

Una revisión general acerca de las características y consecuencias de grandes sismos en México

Lenin Ávila Barrientos

CONACyT - CICESE Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California

División de Ciencias de la Tierra, Departamento de Sismología

Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918, Zona Playitas C.P. 22860 Ensenada, Baja California, México.

lenavila@cicese.mx

Resumen

Un sismo es uno de los fenómenos naturales más destructivos. Los sismos causan daños en las estructuras y colapsos en la infraestructura urbana. También pueden modificar el relieve natural. En México, a causa de la interacción de las placas tectónicas, han ocurrido sismos de magnitud considerable que han provocado daños severos en varias ciudades, no tan solo en aquellas ubicadas cerca de la trinchera Mesoamericana, sino también en ciudades localizadas en la porción noroeste del país. Entre 1568 y 2021 han ocurrido más de 100 eventos de $M \geq 7.0$; cinco de ellos han sido de magnitud mayor o igual a 8.0. El más recordado es el ocurrido en septiembre de 1985, el cual representa una de las mayores catástrofes asociadas con fenómenos naturales en el país. Por lo anterior la elaboración de planes de mitigación es necesaria, con lo que la sociedad estará preparada para enfrentar los efectos de este fenómeno natural.

Palabras Claves: sismos en México, revisión, características.

Introducción

De los fenómenos naturales, los temblores de Tierra o sismos son de los más destructivos. pueden causar daño o colapso de estructuras (puentes, casas, edificios, etc.) y pérdida de vidas humanas en cuestión de minutos (Nava, 1987), e. g. México en 1985, Sumatra en 2004, Haití en 2010, Japón en 2011. México está ubicado en una de las zonas tectónicamente más activas del planeta. Aquí se han registrado cinco grandes sismos (con magnitud ≥ 8.0) que han causado destrucción de estructuras y pérdida de vidas, particularmente en aquellos estados situados cerca de la trinchera Mesoamericana, donde ocurre la convergencia entre las placas de Cocos y Norteamericana (Sánchez y Farreras, 1993; Corona y Ramírez-Herrera, 2012; Beck y Hall, 1986).

Ciudades con ciertas condiciones geológicas o tipo de suelo, como la Cd. de México, han sido severamente afectadas por grandes sismos. El de septiembre de 1985 dejó un saldo de 1,000

edificios destruidos y 300,000 familias perdieron sus hogares (Beck y Hall, 1986; Servicio Sismológico Nacional, 2017b).

En este trabajo se presenta una revisión de los grandes sismos ocurridos en México entre 1568 y 2021.

Tectónica de México

La mayor parte de la actividad sísmica en México se concentra en la margen occidental del continente. Esto se debe a la interacción de la placa Norteamericana con la placa del Pacífico en el noroeste y a la subducción de las placas Rivera y Cocos por debajo de la Norteamericana en el sur (Figura 1).

En la trinchera Mesoamericana, la placa subducida (Cocos) muestra cambios laterales en el ángulo de subducción, variando de una subducción sub-horizontal por debajo de México central a una pendiente inclinada hacia Chiapas (Suárez et al., 1990; Pardo y Suárez, 1995). La placa Rivera, en su parte norte, no muestra

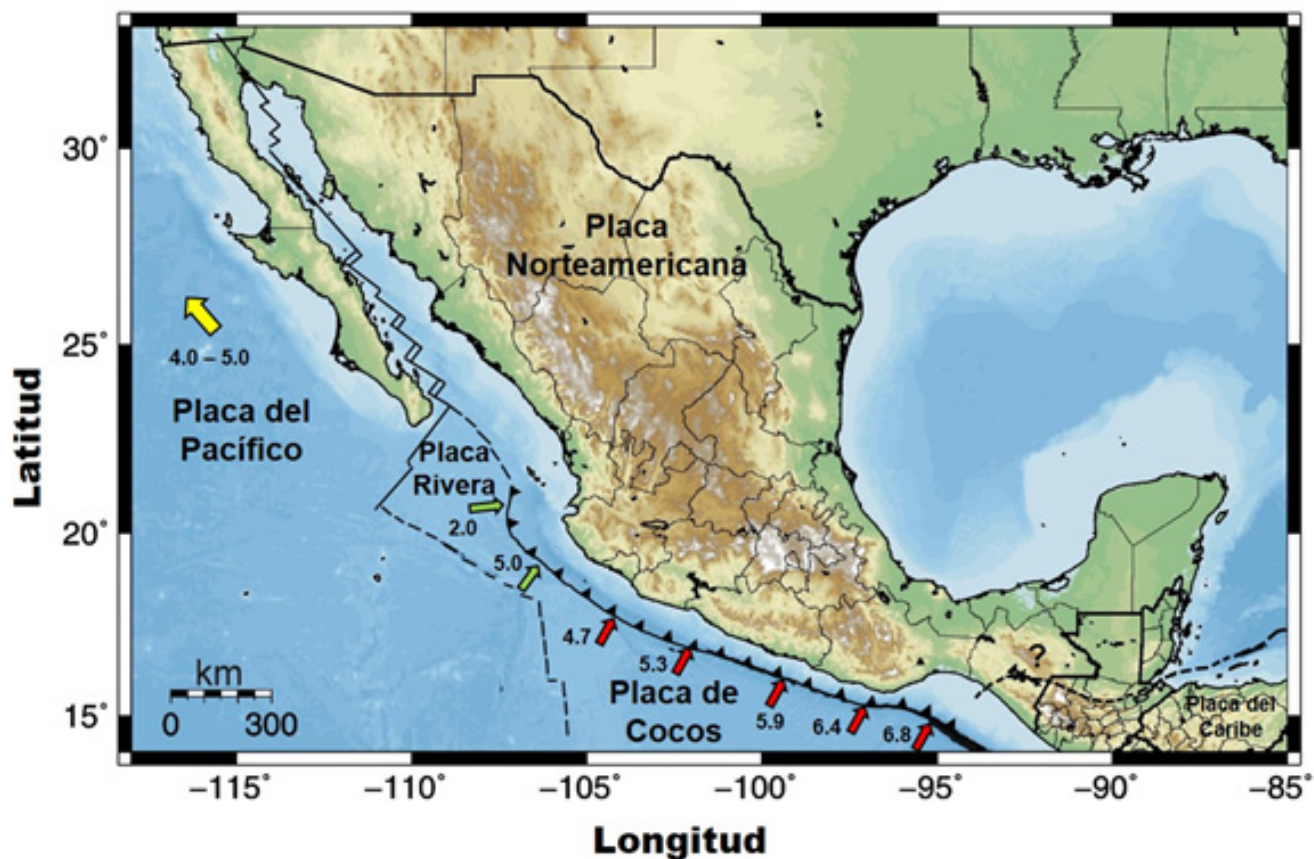


Figura 1. - Placas tectónicas que interactúan en México. Las flechas rojas indican la dirección de movimiento de la placa de Cocos. Las flechas verdes indican el movimiento de la placa Rivera. La flecha amarilla indica el movimiento de la placa del Pacífico. Los números indican la velocidad en cm/año (Modificada de Ávila-Barrientos y Nava, 2020).

evidencia de subducción, a diferencia de su parte sur (límite con la placa de Cocos) donde se observa claramente la subducción de la placa Rivera por debajo de la placa Norteamericana (Dañobeitia et al., 2016), comienza con inclinación de 8 grados en el norte, alcanzando un ángulo más inclinado en la parte sur de alrededor de 34 grados (Nuñez-Cornú et al., 2016; Gutiérrez et al., 2015). La velocidad de convergencia de las placas también muestra variación. La placa Rivera tiene una velocidad de alrededor de 2 cm/año en su parte norte y alrededor de 5 cm/año en la parte sur (Kostoglodov y Bandy, 1995), mientras que la velocidad de la placa de Cocos en su lado oeste presenta una velocidad de 4 a 5 cm/año y hacia al este una velocidad de alrededor de 6 a 7 cm/año (Pardo y Suárez, 1995).

Por otra parte, en el Noroeste de la República Mexicana, la interacción entre las placas del Pacífico y Norteamericana (Figura 17), se caracteriza por un movimiento lateral-divergente. En esta zona han ocurrido eventos con magnitudes superiores a 7 pero menores a 8. Aún con esto, han sido eventos que han afectado a la población, causando daños severos en la infraestructura urbana.

