

Red Sísmica de la Ciudad de México

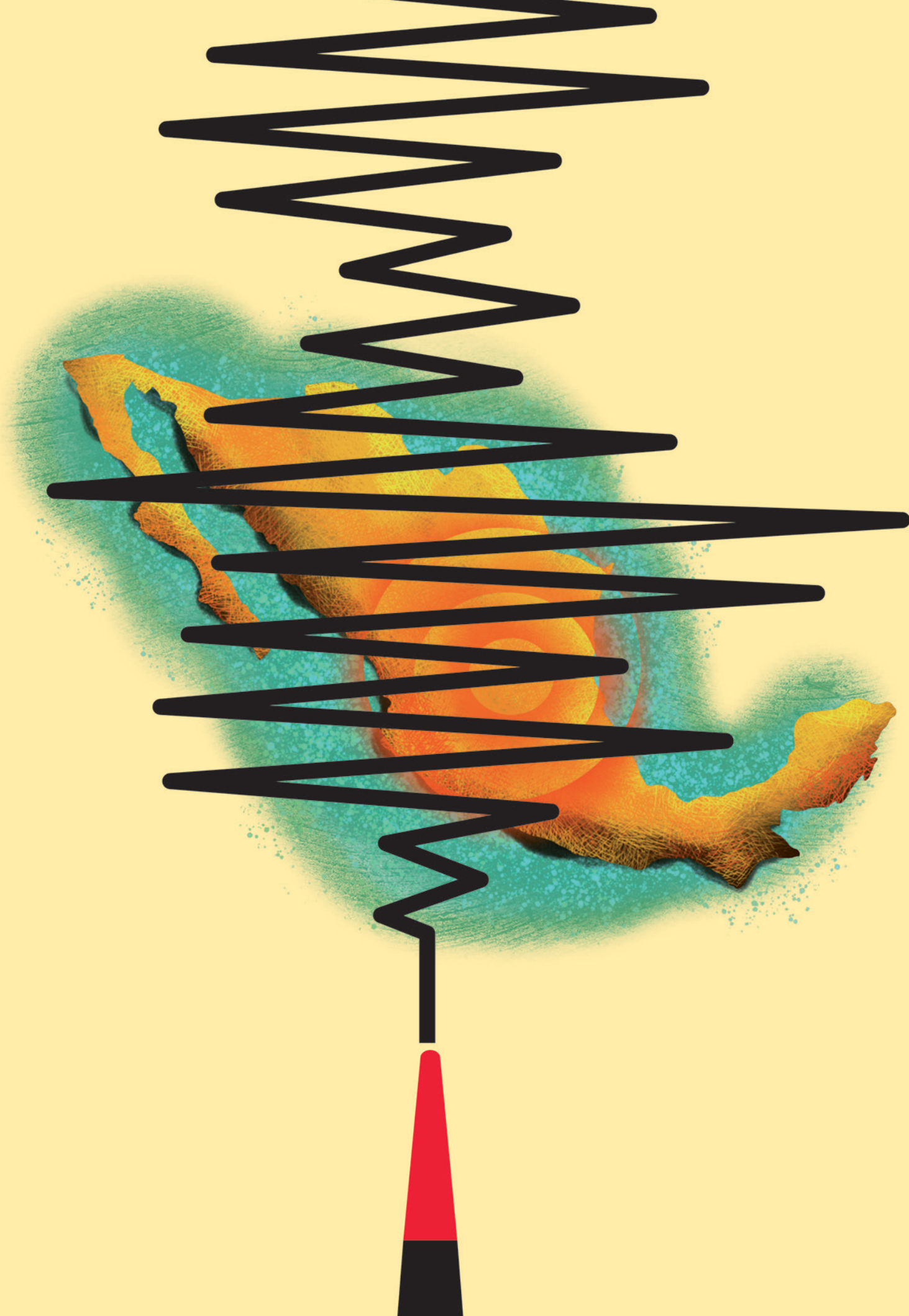
Tras el sismo de 1985, en la Ciudad de México se desarrollaron redes acelerográficas y sismológicas, las cuales, por iniciativa del Gobierno, ahora se integran para conformar la Red Sísmica de la Ciudad de México. Ésta contribuirá al monitoreo de la sismicidad, a la generación de información, y a la constitución de una base de datos que servirá para la estimación del peligro sísmico en la ciudad.

