiento de edificios, puentes y otras estructuras excitadas por un sismo.

Existen diversas modalidades de registro: tiras de papel, cintas magnéticas analógicas y digitales, y película. Actualmente la mayoría de registradores sísmicos son de tipo digital, que facilitan el procesamiento de la información en computadoras.

Redes de observación sísmica en México

Al conjunto de instrumentos de registro sísmico (sismógrafos y acelerógrafos), distribuidos en determinada zona para analizar la sismicidad, local o regional, se le denomina red de observación sísmica. En México contamos con redes para el registro y análisis de sismos en las principales re-

giones sísmicas del país. También se cuenta con redes para el registro de sismos en torno a algunas presas y en diversos edificios.

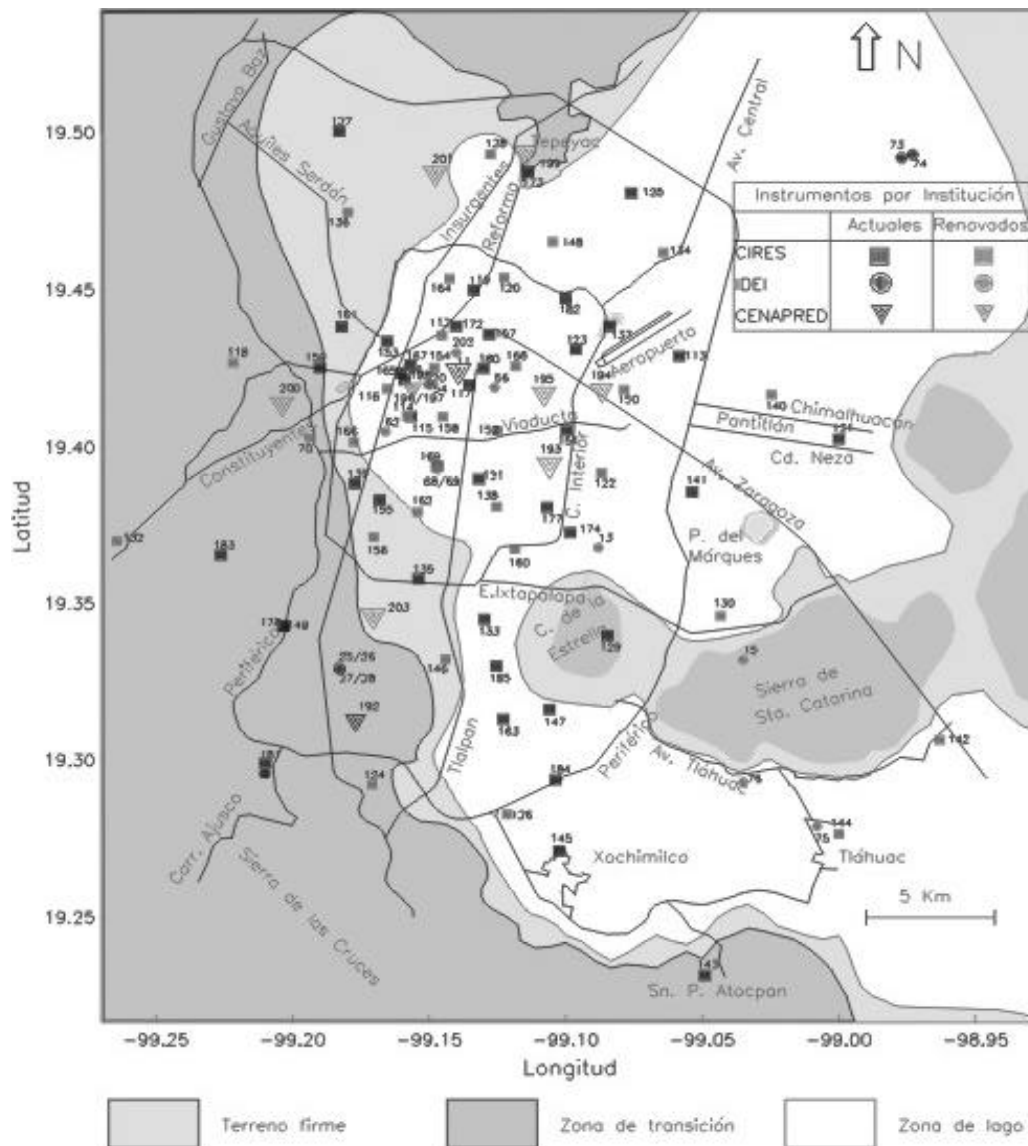


Figura 45. Estaciones de la Red Acelerográfica de la Ciudad de México (CENAPRED, CIRES, Instituto de Ingeniería, UNAM)

Los primeros sismógrafos en México fueron instalados en 1906 por el Servicio Sismológico Nacional (SSN). Actualmente depende de la Universidad Nacional Autónoma de México y cuenta con una red de modernos sismógrafos distribuidos en gran parte del territorio nacional, siendo su principal objetivo el de proporcionar información oportuna sobre la ocurrencia de sismos en el país y determinar su localización (epicentro) y su magnitud.

Existen otras redes sísmicas locales operadas por diversas instituciones y universidades, como la red del Valle de México del Instituto de Geofísica, SISMEC del Instituto de Ingeniería, la Red Sísmica de Colima (RESCO) de la Universidad de Colima, la Red del Noroeste de México (RESNOM) del CICESE, la Red de Puebla de la BUAP, etc.

En relación con las redes acelerográficas en México, también existen numerosas instituciones encargadas de su operación. En 1960 se instalaron en la Ciudad de México los primeros acelerógrafos. En los años posteriores, la red acelerográfica en México creció rápidamente, en particular después de los sismos de 1985.