Sismos de México

México es un país propenso a la ocurrencia de grandes sismos. Muchos esfuerzos por parte de historiadores, arqueólogos y sismólogos se han enfocado en compilar los datos históricos de los grandes sismos. Esta es una tarea complicada,

ya que la magnitud y localización de los eventos se basa en las interpretaciones de los daños causados por sismos de tiempos pasados, cuando había poca población. Es por esto que la magnitud y la localización de los eventos históricos pueden ser inciertas (Singh y Ordaz, 1990). Sin embargo, García y Suárez (1996) lograron realizar una recopilación de eventos sísmicos ocurridos en México desde la época prehispánica hasta principios del siglo XX.

Se cuenta con evidencia de que, desde el año 1500 hasta el 2021, en México han ocurrido más de 100 sismos con magnitud mayor o igual a 7.0 (Singh et al., 1981; García y Suárez, 1996; Kostoglodov y Pacheco, 1999). Algunos de estos eventos han afectado ciudades importantes, en la época prehispánica, colonial y en el México moderno (ciudades de México, Oaxaca, Acapulco, Puebla, entre otras). Derivada de la información de varias fuentes, la Tabla 1 muestra una recopilación de eventos ocurridos en México con magnitudes mayores o igual 7.0, desde el año 1568 hasta el 2021. En la Figura 2 se puede ver la distribución de los mismos en el país, mientras que la Figura 3 muestra la distribución de ocurrencia de los sismos por mes del año; se puede observar que no hay una tendencia preferente de ocurrencia por mes.

Los grandes sismos de México

A continuación, se hace una descripción de los daños más significativos de los cinco grandes terremotos ($M \geq 8.0$) que han afectado a México, desde el de magnitud 8.6 de 1787 hasta el de 8.0 de 1995. Algunos de estos daños se han debido a los efectos de sitio en las poblaciones. 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. Podría decirse que es aquella condición bajo la cual se llegan a observar intensidades sísmicas notablemente distintas y bien localizadas (Gutiérrez, 1999).

Tabla 1. Sismos con $M \geq 7.0$ ocurridos en México (Singh et al., 1981; Kostoglodov y Pacheco, 1999; <http://www.isc.ac.uk/iscgem>; <http://www.ssn.unam.mx>; <http://resnom.cicese.mx>).

No. evento	Longitud	Latitud	Día	Mes	Año	Magnitud
1	-103.5000	20.2000	27	12	1568	7.10
2	-92.5000	16.0000	14	3	1591	7.00
3	-97.6400	17.8200	31	8	1611	7.40
4	-99.0000	16.5000	7	2	1697	7.50
5	-92.7500	16.7500	30	5	1743	7.80
6	-100.0000	16.8000	1	9	1754	7.80
7	-100.0000	16.8000	21	4	1776	7.70
8	-97.0000	16.0000	28	3	1787	8.60
9	-103.8000	18.9000	25	3	1806	7.50
10	-103.6000	19.1000	31	5	1818	7.70
11	-99.6000	17.2000	4	5	1820	7.60
12	-105.0000	20.0000	22	11	1837	7.70
13	-99.2000	16.6000	7	4	1845	7.90
14	-97.0000	16.6000	9	3	1845	7.50
15	-97.6000	16.3000	5	5	1854	7.70
16	-101.6000	19.6000	19	6	1858	7.50
17	-97.4000	18.7000	3	10	1864	7.30
18	-96.7000	15.8000	11	5	1870	7.90
19	-96.6000	15.7000	27	3	1872	7.40
20	-99.1000	17.7000	16	3	1874	7.30
21	-104.6000	19.4000	9	3	1875	7.40
22	-103.8000	21.0000	11	2	1875	7.50
23	-98.0000	18.6000	17	5	1879	7.00
24	-98.2000	17.7000	19	7	1882	7.50
25	-109.2000	31.0000	3	5	1887	7.30
26	-99.8000	17.2000	29	5	1887	7.20
27	-99.7000	17.0000	6	9	1889	7.00
28	-98.6000	16.7000	2	12	1890	7.20
29	-98.0000	16.5000	2	11	1894	7.40
30	-95.4000	16.3000	5	6	1897	7.40
31	-100.5000	17.1000	24	1	1899	7.90
32	-105.0000	20.0000	20	1	1900	7.40
33	-110.0000	26.0000	9	12	1901	7.00

No. evento	Longitud	Latitud	Día	Mes	Año	Magnitud
34	-114.0000	29.0000	12	12	1902	7.10
35	-99.7200	17.6200	16	1	1902	7.00
36	-92.5000	16.5000	23	9	1902	7.70
37	-93.0000	15.0000	14	1	1903	7.60
38	-113.0000	17.0000	17	12	1905	7.10
39	-110.0000	20.0000	10	4	1906	7.10
40	-112.5000	28.0000	16	10	1907	7.10
41	-99.2000	16.7000	15	4	1907	7.60
42	-101.0000	17.0000	27	3	1908	7.00
43	-99.2000	16.7000	26	3	1908	7.50
44	-99.9000	16.8000	30	7	1909	7.20
45	-102.5000	17.5000	7	6	1911	7.60
46	-100.7000	16.9000	16	12	1911	7.50
47	-93.0000	15.5000	9	12	1912	7.00
48	-92.0000	17.0000	30	3	1914	7.20
49	-115.0000	32.0000	21	11	1915	7.00
50	-95.0000	17.5000	2	6	1916	7.00
51	-107.0000	18.0000	16	11	1925	7.00
52	-92.5000	15.5000	10	12	1925	7.00
53	-97.6100	16.8300	4	8	1928	7.40
54	-97.3000	16.3000	9	10	1928	7.50
55	-96.7000	16.3300	17	6	1928	7.60
56	-96.1000	15.6700	22	3	1928	7.50
57	-96.8700	16.3400	15	1	1931	7.80
58	-104.4200	19.5700	3	6	1932	8.20
59	-103.5000	19.5000	18	6	1932	7.80
60	-114.7500	32.0000	31	12	1934	7.10
61	-105.3100	19.0000	30	11	1934	7.00
62	-92.5000	14.7500	14	12	1935	7.30
63	-98.0700	17.1000	23	12	1937	7.40
64	-96.0800	18.4500	26	7	1937	7.30
65	-115.5000	32.7000	19	5	1940	7.10
66	-102.9400	18.8500	15	4	1941	7.60
67	-101.1000	17.6000	22	2	1943	7.40
68	-92.5000	15.0000	28	6	1944	7.10
69	-98.0000	17.0000	6	1	1948	7.00
70	-107.0000	19.0000	29	9	1950	7.00
71	-98.1200	17.2200	14	12	1950	7.20

No. evento	Longitud	Latitud	Día	Mes	Año	Magnitud
72	-94.5000	17.0000	12	12	1951	7.00
73	-113.0000	28.5000	29	4	1954	7.00
74	-99.1000	17.1100	28	7	1957	7.80
75	-99.5800	17.2500	11	5	1962	7.10
76	-99.5700	17.1200	19	5	1962	7.00
77	-100.7700	18.0300	6	7	1964	7.20
78	-95.8770	16.1780	23	8	1965	7.40
79	-97.8000	16.6000	2	8	1968	7.30
80	-92.6830	14.4630	29	4	1970	7.30
81	-103.0190	18.4120	30	1	1973	7.60
82	-96.5510	18.2480	28	8	1973	7.30
83	-96.5860	16.0130	29	11	1978	7.60
84	-101.2630	17.7500	14	3	1979	7.40
85	-98.2220	18.1740	24	10	1980	7.10
86	-102.0610	18.0880	25	10	1981	7.30
87	-98.3390	16.5160	7	6	1982	7.00
88	-102.4680	18.4190	19	9	1985	8.10
89	-101.6810	17.8280	21	9	1985	7.60
90	-103.0450	18.3610	30	4	1986	7.00
91	-92.6870	14.8000	10	9	1993	7.20
92	-104.2450	18.9930	9	10	1995	8.00
93	-98.6670	16.7520	14	9	1995	7.30
94	-93.4740	16.8110	21	10	1995	7.10
95	-97.9800	15.8800	25	2	1996	7.10
96	-102.5800	18.3400	11	1	1997	7.10
97	-97.5390	18.1330	15	6	1999	7.00
98	-97.0040	16.0560	30	9	1999	7.40
99	-102.6600	17.9900	9	8	2000	7.00
100	-104.2200	18.6000	22	1	2003	7.60
101	-115.3390	32.2780	4	4	2010	7.10
102	-98.457	16.264	20	3	2012	7.50
103	-92.3155	14.0272	11	7	2012	7.30
104	-101.4597	17.0110	18	4	2014	7.20
105	-94.1100	14.8500	7	9	2017	8.20
106	-98.7200	18.4000	19	9	2017	7.10
107	-98.0300	16.2500	16	2	2018	7.20
108	-96.1337	15.8033	23	6	2020	7.40
109	-99.93	16.78	7	9	2021	7.10