Introducción

Muchas preguntas se imponen cuando sentimos otra sacudida. Nuestra experiencia en la Ciudad de México (CDMX) acumula desgracias e incertidumbre por los terremotos que la han amenazado en su historia. ¿Cuánto durará el temblor?, ¿dónde están mis hijos, mis padres, mis hermanas?, ¿qué habrá pasado en la ciudad?, ¿dónde ocurrió y de qué tamaño fue?, ¿qué debo hacer?, ¿por qué otra vez...? Invariablemente, estas preguntas nos las hacemos todas las personas cada vez que tiembla, especialistas y no especialistas. Sus respuestas, por lo tanto, nos resultan indispensables como sociedad para poder vivir con mediana tranquilidad y mejor preparación ante el siguiente golpe (Cruz-Atienza, 2018).

Los sismos seguirán pasando en México. Siempre. Es posible incluso que haya sacudidas más violentas que todas las que hemos conocido. Debe alentarnos saber, sin embargo, que es posible convivir con este fenómeno y reducir de manera importante sus riesgos. La respuesta está en el conocimiento, en la comprensión de su naturaleza, de las consecuencias que ha tenido y de las medidas de mitigación que tomemos. Todo se resume en una palabra: prevención; es decir, en nuestra capacidad de articular interdisciplinariamente el conocimiento científico y el social para elaborar, desde esa perspectiva, estrategias eficaces que nos hagan menos vulnerables y más resilientes ante los terremotos (Cruz-Atienza, 2013).

A raíz de los devastadores sismos de 2017 en México, la sensibilidad de la ciudadanía y de sus autoridades afloró nuevamente, algo común en todas las sociedades amenazadas por este fenómeno. Lamentablemente, tienen que ocurrir desgracias para tomar decisiones pertinentes. La memoria social se desvanece rápidamente. Sin



un esfuerzo institucional sostenido que trascienda el tiempo, seguiremos construyendo los futuros desastres con la esperanza de sobreponernos lo antes posible cuando ocurran. No hay designios ni fatalidad. Como sociedad, nuestro futuro está en nuestras manos.

El 16 de julio de 2019 ocurrió un sismo de magnitud 3.2 en la alcaldía Miguel Hidalgo, un kilómetro por abajo del Panteón Dolores. A pesar de su magnitud tan pequeña, el terremoto produjo la aceleración del suelo más grande que jamás se haya registrado en sitios de roca firme de la ciudad (Singh *et al.*, 2020). Por supuesto, esta extrema sacudida se sintió únicamente cerca del epicentro (esto es, a menos de un kilómetro). Sin embargo, el sismo creó mucho revuelo a pesar de no provocar daños, de tal forma que el Gobierno de la CDMX tomó cartas en el asunto y convocó a especialistas en la materia para discutir y tomar decisiones pertinentes.

Fue así como surgió una iniciativa institucional que promete trascender el tiempo, al establecer la infraestructura y los medios necesarios para contribuir más que nunca a la prevención en nuestra urbe. La Red Sísmica de la Ciudad de México (RSCDMX) y su Comité Asesor permitirán hacer observaciones inéditas de la sismicidad para entenderla mejor y para generar información expedita y útil durante las emergencias futuras (véase la Figura 1). Como se describe a continuación, se trata de un esfuerzo interinstitucional sin precedente que está construyendo una de las redes de observación sísmológica más ambiciosas del mundo.