Figura 46. Estación acelerográfica Zaragoza en la Ciudad de México



Figura 47. Algunas instalaciones, como las presas cuentan con redes locales de observación sísmica



Figura 48. Vista interior de una caseta de registro sísmico

Semanas antes del temblor del 19 de septiembre el Instituto de Ingeniería de la UNAM, conjuntamente con la Universidad de California, E.U.A., instalaron los primeros instrumentos de una importante red de acelerógrafos en la zona de Guerrero: la Red Acelerográfica de Guerrero, con el objetivo de registrar movimientos fuertes del terreno en esa zona, identificada como de alto potencial sísmico. Esta red posteriormente fue expandida con más estaciones hacia Oaxaca, Puebla y Michoacán.

Para el año 2001, la red de acelerógrafos contaba con 547 instrumentos localizados principalmente en la ciudad de México y estados vecinos, a lo largo de la zona de subducción en la costa del Pacífico y el noroeste del país.

Cabe señalar que los instrumentos acelerográficos que registraron en el Distrito Federal los terremotos de los días 19 y 20 de septiembre de 1985 eran diez, todos a cargo del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Con base en estos registros, fue posible adecuar en su momento el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, pues se incorporaron normas de diseño más estrictas que permiten construir estructuras más resistentes a sismos.



Figura 49. El edificio «Lara Sosa» del Instituto Mexicano del Petróleo IMP se instrumentó con 4 acelerógrafos modelo SMAC-MD y sensores en la base y azotea del edificio, así como un sensor de pozo a 80 m de profundidad (CENAPRED)

Sin embargo, puesto que la respuesta sísmica en diferentes zonas de la ciudad de México es variable, principalmente debido a las características del subsuelo, fue necesario extender y distribuir la Red Acelerográfica, en zonas de terreno duro (en el poniente de la ciudad), en áreas de terreno de transición y en zonas donde antiguamente se ubicaban los lagos de Texcoco y de Xochimilco, con suelos arcillosos blandos. Para ello, la Fundación Javier Barros Sierra instaló 40 acelerógrafos y la Fundación ICA otras 30 estaciones acelerógrafos de superficie y 2 acelerógrafos subterráneos.

A finales de 1989, en la ciudad de México, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) inició la instalación de 10 estaciones acelerográficas con sensores de superficie y de pozo profundo enlazadas por radio al Centro de Procesamiento del CENAPRED.

A la fecha (noviembre de 2001), esta red de 108 aparatos de medición en el Valle de México, ha permitido conocer con



Figura 50. Rehabilitación sísmica en un edificio de la Ciudad de México. Para estudiar su comportamiento se instalaron acelerógrafos en sus diferentes niveles (CENAPRED)

mayor precisión la distribución de algunos parámetros de movimientos sísmicos: aceleraciones, velocidades, desplazamientos máximos, y la energía que afecta a las construcciones, y ha aportado datos, que los investigadores utilizan en numerosos estudios.

Adicionalmente, con la participación de diversas instituciones y centros de investigación algunos edificios y puentes del país fueron instrumentados para registrar y estudiar su comportamiento ante sismos de diferentes magnitudes,

Figura 51.

En el puente vehicular y peatonal *Impulsora* se colocaron celdas de carga en pilotes, celdas de presión entre el suelo y la losa de cajón de cimentación, piezómetros en el subsuelo a diferente profundidad, bancos de asentamiento y acelerógrafos en el cajón de cimentación y campo libre

Proyecto conjunto CENAPRED-Instituto de Ingeniería, UNAM



determinar las variaciones de sus propiedades dinámicas, estimar sus posibles pérdidas de rigidez de los elementos estructurales y los efectos de interacción suelo-estructura. Esto con el objetivo de contribuir a mejorar los criterios de análisis, diseño y evaluación estructural. La información derivada de registros sísmicos obtenidos en edificios instrumentados permite a ingenieros e investigadores mejorar las normas de diseño contenidas en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, en cada una de las zonas, de acuerdo con su riesgo sísmico específico.

Con el objetivo de organizar y diseminar toda esta información sobre instrumentación y registros de movimientos fuertes, en 1992 varias instituciones, que operan redes de acelerógrafos y procesan datos, establecieron un acuerdo para comenzar de manera coordinada la creación de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes. En 1999 contaba ya con 13,545 registros triaxiales, digitales de aceleración, generados por más de 1,500 temblores desde 1958.



Figura 53. Base Mexicana de Sismos Fuertes, edición 2000

Además de la red acelerográfica en la ciudad de México, existen redes en diferentes partes del país, principalmente en la zona de subducción a lo largo de las costas del Pacífico, como la Red de Atenuación Acapulco-México del CENAPRED. El Instituto de Ingeniería de la UNAM, opera una red de acelerógrafos en Michoacán, Guerrero y Oaxaca, principalmente. La Red Interuniversitaria de Instrumentación Sísmica (RIIS), la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), la Red del Noroeste de México (RESNOR) del CICESE de Baja California y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) cuentan también con redes locales y regionales.

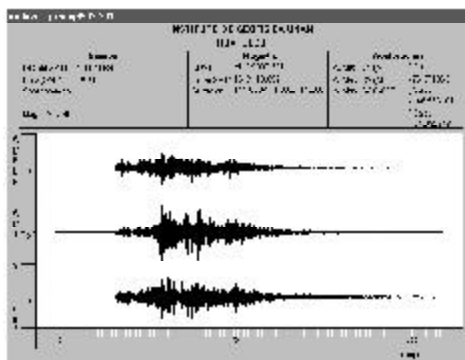


Figura 52. Registro del sismo de Oaxaca del 30 de septiembre de 1999, en la estación Huatulco del SSN, UNAM



Figura 54. Daños a consecuencia del sismo del 30 de septiembre en Oaxaca, México

Sistema de Alerta Sísmica

En la ciudad de México opera desde hace cerca de diez años un Sistema de Alerta Sísmica, desarrollado por el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico de la Fundación Javier Barros Sierra que es prácticamente único en el mundo. Se basa en el hecho de que los sismos que más afectan a la ciudad ocurren a gran distancia de la misma, en la costa del Océano Pacífico, por lo que las ondas que producen la vibración del terreno y los daños, tardan cerca de un minuto en llegar a la ciudad, lo que permite instalar una red de instrumentos a lo largo de la costa, que detecte el sismo en el momento en que ocurre y envíe una señal

de radio a una estación de control en la ciudad de México, que puede disparar una señal de alerta con cerca de 50 segundos de anticipación a que comience la sacudida en la ciudad. El sistema ha sido utilizado en planteles escolares y en algunos edificios públicos, donde se espera que la población desaloje rápida y ordenadamente los edificios y se reúna en las zonas de seguridad al escuchar la señal de alarma.