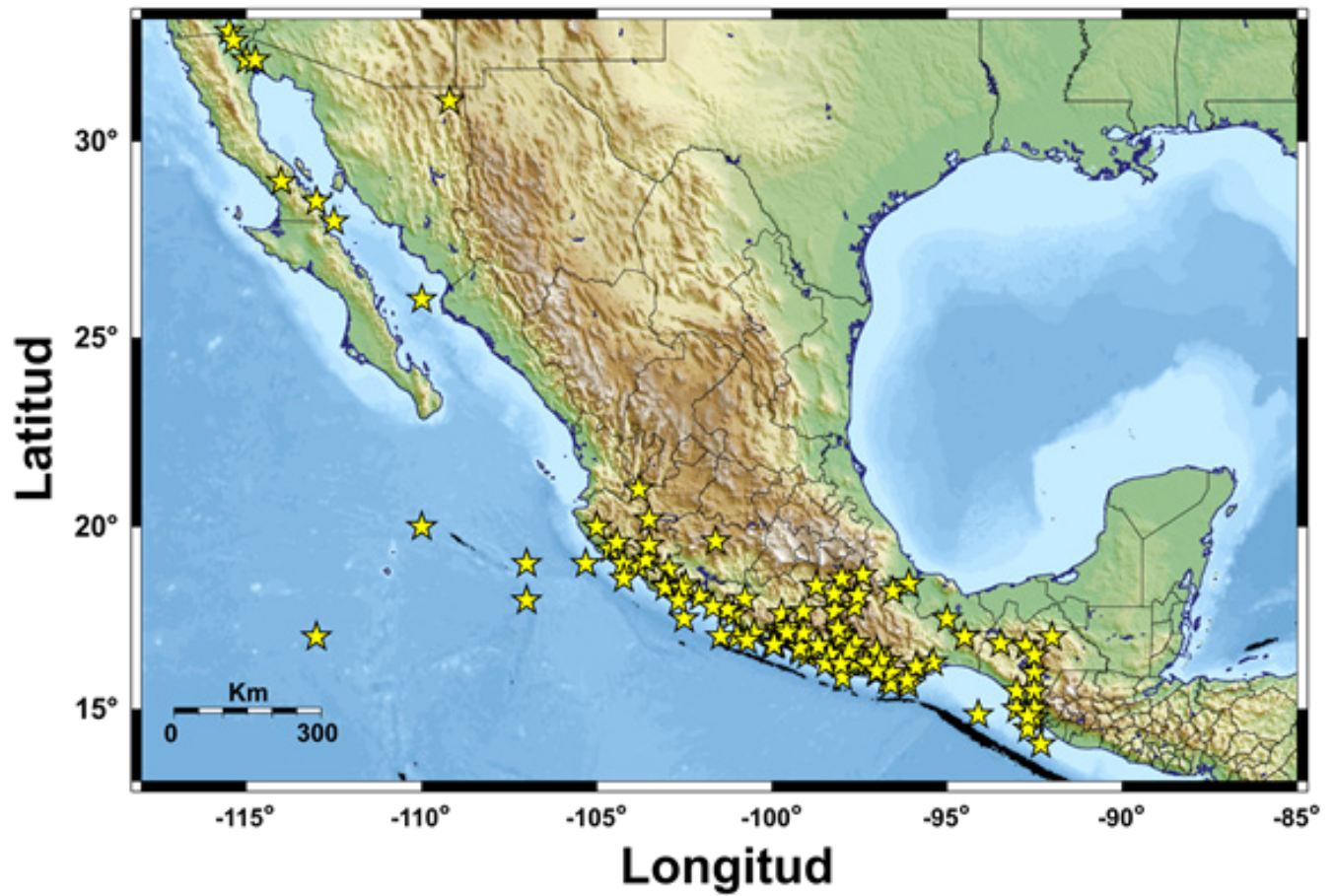


Figura 2. Distribución de los sismos con magnitud mayor o igual a 7.0 ocurridos en México mostrados en la Tabla 1.

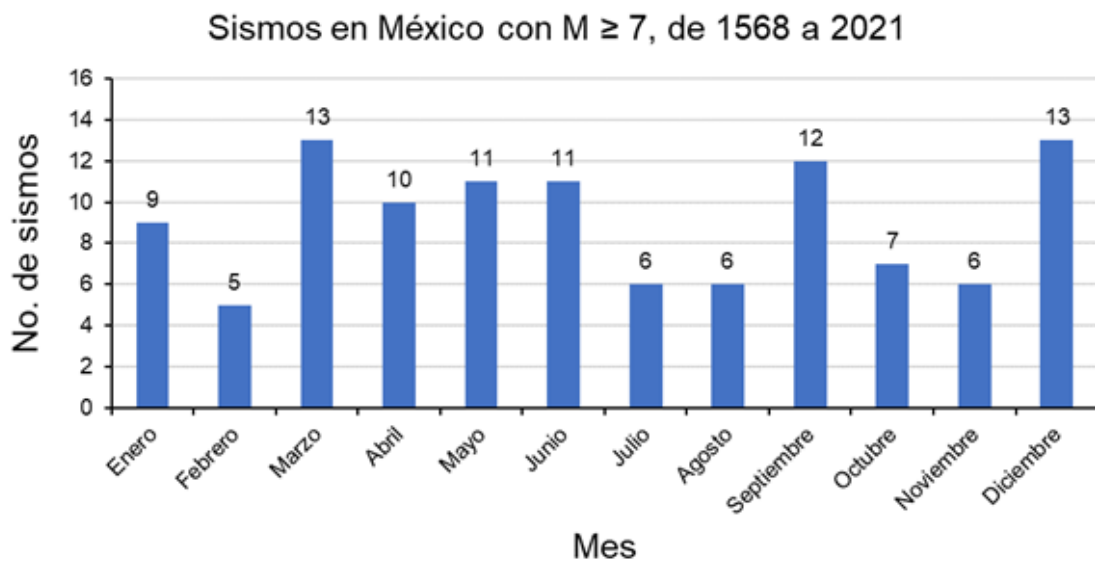


Figura 3. Distribución por mes de sismos con magnitud mayor o igual a 7.0 ocurridos en México, mostrados en la Tabla 1.

El sismo de 1787 (M 8.6)

El evento más grande del cual se tiene conocimiento, en México fue el ocurrido el 28 de marzo de 1787, se le conoce como el temblor de San Sixto. Este evento tuvo su epicentro frente a las costas del estado de Oaxaca y causó un tsunami que afectó las costas de los estados de Guerrero y Oaxaca. Se considera el terremoto más grande que ha ocurrido en México en los últimos 500 años. La máxima intensidad registrada en la ciudad de Oaxaca fue de IX grados en la escala de Intensidad Modificada de Mercalli (IMM) (Suarez y Albiní, 2009). Este evento, además de destruir iglesias en ciudades de Oaxaca, colapsó varios edificios. Fue sentido en la Ciudad de México, donde causó daños a algunos edificios, entre ellos el de Palacio Nacional (Sánchez y Farreras, 1993). De acuerdo con Suárez y Albiní (2009) se estima una longitud de ruptura de 450 km, por lo que el sismo pudo haber tenido una magnitud de 8.6. Entre sus réplicas más grandes están las ocurridas el 29 y 30 de marzo, y el 3 de abril, con magnitudes que superiores a 7.0. Particularmente, la réplica ocurrida el 3 de abril fue sentida en la ciudad de Oaxaca e incrementó los daños que había ocasionado el evento principal (Suárez y Albiní, 2009). El tsunami generado por la ocurrencia de este evento se considera inusual, comparado con los tsunamis generados por otros sismos (históricos e instrumentales). En este caso, la extensión que abarcó el tsunami fue de ~ 380 km, desde Puerto Ángel, Oaxaca, hasta Acapulco, Guerrero (Suárez y Albiní, 2009). El tsunami ocasionó daños severos desde el puerto de Acapulco, Guerrero hasta el puerto de Salina Cruz, Oaxaca. Las olas del tsunami alcanzaron alturas de entre 6 y 18 metros cerca de las localidades de Acapulco y Corralero, en Guerrero mientras que en las localidades de Jamiltepec y Tehuantepec, en Oaxaca las alturas alcanzadas fueron de entre 3 y 2 m. (Núñez-Cornú et al., 2008). El agua se internó más de 6 km. en la barra de Alotengo, Oaxaca donde varias personas lograron salvar sus vidas sujetándose a los árboles, mientras

estaban siendo arrastrados por la ola (Sánchez y Farreras, 1993; Núñez-Cornú et al., 2008; Suarez y Albiní, 2009).

