

El Rompecabezas de la Sismicidad del Poniente de la Ciudad de México

Leonardo Ramírez Guzmán¹, Moisés Contreras Ruiz Esparza¹, Jorge Aguirre González¹, Baruo Daniel Aldama-Sánchez¹, Asmit Roy Burman², Miguel Ángel Carrillo Lucía¹, Miguel Leonardo Suárez¹, Marco Antonio Macías Castillo¹, Beatriz Contreras Ruiz Esparza², y Miguel Ángel García Illescas¹.

1. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

2. Disaster Management Studies Department, Indian Institute of Remote Sensing, Indian Space Research Organisation

En diciembre de 2023 la naturaleza nos recordó que los sismos que percibimos en la capital además de poder tener un origen local pueden traer consecuencias desafortunadas. En esta ocasión los eventos se presentaron en los alrededores de Mixcoac y, a diferencia de otros sismos locales recientes, causaron daños. Desafortunadamente, hasta hoy estábamos lejos de una explicación definitiva sobre el origen de los microsismos, como se les ha denominado recientemente en diversos comunicados oficiales y notas periodísticas a los sismos de baja magnitud que han acontecido en diversos periodos al poniente de la capital. Aunque quizás inadecuado, el término también se ha utilizado de forma un poco arbitraria en la literatura técnica. Aquí presentamos una síntesis de lo que sabemos hasta hoy y los resultados preliminares de una investigación desarrollada en el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Además, esbozamos las acciones que consideramos importante llevar a cabo para ahondar en las causas del movimiento y poder conocer y mitigar sus efectos posibles.

Sismos en el valle de México

Los sismos en la capital, y en general en el valle de México, no son nuevos. En un recuento de la sismicidad registrada en la región y sus alrededores en la primera mitad del siglo XX, Figueroa (1971) reportó más de doscientos temblores; seis de ellos fueron clasificados como fuertes, alcanzando en algunos sitios hasta VI en la escala de intensidades de Mercalli modificada.

En las dos décadas siguientes, el mismo autor reportó 541 sismos localizados en el valle de México. Las intensidades máximas durante esos años fueron VI en tres sismos. Si bien los sismos reportados ocurren en diversos sitios dentro del valle de México, Figueroa (1971) también hace referencia específica a tres enjambres sísmicos, como se conoce a un conjunto de sismos que ocurren en un lapso corto de tiempo y en un área bien delimitada. Los dos primeros enjambres ocurrieron en julio de 1950 y septiembre de 1956, respectivamente. Los enjambres se atribuyeron a la falla próxima a la presa Mixcoac, alrededor de 3.5 km al poniente de donde se han observado los sismos en diciembre de 2023 y enero 2024. El tercer enjambre ocurrió en agosto de 1959 y los eventos se localizaron 3 km al norte de Santa Cruz Ayotuzco, sobre la falla del mismo nombre, aproximadamente 20 km al oeste de Mixcoac. Asimismo, en febrero de 1981 y muy cerca a Mixcoac, Havskov (1982) reportó un enjambre de 5 sismos cuyas magnitudes estimadas fueron de 2.7 a 3.2. La instalación de estaciones portátiles junto con estaciones permanentes del Instituto de Ingeniería, el Instituto de Geofísica y de la red RESMAC, todas de la Universidad Nacional, permitió un análisis sin precedentes de la actividad sísmica en esa zona de la capital, usando el registro de 15 estaciones.

En la última década del siglo XX, y desde entonces, la actividad sísmica en el valle ha sido reportada de manera consistente por el Servicio Sismológico Nacional (SSN). La cantidad de sismos reportados ha oscilado; el número de sismos permaneció bajo (menor a 6 eventos por año) hasta 2012 con excepción de 1999 y 2003. A partir de la segunda década del siglo XXI, se ve un incremento substancial en los eventos reportados, que está correlacionado con el incremento de la instrumentación. Hoy es posible detectar sismos de magnitudes cercanas a 0.3 en algunas zonas. Sin tomar en cuenta el crecimiento de las redes de monitoreo se podría pensar que se ha incrementado la actividad sísmica en la Ciudad de México, lo cual no se puede sustentar. Gracias al monitoreo hoy sabemos que la sismicidad ha ocurrido en la capital desde que tenemos registros, a principios del siglo veinte, los sismos no han excedido la magnitud 4 y que se han presentado con epicentros cercanos a la superficie.