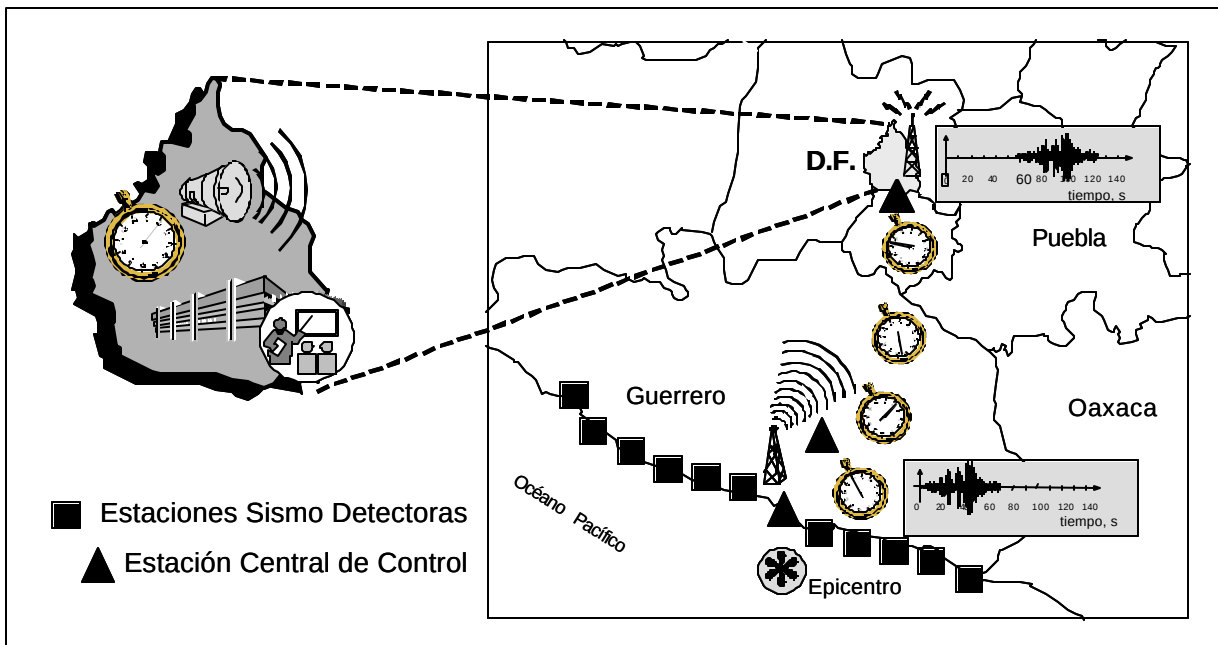


Figura 55. Con el propósito de contribuir en la mitigación de los efectos desastrosos en la ciudad de México que pudiesen producir los sismos fuertes provenientes de la «Brecha de Guerrero», el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES), A.C., creado en 1986, bajo el auspicio de la Fundación Javier Barros Sierra, obtuvo el apoyo económico de las autoridades del Gobierno de la Ciudad de México para diseñar y construir el Sistema de Alerta Sísmica (SAS)



Figura 56. Sistema de Alerta Sísmica. (Fuente: www.cires.org.mx)

Red de observación sísmica del CENAPRED

Esta red consta de 17 estaciones autónomas de registro y un puesto central de recepción y procesamiento de la información, ubicado en las instalaciones del CENAPRED. La red está dividida en dos subredes.

Subred Acapulco-México

Consta de cinco estaciones acelerográficas, uniformemente distribuidas entre Acapulco y México. El propósito fundamental de este sistema es el registro de los temblores en la zona epicentral de Guerrero, y el estudio de las características de propagación de las ondas sísmicas en su trayectoria hacia la ciudad de México.



Figura 57. Estación Cuernavaca

Los instrumentos de medición son acelerógrafos digitales triaxiales de alta resolución, con registro local. Algunos de estos equipos están interconectados con el puesto central de registro en el CENAPRED, vía telefónica. Los equipos están instalados dentro de una caseta metálica y operan continuamente utilizando paneles con celdas solares y baterías, además cuenta con un sistema interno de posicionamiento global (GPS) que permite obtener un registro preciso del tiempo.

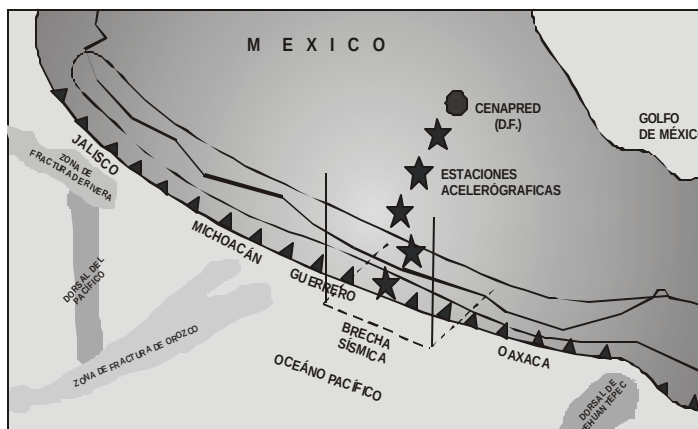


Figura 58. Estaciones acelerográficas de la Subred Acapulco-México

Subred de la Ciudad de México

Esta subred consta de 12 estaciones. La distribución de estaciones de esta subred se hizo con base en la zonificación geotécnica de la ciudad, acorde con el tipo de terreno por estudiar.