El sismo de 1932 (M 8.2)

El segundo sismo más grande ocurrido en México, y el primero más grande en registrarse desde la era instrumental (Singh et al., 1985), fue el 3 de junio de 1932. Este evento tuvo una magnitud de 8.2 y se localizó frente a las costas de los estados de Colima y Jalisco (Servicio Sismológico Nacional, 2017a) con una longitud de ruptura estimada de 220 km (Singh et al., 1985). Como consecuencia de este sismo, más de 400 personas perdieron la vida tan sólo en el área epicentral, en Colima murieron otras 20 personas y 70 resultaron heridas. Se registraron daños a más de 200 casas localizadas en las ciudades de Manzanillo, Colima, Zamora, Michoacán, Ayutlán y Acatlán, Jalisco y Zihuatanejo, Guerrero. El evento fue sentido en la Ciudad de México, sin causar daños considerables (Sánchez y Farreras, 1993).

El evento provocó un tsunami que fue observado en las localidades de Manzanillo y Cuyutlán, Colima, Barra de Navidad, Jalisco y San Blas, Nayarit. En este último poblado se inundó todo el puerto. Este fenómeno también causó daños a las vías ferroviarias entre Cuyutlán y Manzanillo, así como en la bahía de San Pedrito (Colima), donde el nivel del mar subió más de tres metros (Sánchez y Farreras, 1993). El tsunami también fue observado en las costas de Hawaii y California, E.U.A. y en las Islas Samoa (Sánchez y Farreras, 1993).

A este evento le siguieron dos más, registrados el 18 de junio con una magnitud de 7.8 y el 22 de junio con una magnitud de 6.9; el primer evento no se considera réplica del evento del 3 de junio, sino un evento distinto. A este tipo de sismos se les denomina dobletes (Servicio Sismológico Nacional, consultado 2017a; Singh et al., 1985). Se estima que este evento tuvo una longitud de ruptura de 60 km (Singh et al., 1985), contigua al área de ruptura del evento del 3 de junio (Figura

4). Este segundo evento también provocó daños en Tecomán, Colima y Guadalajara, Jalisco. En esta última ciudad los edificios de la Catedral y de la Universidad fueron gravemente dañados. Asociado a este sismo se registró también un tsunami con olas hasta de un metro (Sánchez y Farreras, 1993).

El tercer evento (22 de junio de 1932), a pesar de su magnitud (6.9) causó el derrumbe de 400 casas en Colima y provocó un tsunami de grandes proporciones, superior a los producidos por los eventos del 3 y 18 de junio. El tsunami prácticamente destruyó Cuyutlán, Colima mató a 50 personas y 1200 más resultaron heridas (Sánchez y Farreras, 1993; Corona y Ramírez-Herrera, 2012). El tsunami afectó 75 km de la costa de Colima; el mayor daño se presentó en una franja de 6 km de longitud y hasta un kilómetro tierra adentro en Cuyutlán (Sánchez y Farreras, 1993; Corona y Ramírez-Herrera, 2012). Se estima que las olas de este tsunami alcanzaron alturas de entre 10 y 12 metros (Corona y Ramírez-Herrera, 2012). La Figura 5 muestra algunos de los daños causados en el poblado de Cuyutlán, Colima.

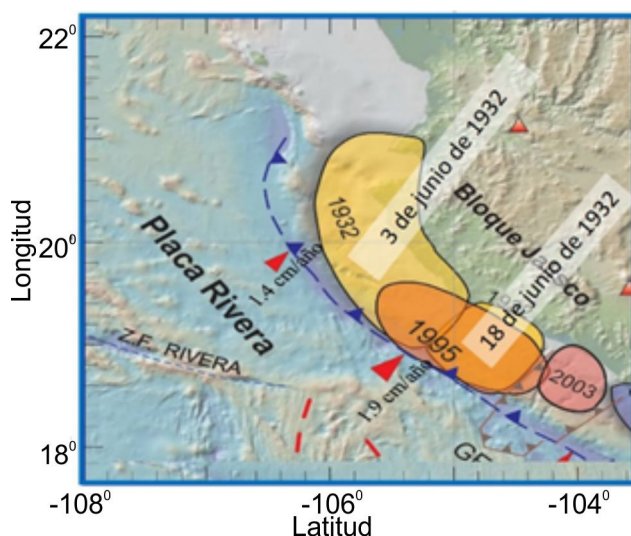


Figura 4. Áreas de ruptura de los eventos del 3 y 18 de junio de 1932. También se observan las áreas de los eventos ocurridos en octubre de 1995 y enero del 2003 (modificado de Kostoglodov y Pacheco, 1999).

El sismo de 2017 (M 8.2)

El sismo ocurrido frente a las costas del estado de Chiapas el día 7 de septiembre de 2017 a las 23:49, hora local del centro de México, con Mw 8.2 (Servicio Sismológico Nacional, consultado 2017c), se considera el segundo sismo más grande registrado en el país (después del evento de 1932); el sismo fue sentido en el centro y sureste del país. Las mayores afectaciones se presentaron en los estados de Chiapas y Oaxaca. En Oaxaca, una de las comunidades más afectadas fue Juchitán (Figura 6). Después de 7 horas de ocurrido el sismo se habían reportado más de 30 muertes y más de un millón de damnificados entre los estados de Tabasco, Oaxaca y Chiapas. El evento dejó 96 personas fallecidas, la mayoría de ellas en Juchitán, Oaxaca y más de 110,000 casas dañadas en los estados de Oaxaca y Chiapas, así como, incontables daños estructurales en Tabasco (Godínez-Domínguez et al., 2021). Después de casi un mes de haber ocurrido el evento se habían registrado 6,286 réplicas; las dos más grandes, tuvieron magnitud de 6.1. La intensidad máxima registrada fue de VIII (IMM) en las costas de los estados de Chiapas y Oaxaca (<https://earthquake.usgs.gov/>). Cabe mencionar que dos semanas después de ocurrir este evento, hubo otro sismo entre los estados de Morelos y Puebla, el día 19 de septiembre de 2017 a las 13:14 horas con Mw 7.1 (Servicio Sismológico Nacional, 2017d), este evento fue sentido en los estados de Morelos, Puebla, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, el Estado de México y la Ciudad de México. Los mayores daños a consecuencia de este sismo se presentaron en los estados de Morelos, Puebla y la Ciudad de México, y hasta el día 28 de septiembre de 2017, se tenían registradas más de 300 muertes. Este sismo tuvo menos réplicas, un poco más de 30, siendo la más grande de M 4.0.