Los sismos en la Ciudad de México
México se encuentra en un contexto geológico donde cinco placas tectónicas interactúan entre sí y

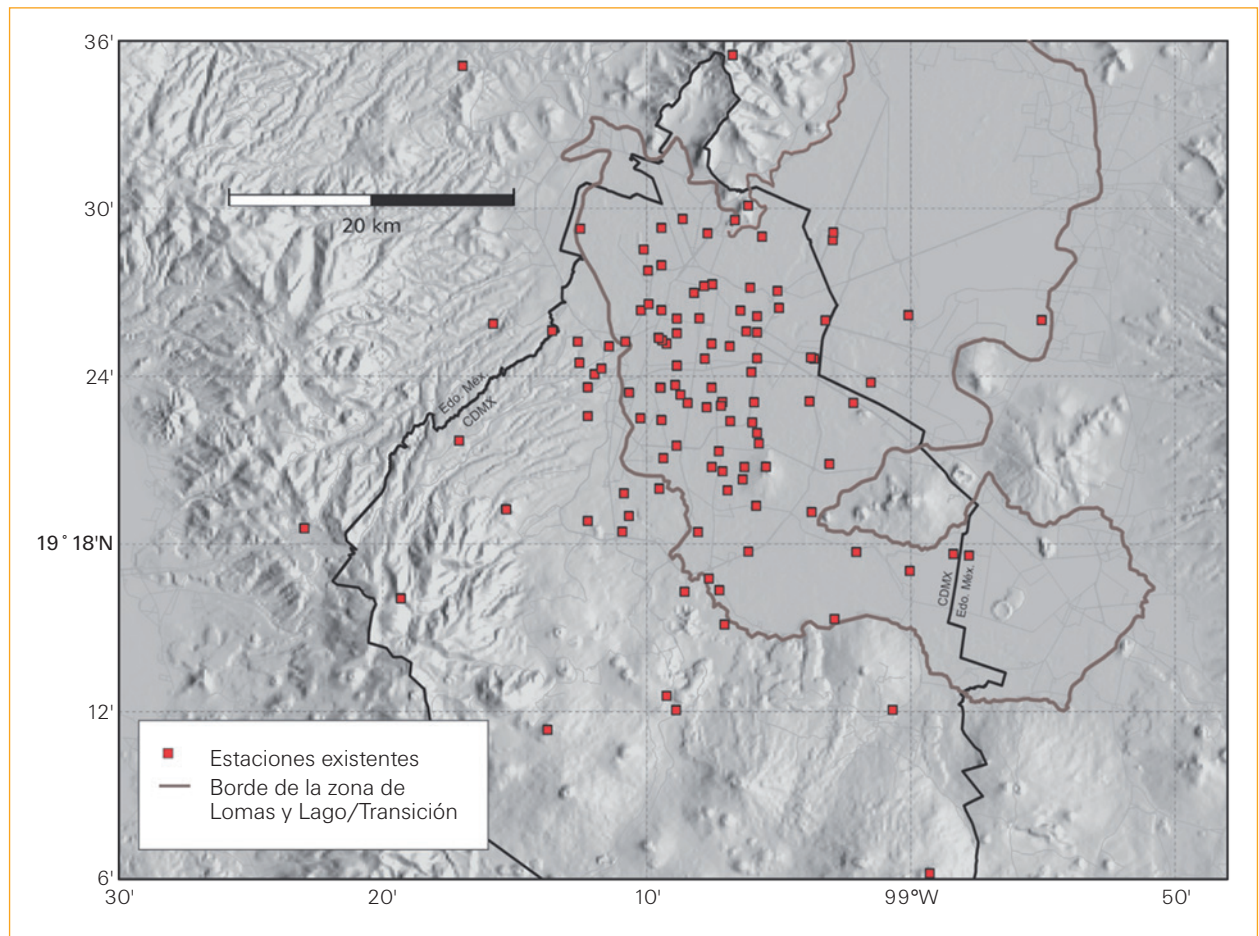


Figura 1. Estaciones sísmológicas y acelerográficas que integran la Red Sísmica de la Ciudad de México.