Los objetivos principales de este sistema son el estudio de las características de las ondas sísmicas incidentes en el valle de México provenientes de la costa del Pacífico, y el comportamiento de terrenos diversos bajo excitación sísmica.



Figura 59. Estación acelerográfica en el CENAPRED

Por esta razón, en la mayoría de las estaciones se instalaron no sólo acelerómetros en la superficie, sino también sensores triaxiales en pozos profundos a diferentes cotas. Los sensores de pozo menos profundos se localizaron a la mitad del primer estrato blando de arcilla; los sensores más profundos, a la mitad del estrato duro, hasta profundidades de 103 m. Las estaciones están comunicadas al puesto central de registro mediante enlaces de telemetría por radio. El suministro de energía eléctrica se obtiene de la red comercial. Posteriormente, se incorporó a la red un edificio rehabilitado que fue instrumentado con 7 acelerógrafos, así como el puente vehicular *Impulsora*.

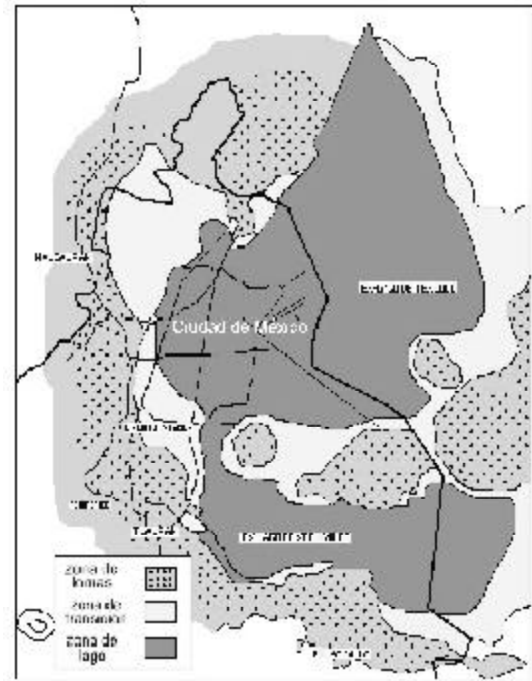


Figura 61. Mapa de zonificación sísmica de la Ciudad de México



Figura 60. Proyecto de instalación de una Red Sísmica Mexicana

Con el apoyo de importantes recursos económicos de la Secretaría de Gobernación, la Coordinación General de Protección Civil, el CENAPRED, la UNAM y el CIRES promueven la modernización y ampliación de los sistemas actuales de observación sísmica y la integración de los mismos en la Red Sísmica Mexicana. Se prevé en breve aumentar las estaciones sismológicas de banda ancha en 9 e instalar y actualizar 120 estaciones acelerográficas y un centro de información compartida.

Conclusiones

En el contexto de la sismicidad mundial México tiene, en buena parte de su territorio, un alto nivel de exposición al peligro sísmico por encontrarse asociado al Cinturón de Fuego del Pacífico, una de las más importantes zonas generadoras de temblores. Particularmente, la mayoría de los sismos mexicanos de gran magnitud tiene su origen relativamente cerca de la superficie (profundidades focales menores de 40 km) y frecuentemente sus epicentros se ubican cerca de áreas densamente pobladas.

Es claro que la ocurrencia de este fenómeno natural, al igual que otros, no se origina por experimentos científicos o nucleares, variaciones climáticas, etc. ni es controlable a través de medios artificiales. Tampoco se cuenta actualmente con un procedimiento confiable para predecir su ocurrencia, indicando con suficiente anticipación la ubicación del epicentro, la magnitud y tiempo de origen.

Se debe considerar que la sismicidad es un proceso propio de la dinámica de nuestro planeta, presente desde épocas remotas, es por ello que debemos seguir estudiándolos y preparándonos mejor para convivir con ellos.

Frecuentemente, los efectos destructivos son consecuencia más que del tamaño del temblor, a el escaso conocimiento de la sismicidad en áreas específicas y de la falta de preparación de la sociedad.

De acuerdo con la experiencia a nivel mundial, la herramienta más útil para

disminuir el riesgo por sismo es la correcta utilización de las normas de construcción sismorresistente. Paralelamente, el desarrollo constante de la cultura de protección civil tendrá como resultado una sociedad orientada hacia la acción preventiva, corresponsable en un sentido amplio y, en consecuencia, menos vulnerable.

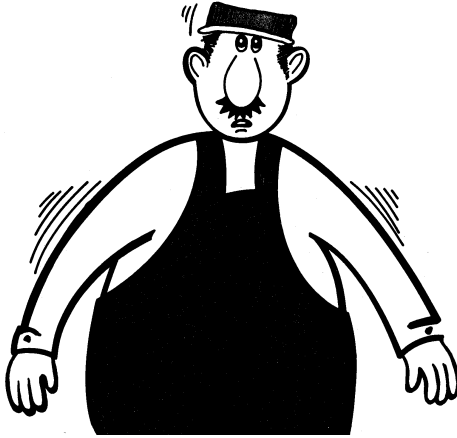
El efecto destructivo de los sismos se deben más a la ignorancia y falta de preparación que a la fuerza propia de la naturaleza.



Figura 62. Colapso del hotel Regis de la Ciudad de México, a consecuencia del terremoto de 1985 (Fuente: Periódico La Jornada.)

Qué hacer antes, durante y después de un sismo

La frecuencia de los sismos en el país, las magnitudes que llegan a tener y la cantidad de asentamientos humanos ubicados en zonas expuestas a estos fenómenos, exigen que se tomen medidas preventivas para reducir sus efectos.



Los accidentes personales más comunes son consecuencia de:

- ◆ Derrumbes parciales de edificios, que provocan caída de muros divisorios, cornisas, marquesinas, falsos plafones y unidades de iluminación.
- ◆ Caída de vidrios rotos de ventanas.
- ◆ Caída de libreros, muebles y otros enseres, en el interior de los inmuebles.
- ◆ Incendios.
- ◆ Caída de cables de energía eléctrica.
- ◆ Actos humanos provocados por el pánico (por ejemplo salir corriendo a la calle, empujar a otros, etc.).