El sismo de 1985 (M 8.1)

Uno de los eventos que marcarían una de las catástrofes más recordadas de nuestro país fue el ocurrido el 19 de septiembre de 1985, a las 07:17

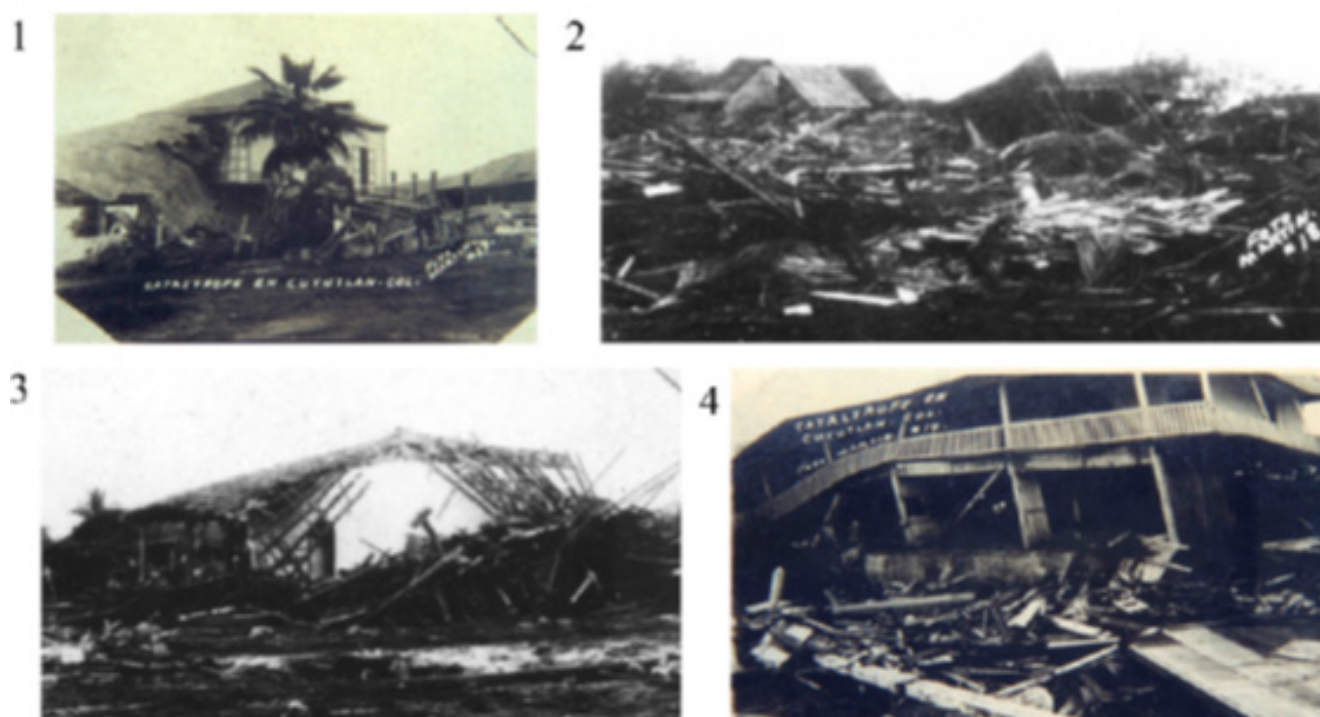


Figura 5. Daños provocados por el Tsunami a causa del sismo del 22 de junio de 1932; 1) El Chalet Aguayo, 2) Casas destruidas, 3) Hotel Santa Cruz y 4) Hotel Ceballos (Tomado de Corona y Ramírez-Herrera, 2012).



Figura 6. Daños provocados por el sismo ocurrido el 7 de septiembre de 2017, en la comunidad de Juchitán, Oaxaca (Tomado de <http://www.eluniversal.com.mx>).

hora del centro del país. Este evento de M 8.1, con epicentro frente a las costas del estado de Michoacán, causó el mayor daño en la Ciudad de México, debido a las características del subsuelo en la zona (Beck y Hall, 1986; Singh et al., 1988). El epicentro del terremoto fue localizado por el Servicio Sismológico Nacional (SSN) en las coordenadas 17.6° N y 102.5° W, en el Océano Pacífico frente a la desembocadura del Río Balsas (Rosenblueth et al., 1994). Tuvo longitud de ruptura de 180 km (Cruz, 2013).

Como se esperaba, el sismo del 19 de septiembre de 1985 ocurrió en la brecha sísmica de Michoacán. Sin embargo, su intensidad y duración fueron sentidos a una distancia de 400 km en la Ciudad de México (Beck y Hall, 1986) y superó cuanto cabía esperar para un sismo en esta región (Singh et al., 1988). Una característica particular de este sismo es que consistió de dos sub-eventos separados por un periodo de solamente 26 s (Beck y Hall, 1986; Chávez-García y Bard, 1994).

El sismo dejó más de 10,000 muertes y más de 5,000 desaparecidos. Cerca de 300,000 perdieron sus hogares, cerca de 1,000 edificios colapsaron o tuvieron que ser demolidos por los daños, 800,000 km de carreteras fueron dañadas, y más de 4,000 personas fueron rescatadas de los escombros (Beck y Hall, 1986, Servicio Sismológico Nacional, 2017b). El impacto económico se estimó en ese momento en cerca de 5 billones de dólares (Beck y Hall, 1986). Los daños observados en la Ciudad de México se debieron a cuatro razones principales: 1) El evento fue más energético de lo que se esperaba (Singh et al., 1988), 2) Los efectos de sitio de la Ciudad de México, 3) La larga duración del evento (Beck y Hall, 1986) y 4) La desactualización del reglamento de construcciones de la Ciudad de México (Rosenblueth et al., 1994). La Figura 7 muestra los daños registrados en la Ciudad de México.

En la región epicentral, particularmente en el puerto de Lázaro Cárdenas, se presentaron daños significativos a las viviendas, las vías

ferroviarias fueron deformadas (en forma de “S”), como resultado de una intensidad de entre VII y IX (IMM) (Castaños y Lomnitz, 2012). Este sismo generó un tsunami, que es el primero que se ha registrado y observado científicamente en México. La altura máxima de las olas en Lázaro Cárdenas, Michoacán fue de alrededor de dos metros, que aparentemente, no causó daños de consideración, ni víctimas. En términos generales, los daños en el área epicentral fueron menos serios de lo que uno pensaría dada la ocurrencia de un evento de esta magnitud. En la Tabla 2, se muestra un resumen de las intensidades registradas en la escala Modificada de Mercalli (IMM) en diferentes sitios.

Posterior al sismo del 19 de septiembre ocurrió otro evento el 21 de septiembre con magnitud de 7.5. A estos eventos también se les considera como doblete (Servicio Sismológico Nacional, 2017a). Este segundo evento sumó más daños a los ya registrados por el sismo del 19 de septiembre en la Ciudad de México. Algunas de las estructuras que estaban severamente dañadas terminaron por colapsar. El evento causó otro tsunami de menores proporciones al primero.

Tabla 2. Intensidades registradas en diferentes sitios durante el sismo ocurrido el 19 de septiembre de 1985 (<https://earthquake.usgs.gov/>).

	Ciudad	Intensidad (MM)
Región epicentral	Lázaro Cárdenas, Michoacán	VII
	Playa azul, Michoacán	VII
	Zihuatanejo, Guerrero	VII
	Ixtapa, Guerrero	VII
	Acapulco, Guerrero	IV
	Manzanillo, Colima	IV
En el interior	Ciudad Guzmán, Jalisco	V
Ciudad de México	Periferia del Valle de México	V
	Zonas circunscritas del centro de la ciudad	VII – IX*

* La intensidad en la ciudad de México varió de acuerdo a las condiciones del suelo y al tipo de estructuras.



Figura 7. Daños provocados en la Ciudad de México por el sismo ocurrido el 19 de septiembre de 1985 (Tomado de Servicio Sismológico Nacional, 2017b).

El sismo de 1995 (M 8.0)

Otro gran sismo ocurrió frente a las costas de los estados de Colima y Jalisco, el 9 de octubre de 1995. Este sismo de magnitud 8.0 generó una ruptura de 170 km, la cual se propagó desde el epicentro hacia el noroeste a una velocidad de 2.2 km/s (Pacheco et al., 1997; Ortiz et al., 1998; Escobedo et al., 1998), la ruptura tuvo una duración de 55 s, ocurrió en un área de 180 x 90 km, en un intervalo de 9 a 33 km de profundidad (Zobin, 1997).

El hipocentro del evento se localizó a una profundidad de 25 km (<http://www.ssn.unam.mx/>) en la parte sureste de la zona de interacción entre la placa Rivera y la placa Norteamericana (Fosa de Manzanillo), registrándose una intensidad de IX (IMM) en la zona epicentral (Zobin, 1997). La actividad de réplicas se presentó principalmente entre el 9 y el 16 de octubre de 1995, siendo la más fuerte la ocurrida el 12 de octubre, con una magnitud de 6.0, localizada al sur del epicentro del evento principal (Zobin, 1997).