provocan una alta actividad sísmica (Cruz-Atienza, 2013). Algunos de los sismos del último siglo han causado muchas pérdidas humanas y materiales, de manera sobresaliente en la CDMX. Los sismos de mayor magnitud que afectan a la ciudad ocurren en el contacto entre las placas de Cocos y de Norte América (**sismos interplaca**), frente a las costas de Michoacán y Guerrero. Éste fue el caso, por ejemplo, del devastador sismo del 19 de septiembre de 1985. Otros sismos ocurren más cerca de la ciudad y dentro de la placa de Cocos (**sismos intraplaca**), como el ocurrido el 19 de septiembre de 2017 (Cruz-Atienza *et al.*, 2017; Suárez *et al.*, 2017). Su **hipocentro** se ubicó a 51 km de profundidad, mucho más abajo que el de los sismos interplaca, que rondan los 16 km. La magnitud y la distancia epicentral son factores clave que determinan la intensidad del movimiento.

Sin embargo, en el caso de la CDMX, los efectos de los sismos también son resultado de las condiciones tan particulares del subsuelo en el que se encuentra asentada gran parte de la ciudad, y que corresponden a los sedimentos de los antiguos y extensos lagos que existieron en la Cuenca de México. La comprensión de este fenómeno y la ingeniería sísmica mexicana comenzaron a desarrollarse tras el sismo del 28 de julio de 1957, mejor conocido como el terremoto del Ángel, pues la sacudida que produjo en la ciudad derribó el monumento del Ángel de la Independencia. Así, el conocimiento acumulado hasta hoy por especialistas en sismología e ingeniería ha trascendi-

do de muchas maneras en beneficio de la sociedad (Pérez-Gavilán *et al.*, 2018).

Las sacudidas en la CDMX no sólo se deben a estos dos tipos de sismos (interplaca e intraplaca). La urbe también está expuesta a **sismos corticales**, que pueden ser incluso más cercanos y superficiales (véase la Figura 2). La CDMX se encuentra dentro de la Faja Volcánica Transmexicana, una expresión fisiográfica del vulcanismo resultante de la subducción de las placas de Rivera y de Cocos, que abarca desde Nayarit hasta Veracruz cruzando el país de poniente a levante. En ella se encuentra la mayoría de los volcanes activos de México y existe una gran cantidad de fallas geológicas activas como resultado de las fuerzas tectónicas en la región. Cercanas a la CDMX hay fallas de gran importancia, como la de Acambay-Tixmadejé, que produjo un sismo superficial de magnitud 6.9, el 19 de noviembre de 1912, a tan sólo 100 km de la ciudad, por lo que es el terremoto con magnitud superior a 6.0 más cercano a la capital desde 1900 (Cruz-Atienza, 2013).

Aunque de menor magnitud hasta el día de hoy, eventos sísmicos del mismo tipo han ocurrido dentro de la misma CDMX. La orografía de la región es particular y se distingue por sierras de gran altitud que circundan la urbe y donde se han reconocido varias fallas geológicas también activas. Por ejemplo, las fallas al poniente de la ciudad dieron lugar al mencionado sismo del 16 de julio de 2019 en la alcaldía Miguel Hidalgo, sacudida que dio arranque

Sismo cortical

Un temblor que ocurre dentro de la corteza terrestre.

Sismo interplaca

Un sismo que se presenta en el contacto entre dos placas tectónicas.

Sismo intraplaca

En general, un temblor que ocurre dentro de una placa tectónica. De manera particular, se les denomina así a los sismos que ocurren dentro de las placas subducidas y se encuentran a profundidad.

Hipocentro

Lugar donde se inicia la ruptura que genera el sismo; está dado por su ubicación en términos de latitud y longitud, así como por su profundidad.