Una persona puede disminuir el riesgo a que están expuestos ella y su familia, aprendiendo qué hacer en caso de sismo.

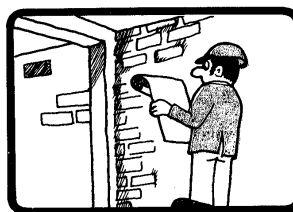
Antes

Cómo prepararse:

Acuda a la unidad de Protección Civil o a las autoridades locales para recibir indicaciones sobre:

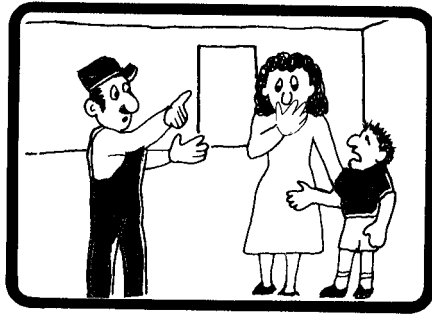
- ◆ Si la zona en la que vive puede ser afectada por movimientos sísmicos intensos.
- ◆ Cuáles son las medidas de protección que debe tomar en su casa o centro de trabajo en caso de sismo.
- ◆ Cómo puede colaborar con las brigadas de auxilio si tiene interés en capacitarse para participar al presentarse esta situación.
- ◆ Cómo identificar y preparar los documentos más importantes y el equipo indispensable en caso de sismo (escrituras de la casa, actas de nacimiento, radio de baterías, linterna, etc.).

Asegúrese de que su casa y lugar de trabajo corran el menor riesgo, siguiendo estas recomendaciones:



- ◆ Solicite el servicio de un ingeniero o, de un arquitecto para detectar las partes más vulnerables de su casa o lugar de trabajo ante un sismo, e identificar los lugares más seguros en los que pueda protegerse.
- ◆ No modifique arbitrariamente muros de carga, columnas o trabes. Puede debilitar la construcción
- ◆ Haga revisar periódicamente y reparar, si es el caso, las instalaciones de gas y electricidad para que siempre se encuentren en buen estado.
- ◆ Prepare, estudie y practique con su familia o con sus compañeros de trabajo, un plan para utilizarlo en caso de sismo.
- ◆ Instruya a todos los miembros de su familia acerca de cómo y dónde se desconectan los suministros de gas y electricidad.
- ◆ Integre un botiquín de primeros auxilios
- ◆ Tenga a la mano los números telefónicos de emergencia de la Cruz Roja, Protección Civil, hospitales, bomberos, policía, etc.
- ◆ Acuerde con sus familiares el domicilio de una persona conocida fuera de la zona donde usted vive, para comunicarse o reunirse ahí, en caso de que llegaran a separarse.
- ◆ Póngase de acuerdo sobre qué hará cada miembro de la familia o cada compañero de trabajo en caso de sismo.
- ◆ Coloque los objetos grandes y pesados en anaqueles o lugares bajos.
- ◆ Fije a la pared cuadros, espejos, roperos, armarios, libreros y estantes. Evite colocar objetos pesados en la parte superior de éstos.
- ◆ Asegure firmemente al techo las lámparas y los candiles.
- ◆ Es conveniente que usted conozca la profesión o actividad laboral de sus vecinos o compañeros de trabajo, por si llegara a necesitar ayuda.
- ◆ Organice simulacros periódicamente, con el objeto de que cada miembro de la familia sepa qué hacer durante el sismo, y solicite a la unidad interna de Protección Civil que también se realicen en su lugar de trabajo.
- ◆ Localice lugares seguros en cada cuarto: bajo mesas sólidas, escritorios resistentes, paredes de soporte o marcos de puertas con trabes. Refuerce esta información haciendo que cada miembro de la familia elija uno de esos lugares para protegerse.
- ◆ Identifique los lugares peligrosos de su vivienda para alejarse de ellos, tales como ventanas cuyos vidrios podrían estrellarse, libreros u otros muebles que puedan caer, bardas inestables o con daño previo, balcones con macetas sin sujetar, etc.
- ◆ Identifique las rutas de evacuación y manténgalas libres.
- ◆ Si visita alguna playa, consulte en su hotel o con las autoridades de Protección Civil locales las recomendaciones en caso de tsunami

Durante



- ◆ Conserve la calma y ubíquese en las zonas de seguridad del lugar en que usted se encuentre al momento del sismo y procure protegerse de la mejor manera posible, permaneciendo donde está. La mayor parte de los heridos en un sismo se ha producido cuando las personas intentaron entrar o salir de las casas o edificios.
- ◆ Párese bajo un marco de puerta con trabe o de espaldas a un muro de carga.
- ◆ Hágase «bolita», abrazándose usted mismo en un rincón; de ser posible, protéjase la cabeza con un cojín o cobertor.
- ◆ Manténgase alejado de ventanas, espejos y artículos de vidrio que puedan quebrarse.
- ◆ Evite estar bajo candiles y otros objetos colgantes.
- ◆ Manténgase retirado de libreros, gabinetes o muebles pesados que podrían caerse o dejar caer su contenido.
- ◆ Retírese de estufas, braseros, cafeteras, radiadores o cualquier utensilio caliente.
- ◆ Si se encuentra en un edificio, permanezca donde esté; no trate de utilizar los elevadores ni las escaleras durante el sismo.
- ◆ Si se encuentra en el exterior, busque ahí un refugio. Asegúrese de estar a salvo de cables, postes, árboles y ramas, escaleras exteriores, edificios con fachadas adornadas, balcones, aleros, chimeneas, macetas y de cualquier otro objeto que pueda caer, especialmente si se encuentra en una zona urbana, así como en zonas de edificios de muchos pisos cuyas ventanas y fachadas pueden esparcir escombros peligrosos sobre las calles.
- ◆ Si se encuentra en su vehículo, maneje serenamente hacia un lugar que quede lejos de puentes o postes de luz y estacionese en un sitio fuera de peligro.
- ◆ En lugares públicos y llenos de gente (cine, teatro, metro, estadio, salón de clases) **no grite, no corra, no empuje; salga serenamente** si la salida no está congestionada; en caso contrario, permanezca en su propio asiento, colocando los brazos sobre la cabeza y bajándola hacia las rodillas.
- ◆ En el caso del Metro o sistema de transporte subterráneo, mantenga la calma y siga las indicaciones del personal de vigilancia. Tome en cuenta que la estructura del sistema de transporte ferroviario ofrece seguridad.
- ◆ De ser posible, cierre las llaves del gas, desconecte la alimentación eléctrica. Evite prender cerillos o cualquier fuente de incendio.
- ◆ Si se encuentra en alguna playa, particularmente del Pacífico, y considera que el temblor es **muy fuerte y prolongado**, existe la posibilidad de que se presente un tsunami. En tal caso, aléjese de la playa o suba a pisos altos de algún edificio. Regularmente, antes de que el tsunami impacte, se observa un retiro del mar.