De acuerdo con Chávez et al. (2014), el sismo de del 9 de octubre de 1995 puede ser representado por la ruptura de cuatro sub-eventos. El mayor de ellos comenzó 35-40 s después de la ruptura inicial, afectando las regiones superficiales de la zona de subducción, ~100 km hacia el noroeste de la fosa de Manzanillo (Hutton et al., 2001; Courboux et al., 1997).

Este evento causó grandes daños a las poblaciones costeras de los dos estados y fue percibido en las ciudades de Guadalajara y de México, las cuales se encuentran a 250 y 600 km del epicentro, respectivamente. Como consecuencia del este evento, 60 personas perdieron la vida (Zobin, 1997), al menos 48 de éstas fueron en la ciudad de Manzanillo, Colima y al menos otras 10 en las zonas afectadas de Jalisco (García et al., 1997). En el área epicentral y a lo largo de 80 km de la zona costera, cerca de 17,000 estructuras colapsaron o fueron gravemente dañadas, afectando alrededor

de 45,000 habitantes. La comunidad de Cihuatlán fue la más afectada (García et al., 1997). El sismo de 1995 también generó un tsunami con olas de entre 2 y 5 metros, que afectaron pequeñas villas en la costa (Courboux et al., 1997).

Gaps Sísmicos en México

En la zona de subducción del Pacífico mexicano hay zonas donde no ha ocurrido un evento de importancia ($M \geq 7$). A estas zonas, donde no ha ocurrido un sismo en un cierto periodo de tiempo (más de 30 años para México, Singh y Ordaz, 1990), se les denomina brechas sísmicas o gaps sísmicos. En México se han identificado varias brechas sísmicas, según se muestra en la Figura 8. La brecha de Jalisco concluyó su ciclo al ocurrir un evento en 1995; la brecha de Michoacán se liberó por la ocurrencia de un evento en 1981; la brecha sísmica de Ometepe concluye con la ocurrencia de un evento en 1982; la Brecha de Tehuantepec se considera como una zona con tiempos de recurrencia anómalos, dado que en los dos últimos siglos no había ocurrido un evento importante (Singh et al., 1981). El 7 de septiembre de 2017 ocurrió un sismo con Mw 8.2, cuyo hipocentro se localiza en la placa de Cocos y no en la trinchera (interface Cocos – Norte América), por lo que aún está en duda si la brecha de Tehuantepec se liberó a consecuencia de este evento. La brecha sísmica de Guerrero (Figura 8), se le considera de importancia debido a su localización, la cual representa la distancia más cercana entre la zona de subducción y la Ciudad de México. El último sismo que ocurrió en este segmento fue en el año de 1911 y tuvo una magnitud de 7.5. La Figura 8 muestra que hacia los límites noroeste y sureste de esta brecha sísmica han ocurrido eventos como los de 1962 y 1979, con magnitudes de M 7.0 y M 7.4 respectivamente, y recientemente el ocurrido el 7 de septiembre de 2021 (Acapulco, Guerrero) en el borde sureste con una magnitud de 7.1. La brecha sísmica de Guerrero se considera como una zona con un potencial sísmico alto, dado que por más de 100 años no se ha registrado ningún

evento de magnitud mayor o igual a 7.0. Sin embargo, estudios en el área han demostrado la ocurrencia de eventos silenciosos con magnitudes hasta de 7 (Kostoglodov et al., 2003) que, de alguna manera, podrían estar liberando los esfuerzos acumulados en la zona. Los eventos silenciosos son desplazamientos que pueden durar días, meses o años y tener magnitudes equivalentes (MW) de 6-7 (Kostoglodov et al., 2003).

Conclusiones

Grandes sismos han afectado de manera significativa a nuestro país. El más recordado es el del 19 de septiembre de 1985. Ciudades muy pobladas de México están sujetas a los efectos que provoca un evento sísmico. Como se observa en la Figura 9, la ocurrencia de un evento de magnitud importante puede afectar a muchas personas.

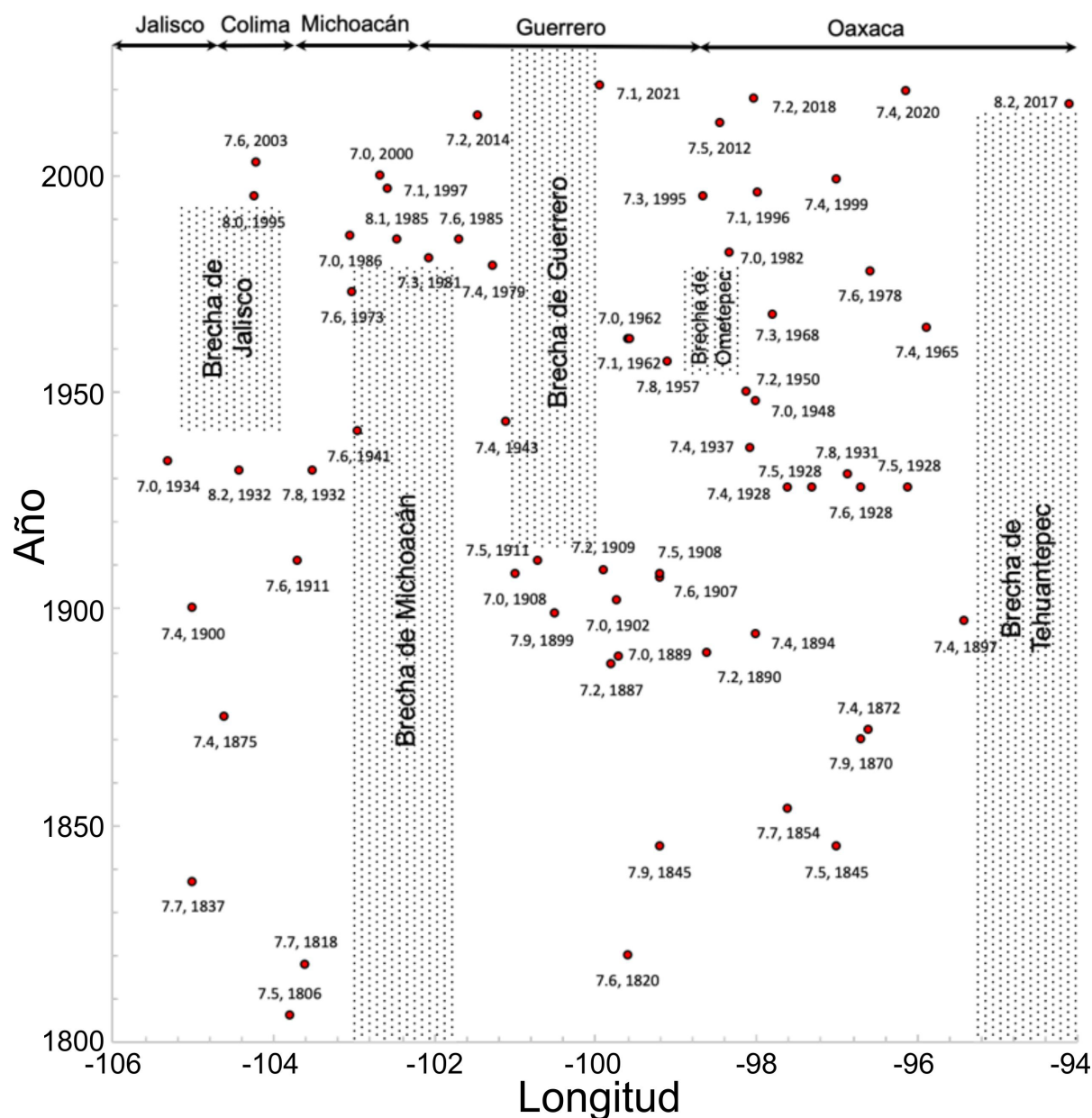


Figura 8. Brechas sísmicas en México, los números representan la magnitud y el año de ocurrencia de los eventos (Modificado de Singh et al., 1981).