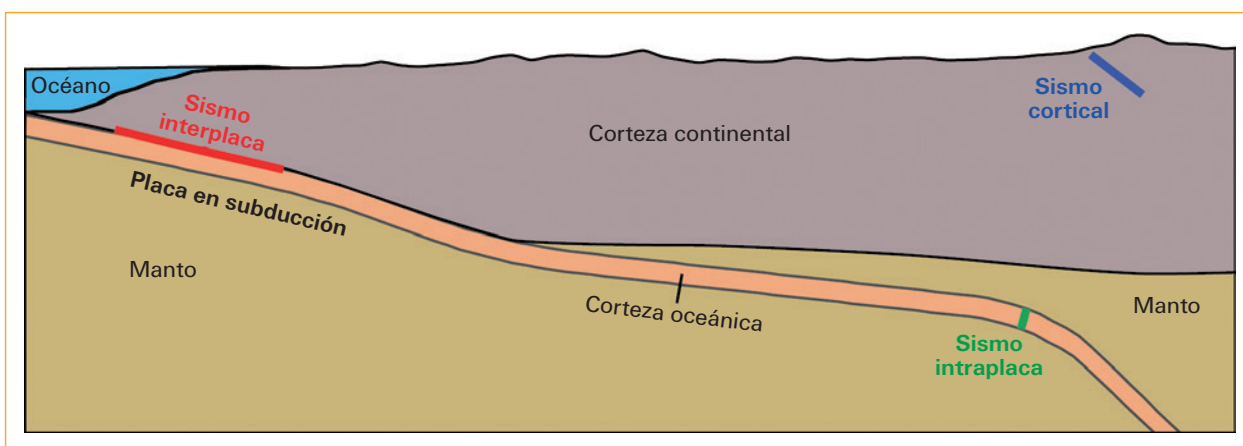


Figura 2. Tipo de sismos por su origen: interplaca (entre placas), intraplaca (dentro de la placa subducida) y cortical (dentro de la placa superior).

Enjambre sísmico

Conjunto de sismos que ocurren en una zona delimitada durante un lapso relativamente breve. Las magnitudes de estos eventos son similares entre sí.

a la conformación de la RSCDMX. Asociados a este sismo, sucedieron otros de menor magnitud entre el 12 de julio y el 9 de agosto de 2019 ahí mismo, lo cual produjo un **enjambre sísmico** que consistió en 26 sismos con magnitudes entre 1.2 y 3.2, de acuerdo con el catálogo del Servicio Sismológico Nacional (SSN, 2020).

Es importante precisar que este tipo de actividad sísmica en la CDMX se ha presentado en otras ocasiones. Además, investigaciones científicas recientes muestran que, si ocurriera un sismo en un futuro con las mismas características que el de julio de 2019 pero de magnitud 5.0, lo cual es plausible considerando el tamaño de las fallas geológicas conocidas en la región, entonces el movimiento del suelo podría alcanzar intensidades altas cerca del epicentro y menores, pero cercanas a las experimentadas el 19 de septiembre de 2017 en los depósitos lacustres donde se asienta gran parte de la ciudad, aunque con una duración menor (Singh *et al.*, 2020).

■ ■ ■ **Las redes sismológicas en la Ciudad de México**

■ El Servicio Sismológico Nacional (SSN), que forma parte de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) desde 1929 y de su Instituto de Geofísica desde 1949, es la institución que mayor historia tiene en instrumentación sismológica en el país. En



1910 instaló uno de los instrumentos más antiguos de México en su Estación Central de Tacubaya. Éste y otros sismómetros similares registraron terremotos emblemáticos, como el de Acambay de 1912, el del Ángel de 1957, y el de Michoacán de 1985.