Después

En caso de haber quedado atrapado, conserve la calma y trate de comunicarse al exterior golpeando con algún objeto.

En caso de permanecer en su casa o lugar de trabajo:

- ◆ Verifique si hay lesionados y, de ser necesario, busque ayuda médica.
- ◆ No utilice los elevadores y sea cauteloso con las escaleras; podrían haberse debilitado con los sismos.
- ◆ Evite pisar o tocar cualquier cable caído o suelto.
- ◆ Efectúe una revisión cuidadosa de los daños; si son graves en elementos verticales (columnas y/o muros de carga), no haga uso del inmueble.
- ◆ No encienda cerillos, velas, aparatos de flama abierta o eléctrica, hasta asegurarse que no haya fugas ni problemas en la instalación eléctrica o de gas.
- ◆ En caso de fuga de gas o agua, repórtelas inmediatamente.
- ◆ Si hay incendios, llame a los bomberos o a las brigadas de auxilio.
- ◆ No consuma alimentos y bebidas que hayan estado en contacto con vidrios rotos, escombros, polvo o algún contaminante.
- ◆ Limpie inmediatamente los líquidos derramados, tales como medicinas, materiales inflamables o tóxicos.
- ◆ Use el teléfono sólo para reportar una emergencia.
- ◆ Encienda la radio para mantenerse informado y recibir orientación.
- ◆ Cuando abra alacenas, estantes o roperos, hágalo cuidadosamente porque le pueden caer objetos encima.
- ◆ No propague rumores ni haga caso de ellos, porque desorientan a la población.
- ◆ Atienda las indicaciones de las autoridades o de las brigadas de auxilio.
- ◆ Efectúe con cuidado una revisión completa de su casa. En caso de duda o daño grave, consulte a un especialista en construcción.

Si es necesario evacuar:

- ◆ Como medida ante cualquier riesgo, empaque previamente, sus documentos personales: actas de nacimiento, matrimonio, escrituras, documentos agrarios, cartillas, CURP, etc., en bolsas de plástico bien cerradas, guardadas en mochilas o morrales que pueda cargar de tal manera que le dejen libres los brazos y las manos.
- ◆ Al salir, hágalo con cuidado y orden; siga las instrucciones de las autoridades o de las brigadas de auxilio.
- ◆ Esté preparado para futuros sismos, también llamados réplicas. Generalmente son más débiles, pero pueden ocasionar daños adicionales.



Glosario

Acelerógrafo. Instrumento para medir aceleraciones del terreno en función del tiempo. Usualmente registra movimientos producidos por temblores fuertes o con epicentros cercanos. Al registro producido se le conoce como acelerograma. Los acelerógrafos también se colocan en el interior de pozos y estructuras para analizar su comportamiento en diferentes niveles de la construcción (cimientos, pisos intermedios, azotea).

Amplitud (de onda). Altura máxima de la cresta o del valle de una onda a partir del valor cero o línea base (aquella que corresponde a nula excitación sísmica).

Ampliación sísmica. Crecimiento de los amplitudes de las ondas sísmicas frecuentemente observado en valles aluviales, asociado al efecto de sitio.

Atenuación. Disminución de la amplitud de las ondas sísmicas a medida que aumenta la distancia a partir de la fuente. Se debe esencialmente a la fricción interna de los materiales terrestres sujetos al paso de las ondas, a la distribución de la energía sísmica en un volumen cada vez mayor, a partir de la fuente, y a refracciones y reflexiones múltiples en diversas capas de la litósfera.

Brecha sísmica. Segmento o área de contacto entre placas, particularmente de tipo de subducción (p.ej. costa occidental de México) o de movimiento lateral (falla de San Andrés), en el que no se ha presentado un sismo de gran magnitud (mayor o igual a 7) en al menos 30 años. Actualmente, la brecha sísmica más importante en México es la correspondiente a la costa de Guerrero, entre Zihuatanejo y Acapulco.

Caída de esfuerzos. Disminución repentina de los esfuerzos presentes en el plano de contacto entre dos placas tectónicas o bloques de una falla cualesquiera, como consecuencia de la ocurrencia de un temblor.

Corteza terrestre. Capa rocosa externa de la Tierra. Su espesor varía entre 10 y 70 km.

Efecto de sitio. Se conoce como efecto de sitio a la respuesta sísmica del terreno con características significativamente distintas en amplitud, duración o contenido de frecuencias de un área relativamente reducida, con respecto al entorno regional. En otras palabras, podría decirse que el efecto de sitio es aquella condición bajo la cual se llegan a observar intensidades sísmicas notablemente distintas y bien localizadas sin que haya una correla-

ción con la atenuación normal de la energía sísmica con la distancia. Un claro ejemplo de lo anterior se tiene en la zona de lago de la ciudad de México.