Los sismos no solo ocurren en la parte sur del país, las regiones noroeste, centro y este también han sido afectadas (Figura 2) por la ocurrencia de sismos de moderados a fuertes en términos de su magnitud. En la península de Baja California se puede hacer mención del evento de 1892 en Laguna Salada de M 7.2; el de 1902 al Norte de Guerrero Negro de M 7.1; en 1907 al Noroeste de Santa Rosalía de M 7.1; el de 1915 y 1934 al Sureste de Guadalupe Victoria de M 7.0 y 7.1, respectivamente; el sismo de 1956 en San Miguel con M 6.8; y los ocurridos en Mexicali en 1940 y 2010 con M 7.1 y 7.2, respectivamente (Fletcher et al., 2014; <http://www.ssn.unam.mx/>). En el estado de Sonora se pueden mencionar los eventos de 1887 de M 7.4 ocurrido en Bavispe, los de 1932 de M 6.7 en Miguel Alemán y Huatabampo y los de 1945 y 1974 en Guaymas de M 6.8 y 6.3, respectivamente (Singh et al.,

1981; Castro et al., 2009; <http://www.ssn.unam.mx/>).

La parte central del país es importante mencionar los del estado de Puebla, como el ocurrido en Acatlán de Osorio en 1980, de M 7.1 y el ocurrido en 1879 de M 7.0 (Singh et al., 1981), el de 1999 en San Gabriel Chilac con M 7.0; el sismo ocurrido entre los estados de Puebla y Veracruz de M 7.3 en 1864 (Singh et al., 1981); el evento de 2017 de M 7.1 entre los estados de Puebla y Morelos (<http://www.ssn.unam.mx/>); en 1912 el sismo de M 7.0 ocurrido en la falla de Acambay, al noroeste de la Ciudad de México (Singh et al., 2011). En la parte oriental del país, se pueden mencionar los sismos ocurridos en Veracruz, en 2011, de 6.0 y 6.7, en Sayula de Alemán y Las Choapas, respectivamente y el ocurrido en 1920 de M 6.4 ocurrido en Xalapa (Córdoba-Montiel et al., 2018; <http://www.ssn.unam.mx/>).

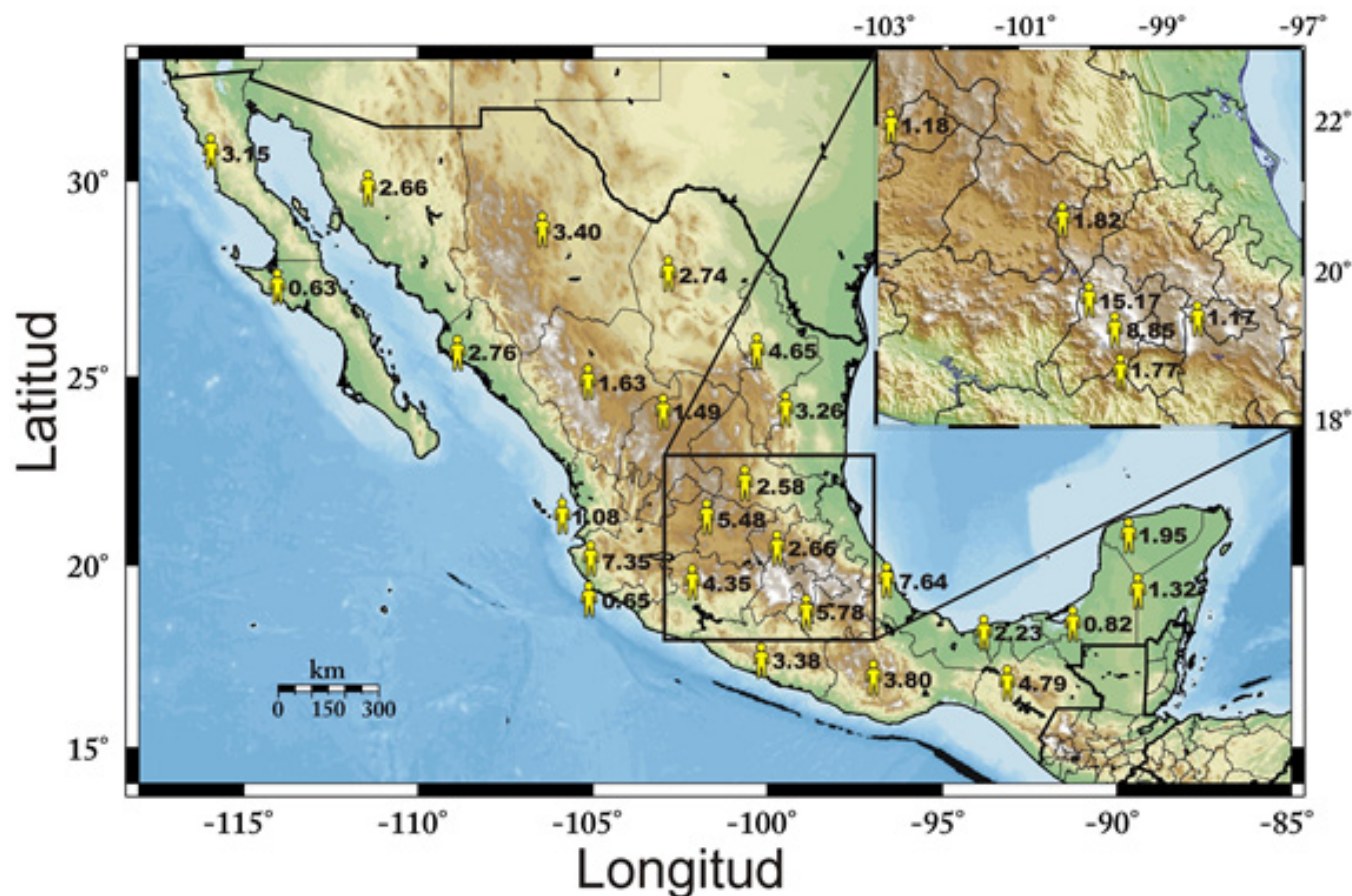


Figura 9. Millones de habitantes por estados en México (elaborada con información del INEGI).

mx/). Estos eventos sísmicos han causado daños a las poblaciones, particularmente en aquellas cercanas al epicentro.

Por lo anterior, el desarrollo de planes de acción para la mitigación del riesgo sísmico es necesario, así como la educación en la prevención ante la ocurrencia de estos eventos, bajo los temas de qué hacer antes, durante y después de un evento sísmico. Todo ello ayudaría a la sociedad a estar preparada ante situaciones de este tipo.

La ocurrencia de eventos grandes ha hecho patente la necesidad de estar preparados ante estos fenómenos naturales. Dado que todavía no es posible predecir los sismos (lugar, magnitud, fecha y hora), es necesario que cada región de alta sismicidad tenga un buen plan de Reducción de Desastre por Sismos.

El programa de Reducción de Desastre por Riesgo sísmico está centrado en tres temas principales: Cálculo del Riesgo, Manejo del Riesgo y Comunicación del Riesgo. Este último desempeña un papel importante, ya que, proveyendo la información oportunamente a las autoridades y a la comunidad, se podrían tomar las medidas necesarias para minimizar las consecuencias que podría provocar la ocurrencia de un sismo. Para que un plan de acción trabaje adecuadamente, la información entre los diversos participantes para la reducción del riesgo debe ser compartida (Academia, Gobierno y Sociedad).

México no está exento de la ocurrencia de otro gran sismo, por lo que es necesario estar preparados como sociedad, para poder afrontar los efectos provocados por este fenómeno natural.

Agradecimientos

Al programa Investigadoras e Investigadores por México - CONACyT (Antes Cátedras CONACyT, proyecto 2602). A Antonio Mendoza Camberos por el apoyo técnico.