Como consecuencia del sismo de 1957, en 1960 se instalaron los dos primeros acelerógrafos en la CDMX; uno en la Alameda Central y otro en Ciudad Universitaria. Lo anterior dio origen a la Red Acelerográfica (RA) del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Los primeros registros sísmicos obtenidos corresponden a los temblores del 10 de diciembre de 1961 (magnitud 5.0) y los ocurridos en Acapulco en mayo de 1962, cuyos estudios hicieron evidente la gran utilidad de este tipo de información, entre otras cosas, para calibrar los modelos sobre el comportamiento de estructuras sometidas al movimiento sísmico, así como para entender las características de la propagación de las ondas sísmicas (Pérez-Gavilán *et al.*, 2018). Pero los devastadores terremotos de 1985 fueron registrados por no más de siete acelerógrafos en la zona metropolitana de la ciudad. A pesar de ello, esta escasa información ha sido muy relevante, ya que incluye los emblemáticos sismogramas de las estaciones ubicadas en la Secretaría de Comunicaciones y Transporte y en Ciudad Universitaria, que han sido usados en diversos textos científicos y de ingeniería en todo el mundo.

La instrumentación sísmica en la CDMX creció de manera significativa después de los terremotos de 1985. Ante la catástrofe de aquel septiembre lejano, surgieron importantes iniciativas que llevaron a la creación de la Red Acelerométrica de la Ciudad de México (RACM) en 1987, con 78 estaciones de movimientos fuertes a cargo del Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (Cires). Asimismo, se estableció la Red de Observación Sísmica (ROS) del Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred) en 1989, con 11 acelerómetros (superficiales y de pozo) en la CDMX, con el auspicio del gobierno de Japón y de la UNAM (Gutiérrez *et al.*, 2005).

Posteriormente, a partir de los años 90 y hasta la fecha, la instrumentación sísmica de la ciudad ha seguido enriqueciéndose de forma paulatina con nuevas redes de observación y equipos más sofisticados.

dos en las redes existentes. El Instituto de Geofísica de la UNAM ha establecido la Red Sísmica del Valle de México (RSVM), hoy a cargo del SSN, que cuenta con 28 sismómetros ultrasensibles y 12 acelerómetros. Asimismo, la Unidad de Instrumentación Sísmica (UIS) del Instituto de Ingeniería de la UNAM ha mantenido y continúa el desarrollo de la RA, que en la actualidad cuenta con 24 acelerómetros en la CDMX.

Por otra parte, académicos de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) han instalado y operado cinco acelerómetros en las instalaciones de dicha universidad. Otros esfuerzos complementarios se llevan a cabo con el fin de instrumentar a las escuelas capitalinas y de educar a los jóvenes escolares gracias a la Red Sísmica del Bachillerato (RESBAC), desarrollada actualmente por el SSN, la cual estará conformada por sismógrafos de periodo corto y acelerómetros.

De esta manera, hoy existen cinco redes sismológicas permanentes e independientes operando en la CDMX. Éstas son: la RACM, con 81 estaciones acelerométricas; la RSVM, con 28 sismómetros ultrasensibles y 12 acelerómetros; la RA, con 24 acelerómetros; la ROS, con 11 acelerómetros; y la red de la UAM, con cinco acelerómetros. Es decir, hay 149 estaciones sismológicas operando actualmente, las cuales pronto serán complementadas con 20 estaciones más por parte de la RESBAC, para un total de 169 instrumentos en la ciudad.

■ ¿Por qué sumar esfuerzos?

■ Cualquier estrategia de prevención se basa en el conocimiento del fenómeno amenazante y de la sociedad misma (Cruz-Atienza, 2013). Gran parte de este conocimiento surge de la observación del fenómeno; es decir, viene de nuestra capacidad de caracterizar el peligro asociado, de tal forma que podamos cuantificarlo en su justa dimensión. Antes del terremoto de 1985, la ingeniería sísmica mexicana –que justificadamente gozaba del más alto reconocimiento internacional– consideraba que el reglamento de construcción vigente en la CDMX era sobradamente suficiente para resistir futuras sacudidas. Sin embar-



go, el 19 de septiembre de ese año, una realidad diferente se impuso de forma dramática. Esa mañana, unas 10 000 personas murieron en la capital del país bajo los escombros de cientos de edificios colapsados o seriamente dañados. ¿Por qué? La respuesta en realidad tiene varias aristas, pero destaca que el peligro sísmico se desconocía sustancialmente por falta de antecedentes y observaciones.