Enjambre (de terremotos). Serie de terremotos con epicentros en un área relativamente reducida, sin que uno de ellos llegue a tener una magnitud mucho mayor que lo distinga claramente del resto. Puede durar unos cuantos días o hasta varias semanas o meses. Pueden ser sentidos por pobladores cercanos sin que lleguen a representar un nivel alto de peligro.

Epicentro. Punto en la superficie de la Tierra resultado de proyectar sobre ésta el hipocentro de un terremoto. Se encuentran usualmente en un mapa, señalando el lugar justo sobre el origen del movimiento sísmico.

Esfuerzo. Medida de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo. En Física se expresa como fuerza por unidad de área.

Falla. Superficie de ruptura en rocas a lo largo de la cual ha habido movimiento relativo, es decir, un bloque respecto del otro. Se habla particularmente de falla activa cuando en ella se han localizado focos de sismos o bien, se tienen evidencias de que en tiempos históricos han habido desplazamientos. El desplazamiento total puede variar de centímetros a kilómetros dependiendo del tiempo durante el cual la falla se ha mantenido activa (años o hasta miles y millones de años). Usualmente, durante un temblor grande, los desplazamientos típicos son de uno o dos metros.

Foco. Punto de origen del sismo, en el interior de la Tierra. Lugar donde empieza la ruptura que se extiende formando un plano de falla. También nombrado como hipocentro.

Frecuencia (de una onda). Número de ciclos por segundo. Se expresa en unidades llamadas Hertz. La frecuencia es el inverso del periodo.

GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Iniciales correspondientes a *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamiento Global) que, con base en señales recibidas de satélites, permite determinar con gran precisión la ubicación de puntos en la superficie terrestre, diferencias de altura, etc. Utilizando sistemas GPS de alta resolución es posible determinar desplazamientos entre placas tectónicas, estructuras artificiales, etc.

Intensidad (sísmica). Número que se refiere a los efectos de las ondas sísmicas en las construcciones, en el terreno natural y en el comportamiento o actividades del hombre. Los grados de intensidad sísmica, expresados con números romanos del I al XII, correspondientes a diversas localidades se asignan con base en la escala de Mercalli. Contrasta con el término magnitud que se refiere a la energía total liberada por el sismo.

Isosistas. Líneas que separan áreas con distintos grados de intensidad sísmica.

Litosfera. Cubierta rígida de la Tierra. Está constituida por la corteza y la parte superior del manto; su espesor promedio no excede 100 km. Se encuentra dividida en grandes porciones móviles llamadas placas tectónicas.

Kilobar (Kb). Unidad de presión equivalente a 1000 bares o 986.9 atmósferas.

Longitud de onda. Distancia entre dos puntos o fases sucesivos de una onda, por ejemplo crestas o valles.

Magnitud (de un sismo). Valor relacionado con la cantidad de energía liberada por el sismo. Dicho valor no depende, como la intensidad, de la presencia de pobladores que observen y describan los múltiples efectos

del sismo en una localidad dada. Para determinar la magnitud se utilizan, necesariamente, uno o varios registros de sismógrafos y una escala estrictamente cuantitativa, sin límites superior ni inferior. Una de las escalas más conocidas es la de Richter, aunque en la actualidad frecuentemente se utilizan otras como la de ondas superficiales (Ms) o de momento sísmico (Mw).

Manto terrestre. Porción intermedia de la Tierra, cubierta por la corteza y que descansa sobre el núcleo. Su espesor es de unos 2,850 kilómetros; está compuesto por rocas densas y dividido en varias capas concéntricas.

Mapa de intensidades tempranas. Mapa que muestra la distribución geográfica de los efectos de un sismo de magnitud considerable, generado por un sistema automático, poco después de ocurrido el evento. Los efectos pueden estar representados por valores de aceleración del terreno (intensidad instrumental) que permiten identificar las zonas más afectadas y optimizar la respuesta por parte de los cuerpos de auxilio y la atención de la emergencia.

Núcleo terrestre. Parte central de la Tierra rodeada por el manto, compuesta de hierro y silicatos. Con base en el estudio de ondas sísmicas, se descubrió que consta de dos porciones concéntricas: una externa, que se comporta como un fluido, y una interna que es sólida.

Ondas sísmicas. Perturbaciones elásticas de los materiales terrestres. Se pueden clasificar en ondas de cuerpo (P y S) y superficiales (Love y Rayleigh). Las primeras se transmiten en el interior de la tierra, en todas direcciones. Las ondas S no se propagan en medios líquidos. Las ondas superficiales muestran su máxima amplitud en la interfase aire-tierra.

Periodo (de una onda). Intervalo de tiempo entre, por ejemplo, dos crestas o valles sucesivos. El período es el inverso de la frecuencia.

Placas (tectónicas). Porciones de la litósfera terrestre, de grandes dimensiones y espesor no mayor a 100 km, que también se caracterizan por su movilidad debido a fuerzas ejercidas desde el manto terrestre.

Plano de falla. Superficie de contacto entre dos bloques rocosos con movimiento entre sí.

Predicción (de terremotos). Determinación del lugar, fecha y magnitud de un terremoto, junto con los respectivos rangos de error. Hasta ahora no se cuenta con un procedimiento que defina con seguridad estos tres parámetros.

Premonitores. Terremotos de magnitud relativamente reducida que anteceden a un sismo principal o de gran magnitud.

Red Instrumental. Grupo de instrumentos de registro sísmico distribuidos en un área determinada y que funcionan bajo una base de tiempo común. Se habla de una red local cuando ésta cubre un área de pocos kilómetros cuadrados, usualmente para monitorear objetivos específicos (p. ej. presas, zonas con enjambres sísmicos, etc.) Por otra parte, una red regional permite estudiar grandes extensiones territoriales como es el caso de aquella utilizada por el Servicio Sismológico Nacional.

Réplicas. Sismos menores que siguen a uno de magnitud grande o moderada. Se concentran en un volumen restringido de la litósfera y decrecen en tamaño y número a medida que pasa el tiempo.