Referencias

- Ávila-Barrientos, L., Nava, A., 2020. Gutenberg-Richter b Values Studies Along the Mexican Subduction Zone and Data Constraints. *Geofísica Internacional*, 59-4, 285-298.
- Beck, J. L., Hall, J. F., 1986. Factors Contributing to the Catastrophe in Mexico City During The Earthquake of September 19, 1985. *Geophysical Research Letters*, Vol. 13, No. 6, Pp. 593-596.
- Castaños, H., Lomnitz, C., 2012. Earthquake Disasters in Latin America: A Holistic Approach. *Springer Briefs in Earth Sciences*, Springer, Pp. 69.
- Chávez, M., García, S., Cabrera, E., Ashworth, M., Perea, N., Salazar, A., Chávez, E., Saborio-Ulloa, J., Saborio-Ortega, J., 2014. Site Effects and Peak Ground Accelerations Observed in Guadalajara, Mexico, for the 9 October 1995 Mw 8 Colima-Jalisco, Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 104, No. 5, pp. 2430–2455, doi: 10.1785/0120130144
- Chávez-García, F. J., Bard, P.-Y., 1994. Site Effects in Mexico City eight years after the September 1985 Michoacan Earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 13, pp. 229-247.
- Córdoba-Montiel, F., Singh, S. K., Iglesias, A., Pérez-Campos, X., Sieron, K., 2018. Estimation of ground motion in Xalapa, Veracruz, Mexico during the 1920 (M~6.4) crustal earthquake, and some significant intraslab earthquakes of the last century. *Geofísica Internacional*, 57-2, 89-106.
- Corona, N., Ramírez-Herrera, M. T., 2012. Mapping and historical reconstruction of the great Mexican 22 June 1932 tsunami. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 12, 1337-1352.

- Courboux, F., Singh, S. K., Pacheco, J. F., 1997. The 1995 Colima-Jalisco, Mexico, earthquake (MW 8): A study of the rupture process. *Geophysical Research Letters*, Vol. 24, No. 9, pp. 1019-1022.
- Cruz, V. M. A., 2013. Los Sismos Una Amenaza Cotidiana. La Caja de Cerillos. Pp. 108
- Dañobeitia, J., Bartolomé, R., Prada, M., Nuñez-Cornú, F., Córdoba, D., Bandy, W. L., Estrada, F., Cameselle, A. L., Nuñez, D., Castellón, A., Alonso, J. L., Mortera, C., Ortiz, M., 2016. Crustal Architecture at the Collision Zone Between Rivera and North American Plates at the Jalisco Block: Tsujal Project. *Pure and Applied Geophysics*. 173, 3553–3573. DOI 10.1007/s00024-016-1388-7
- Escobedo, D., Pacheco, J. F., Suárez, G., 1998. Teleseismic body-wave analysis of the October, 1995 (MW=8.0), Colima-Jalisco, Mexico earthquake, and its largest foreshock and aftershock. *Geophysical Research Letters*, Vol. 25, No. 4, pp. 547-550.
- Fletcher, J. M., Teran, O. J., Rockwell, T. K., Oskin, M. E., Hunut, K. W., Mueller, K. J., Spelz, R. M., Akciz, S. O., Masana, E., Faneros, G., Fielding, E. J., LePrince S., Morelan, A. E., Stock, J., Lynch D. K., Elliott, A. J., Gold, P., Liu-Zeng, J., González-Ortega, A., Hinojosa-Corona, A., González-García, J., 2014. Assembly of a large earthquake from a complex fault system: Surface rupture kinematics of the 4 April 2010 El Mayor-Cucapah (Mexico) Mw 7.2 earthquake. *Geosphere*, V. 10; No. 3; p. 1–31; doi:10.1130/GES00933.1
- García, A. V., Suárez, R. G., 1996. Los sismos en la historia de México, Tomo I. Ediciones Científicas Universitarias; Texto científico universitario; P. 718.
- García, H. J., Whitney, R. A., Guerrero, J. J., Gama, A., Vera, R., Hurtado, F., 1997. The October 9, 1995 Manzanillo, Mexico Earthquake. *Seismological Research Letters*, Vol. 68, No. 3, 413-425.
- Godínez-Domínguez, E. A., Tena-Colunga, A., Pérez-Rocha, L. E., Archundia-Aranda, H. I., Gómez-Bernal, A., Ruiz-Torres, R. P., Escamilla-Cruz, J. L., 2021. The September 7, 2017 Tehuantepec, Mexico, earthquake: Damage assessment in masonry structures for housing. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 56, 102123.
- Gutiérrez, C., 1999. Efecto de sitio. Páginas 15-17, en Curso sobre diseño y construcción sismorresistente de estructuras; 1999; Secretaría de Gobernación/ Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 423 páginas.
- Gutiérrez, Q. J., Escudero, C. R., Núñez-Cornú, F. J., 2015. Geometry of the Rivera-Cocos subduction zone inferred from local seismicity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(6), 3104–3113. doi: 10.1785/012010358.
- Hutton, W., DeMets, C., Sánchez, O., Suárez, G., Stock, J., 2001. Slip kinematics and dynamics during and after the 1995 October 9 Mw=8.0 Colima-Jalisco earthquake, Mexico, from GPS geodetic constraints. *Geophysical Journal International*, 146, 637-658.
- Kostoglodov, V., Bandy, W., 1995. Seismotectonic constraints on the convergence rate between the Rivera and North American plates. *Journal Geophysical Research*, 100, 17977–17989. doi:10.1029/95JB01484.
- Kostoglodov y Pacheco, 1999. Cien años de sismicidad en México. Instituto de Geofísica, UNAM. (Poster)

- Kostoglodov, V., Singh, S. K., Santiago, J. A., Larson, K. M., Lowry, A. R., Bilham, R., 2003. A large silent earthquake in the Guerrero seismic gap, Mexico. *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, No. 15.
- Nava, A., 1987. *Terremotos. La ciencia desde México*, Fondo de Cultura Económica. Pp 156.
- Núñez-Cornú, J. F., Córdoba, D., Dañobeitia, J. J., Bandy, W. L., Ortiz, M. F., Bartolome, R., Núñez, D., Zamora-Camacho, A., Espíndola, J. M., Castellón, A., Escudero, C. R., Trejo-Gómez, E., Escalona-Alcázar, F.J., Suárez, C. P., Nava, F. A., Mortera, C., TsuJal Working Group, 2016. *Geophysical Studies across Rivera Plate and Jalisco Block, Mexico: TsuJal Project*. *Seismological Research Letters*, DOI: 10.1785/0220150144
- Núñez-Cornú, F. J., Ortiz, M., Sánchez, J. J., 2008. The great 1787 Mexican Tsunami. *Natural Hazards*, 47, pp. 569-576.
- Ortiz, M., Singh, S. K., Pacheco, J., Kostoglodov, V., 1998. Rupture length of the October 9, 1995 Colima-Jalisco earthquake (MW 8) estimated from tsunami data. *Geophysical Research Letters*, Vol. 25, No. 15, pp. 2857-2860.
- Pacheco, J., Singh, S. K., Domínguez, J., Hurtado, A., Quintanar, L., Jiménez, Z., Yamamoto, J., Gutiérrez, C., Santoyo, M., Bandy, W., Guzmán, M., Kostoglodov, V., Reyes, G., Ramírez, C., 1997. The October 9, 1995 Colima-Jalisco, Mexico earthquake (MW 8): An aftershock study and a comparison of this earthquake with those of 1932. *Geophysical Research Letters*, Vol. 24, No. 17, Pp. 2223-2226.
- Pardo, M., Suárez, G., 1995. Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern México: Seismic and tectonic implications. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 100, No. B7, pp. 12357-12373.
- Rosenblueth, E., García, V.A., Rojas, T.R., Nuñez de la Peña, J., Orozco, J. C., 1994. *Macrosismos: Aspectos físicos, Sociales, Económicos y Políticos*. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. Mexico D.F. 1a. ed. 55 p.
- Sánchez, D. A. J., Farreras, S. S. F., 1993. *Catálogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental de México*, Catalog of Tsunamis on the Western Coast of Mexico. World Data Center A for Solid Earth Geophysics Publication SE-50. United States Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration. National Environmental Satellite, Data, and Information Service. National Geophysical Data Center. Boulder, Colorado 80303-3328, U. S. A.
- Servicio Sismológico Nacional; 2017a; *Sismos Históricos: Sismos de 1932 (M 8.2, M 7.8 y M 6.9)*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, Servicio Sismológico Nacional, pp. 7.
- Servicio Sismológico Nacional; 2017b; *El Sismo de 1985 en Cifras*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, Servicio Sismológico Nacional, Cartel.
- Servicio Sismológico Nacional; 2017c; *Reporte Especial: Sismo de Tehuantepec (2017-09-07 M 8.2)*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, Servicio Sismológico Nacional, pp. 9.