Desde entonces todo ha cambiado. Nuestro conocimiento actual del peligro sísmico en la ciudad es cada vez más detallado y mucho más fiel a la realidad (conocida), gracias a la instrumentación desplegada a raíz de esa desgracia. Esto, junto con la aplicación adecuada del reglamento de construcción vigente, ha permitido una reducción significativa de los daños en las estructuras durante los grandes sismos recientes (Suárez *et al.*, 2017). El reglamento actual es, por ende, considerado apropiado una vez más. Si bien es cierto que dicha normatividad es de las más confiables del mundo y reposa en estimaciones de peligro robustas, nunca estaremos exentos de un evento inédito. Por ello, el reglamento está sujeto a revisiones periódicas para incorporar los últimos conocimientos que se generen sobre el peligro sísmico (Pérez-Gavilán *et al.*, 2018; Cruz-Atienza, 2013). De este modo, se busca que un terremoto futuro no rebase las normativas de diseño estructural, como ocurrió en 1985. Por ello, con la integración de las cinco redes sismológicas existentes, la sismo-



logía e ingeniería mexicanas tendrán la oportunidad de postular escenarios sísmicos futuros como nunca antes se ha hecho para poner a prueba las medidas preventivas actuales. Es importante precisar también que miles de los edificios hoy habitados en la ciudad fueron edificados con reglamentación anterior a 1985 y que, sumado al daño que han acumulado por haber experimentado varios sismos intensos, podrían sufrir daños significativos en futuras grandes sacudidas (Suárez *et al.*, 2017).

En ese sentido, la respuesta óptima e inmediata de las autoridades después del próximo gran terremoto será esencial para minimizar las consecuencias que pueda tener la sacudida. Para ello es importante contar con información confiable y expedita sobre la magnitud y localización del sismo, así como de la intensidad del movimiento en la CDMX, lo cual conduzca a la toma de decisiones oportunas. La integración de las redes sísmológicas permitirá generar esta información de manera excepcional para entender, a escasos minutos después del sismo, qué fue lo que ocurrió y poder dimensionar rápidamente el evento. El SSN y la UIS de la UNAM son las entidades responsables de generar esta información en el país y en la CDMX. Sin embargo, hasta hoy sólo lo han podido hacer con información limitada en la capital del país.

La integración de la RSCDMX representa la continuación, de una manera coordinada y colaborativa,

del esfuerzo que durante muchos años realizaron diferentes instituciones de forma independiente. Esto, con la finalidad de dotar a la Cuenca de México hoy de una sólida infraestructura sísmológica que permita resolver problemas tan diversos como la estimación detallada del peligro sísmico en la CDMX, los estudios sobre la propagación de las ondas sísmicas y de las fuerzas tectónicas que dan lugar a los terremotos, la determinación de las propiedades físicas del subsuelo en la región, la simulación computacional de terremotos y sus posibles efectos en la infraestructura de la ciudad.

Conformación de la Red Sísmica de la Ciudad de México

La integración de las cinco redes sísmológicas representa un hecho sin precedente en la sísmología mexicana, gracias a un esfuerzo interinstitucional encauzado por su órgano rector, el Comité Asesor, constituido por expertos de todas las instituciones involucradas y miembros del Gobierno de la CDMX. Para poder llevar a cabo esta integración, es imprescindible que todas las estaciones sísmológicas cumplan con los estándares técnicos establecidos por el Comité Asesor. Así, los datos de la red permitirán el monitoreo sísmico continuo y la generación de información útil para la ciudad. Para ello, se requiere que todas las estaciones sísmológicas transmitan sus datos en tiempo real a un centro concentrador que, por su infraestructura y larga experiencia, será el SSN. Un diagnóstico detallado reveló que 105 de las estaciones requieren de alguna actualización en su infraestructura para cumplir con los estándares técnicos necesarios. Dicha actualización tecnológica permitirá tener registros sísmicos dentro de la capital del país para prácticamente cualquier sismo que supere los niveles de percepción, ya sea que ocurra dentro o fuera de la ciudad. Todo este esfuerzo se está llevando a cabo gracias al financiamiento de la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México, la cual, al formar la Red ECOS, ha demostrado un auténtico interés por realizar un esfuerzo interinstitucional en aras del conocimiento y de la población de la CDMX.