Riesgo Sísmico. Producto de tres factores: El valor de los bienes expuestos (C), tales como vidas humanas, edificios, carreteras, puertos, tuberías, etc; la vulnerabilidad (V), que es un indicador de la susceptibilidad a sufrir daño, y el peligro (P) que es la probabilidad de que ocurra un sismo en un lugar determinado de cierta intensidad; así $R = C \times V \times P$. El grado de preparación de una sociedad determina la disminución de la vulnerabilidad y, en consecuencia, del riesgo.

Sismo (Terremoto o temblor). Vibraciones de la Tierra ocasionadas por la propagación, en el interior o en la superficie de ésta, de varios tipos de ondas elásticas. La energía que da origen a estas ondas proviene de una fuente sísmica. Comúnmente se habla de que un sismo tiene carácter oscilatorio o trepidatorio. Ambos términos se derivan de la percepción que ciertas personas tienen del movimiento del terreno y no de un parámetro instrumental. El terreno, ante el paso de las ondas sísmicas, no se mueve exclusivamente en dirección horizontal (oscilatorio) o vertical (trepidatorio) sino más bien de una manera compleja por lo que dichos términos no son adecuados para caracterizar el movimiento del terreno.

Sismógrafo. Instrumento de alta sensibilidad para registrar los movimientos del terreno ocasionados por la propagación de las ondas sísmicas. Al registro producido se le conoce como sismograma, necesario para el cálculo de la magnitud (tamaño) de un sismo.

Sensor sísmico. Sistema mecánico o electromecánico, basado en un péndulo suspendido, que es excitado por el paso de las ondas sísmicas. Es utilizado en sismógrafos y acelerógrafos y se les llama sismómetros y acelerómetros, respectivamente.

Sismoscopio. Sismógrafo elemental que sólo deja constancia de un movimiento del terreno, relativamente intenso, sin que el registro tenga marcas de tiempo.

Tectónica de placas. Teoría que explica la dinámica de grandes porciones de la litósfera y su relación con la ocurrencia de sismos, volcanes y deformaciones corticales.

Tsunami (maremoto). Ola con altura y penetración tierra adentro superiores a las ordinarias, generalmente causada por movimientos del suelo oceánico en sentido vertical, asociado a la ocurrencia de un terremoto de gran magnitud con epicentro en una región oceánica.

Tsunamigénico. Se dice de aquel fenómeno, por ejemplo el sísmico, que puede producir un tsunami.

Zonificación sísmica. Clasificación de un territorio en función de diferentes niveles de peligro derivados de la actividad sísmica. La distribución geográfica de las fuentes sísmicas, sus rangos de profundidad y de magnitud así como la frecuencia de ocurrencia determinan esencialmente un cierto nivel de peligro. Una zonificación sísmica es empleada para orientar criterios de construcción sismorresistente, aunque no indica áreas con efectos de sitio. Cuando una clasificación de este tipo se lleva a cabo en un área específica, por ejemplo un valle aluvial o área urbana, se le conoce como microzonificación sísmica. En ese caso sí se tiene una caracterización del efecto de sitio.

Bibliografía

BOLT, Bruce A. Terremotos. Ediciones ORBIS, S.A. 1986.

BULLEN, K. An Introduction to the Theory of Seismology. Cambridge University Press. 1963.

CENAPRED, Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastre en México, 2001, 225 pp.

GUTIERREZ, C., SANTOYO, M., QUAAS, R., ORDAZ M. y SINGH, S. K. Fascículo Sismos, CENAPRED, 3a. Edición, 1997, 24 pp.

Du BOIS S.M. and SMITH, A.W. The 1887 earthquake in San Bernardino Valley, Sonora: Historic Accounts and intensity patterns in Arizona. Special Paper No. 3. The University of Arizona, 1980.

PACHECO, J. And SYKES L. Seismic Moment Catalog of Large Shallow Earthquakes 1900-1989. Bull. Seism. Soc. Am. Vol.82, No. 3, 1992. pp 1306-1349.

RICHTER, C.F. Elementary Seismology. W.H. Freeman and Company. 1958

Servicio Sismológico Nacional UNAM. Catálogo Cien Años de Sismicidad en México. 2000.

Scientific American. Continents Adrift and Continents Aground. W. H. Freeman and Co. 1976.

SINGH, S.K., ASTIZ L. AND HAVSKOV, J. Seismic Gaps and Recurrence Periods of Large Earthquakes Along the Mexican Subduction Zone: A reexamination. Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 71, No. 3, 1981. pp 827-843.

SINGH, S.K. Y ORDAZ, M. Sismicidad y Movimientos Fuertes en México: Una Visión Actual. CENAPRED, 1994.

SOCIEDAD MEXICANA DE INGENIERIA SISMICA, Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes, 1996, 211 pp.

TURCOTTE D. AND SCHUBERT G. Geodynamics. Application of Continuum Physics to Geological Problems. John Wiley & Sons. 1992.

SERIE Fascículos

No.	Título
1	La Prevención de Desastres y la Protección Civil en México
2	Sismos
3	Inundaciones
4	Volcanes
5	Huracanes
6	Riesgos Químicos
7	Incendios
8	Erosión
9	Residuos Peligrosos
10	Incendios Forestales
11	Inestabilidad de Laderas
12	Tsunamis
13	Heladas
14	Sequías

"Fascículo Sismos"

Se terminó de imprimir en XXXXXXXXXX.

XX

La edición en papel bond de 90 grs. en interiores y portada en cartulina sulfatada de 14 puntos, consta de XXXXXXXX ejemplares.



Secretaría de Gobernación
Coordinación General de Protección Civil
Centro Nacional de Prevención de Desastres
Dirección General de Protección Civil
Dirección General del Fondo de Desastres Naturales

Av. Delfín Madrigal No. 665,
Col. Pedregal de Sto. Domingo,
Del. Coyoacán
México D.F., C.P. 04360

www.cenapred.unam.mx