Se prevén dos acciones importantes en un futuro inmediato. La primera es la expansión de la red, con la instalación de más estaciones sismológicas y acelerográficas en zonas de la ciudad en donde no se tiene una adecuada cobertura para el monitoreo y la caracterización de la sismicidad. La segunda es garantizar los fondos para la operación y el mantenimiento de la red ampliada por parte de las administraciones que sucedan a la actual.

El grupo de trabajo de la RSCDMX está integrado por:

Jorge Aguirre González

Coordinación de Ingeniería Sismológica, Instituto de Ingeniería, UNAM.

joagg@pumas.iingen.unam.mx

Gilberto Castelán Pescina

Cenapred.

gilberto@cenapred.unam.mx

Víctor M. Cruz Atienza

Departamento de Sismología, Instituto de Geofísica, UNAM.

cruz.atienza@gmail.com

Juan Manuel Espinosa Aranda

Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A. C.

jm.espinosa@cires-ac.mx

Alonso Gómez Bernal

UAM Azcapotzalco.

agb@azc.uam.mx

Xyoli Pérez Campos

SSN, Instituto de Geofísica, UNAM.

xyolipc@sismologico.unam.mx

Luis Quintanar Robles

Departamento de Sismología, Instituto de Geofísica, UNAM.

luisq@igeofisica.unam.mx

Leonardo Ramírez Guzmán

Unidad de Instrumentación Sísmica, Instituto de Ingeniería, UNAM.

LRamirezG@iingen.unam.mx

Referencias específicas

Cruz-Atienza, V. M. (2013), *Los sismos. Una amenaza cotidiana*, México, La Caja de Cerillos Ediciones. ISBN: 978-607-8205-05-9.

Cruz-Atienza, V. M. (2018), "Cuando la Tierra tiembla y las certezas se tambalean", *Revista de la Universidad de México*, 834:120-123.

Cruz-Atienza, V. M., S. K. Singh y M. Ordaz (2017), "¿Qué ocurrió el 19 de septiembre de 2017 en México?", *Revista Digital Universitaria*, 18(7): en línea. Disponible en: <doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2017.v18n7.a10>, consultado el 9 de noviembre de 2020.

Gutiérrez, C. A., R. F. Quaas, M. Ordaz, E. Guevara, D. Muriá y S. Singh (2005), "Instrumentación Sísmica", en *Sismos* (Serie Fascículos, pp. 28-36), México, Centro Nacional de Prevención de Desastres. Disponible en: <http://cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/163-FASCCULOSISMOS.PDF>, consultado el 9 de noviembre de 2020.

Krishna Singh, S., L. Quintanar-Robles, D. Arroyo, V. M. Cruz-Atienza, V. H. Espíndola, D. I. Bello-Segura y M. Ordaz (2020), "Lessons from a Small Local Earthquake (Mw 3.2) That Produced the Highest Acceleration Ever Recorded in Mexico City", *Seismol. Res. Lett.* 91, 3391-3406, doi: 10.1785/0220200123.

Pérez-Gavilán J. J., J. Aguirre y L. Ramírez (2018), "Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: lecciones aprendidas en México", *Salud Pública de México*, 60(1):s40-s50.

SSN (2020), "Reporte especial: Secuencia sísmica del 12 al 18 de julio de 2019, Cuenca de México (M 3.0)", *Servicio Sismológico Nacional*. Disponible en: <http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2019/SSNMx_rep_esp_20190712_CuencaDeMex_M25.pdf>, consultado el 9 de noviembre de 2020.

Suárez, G., S. Alcocer y V. M. Cruz-Atienza (2017), "Por quien doblan las alertas", *Letras Libres*, 227: 14-20.