La secuencia de diciembre 2023-enero 2024

De acuerdo con el SSN (2024), del 3 de diciembre de 2023 al 10 de enero de 2024 se han presentado 23 eventos de magnitudes de 1.1 a 3.2, ubicados en las alcaldías de La Magdalena Contreras y Álvaro Obregón, todos con profundidades menores a 1.4 km. La figura 1 ilustra con círculos los epicentros de la secuencia mencionada de acuerdo a las estimaciones del SSN.

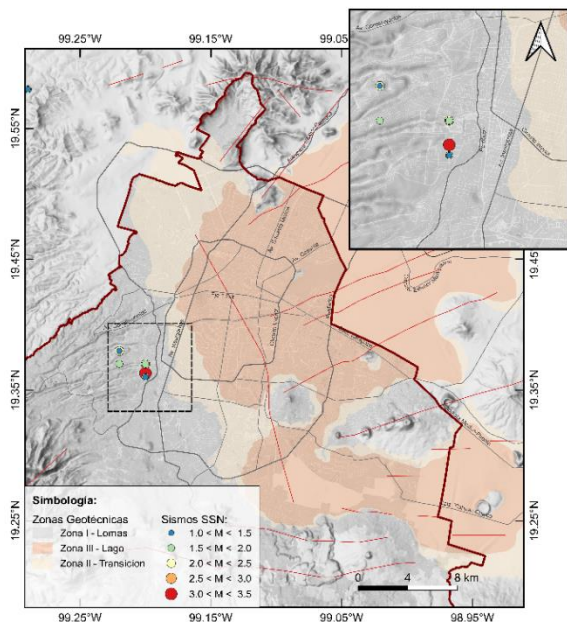


Figura 1. Sismicidad del valle de México. Se muestran los sismos reportados por el SSN de diciembre de 2023 a enero de 2024

La serie de sismos causó daños a diversas estructuras y de acuerdo a la Secretaría de Protección Civil de la Ciudad de México, ocho estructuras fueron dañadas gravemente y se han reportado un gran número de daños en la zona de Mixcoac. La figura 2, muestra una compilación de los sitios que se han reportado con daño y que hemos verificado, junto con algunas fotografías del tipo de agrietamiento en la carpeta asfáltica y en estructuras.

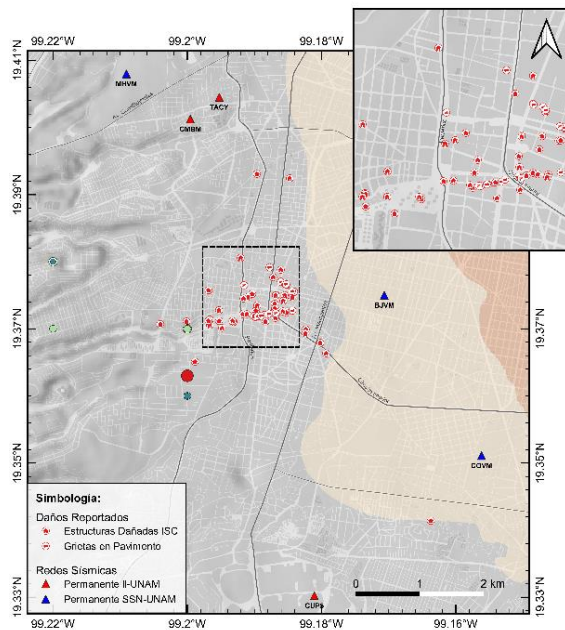


Figura 2. Daños en la zona

La causa de los sismos

En la literatura técnica y no técnica se han propuesto diversos mecanismos que dan origen a los microsismos, algunos pocos científicos que rayan en el sensacionalismo y otros que requieren análisis detallado. La explicación más sencilla, y que favorecemos sin duda, es la reactivación de fallas geológicas presentes en la zona, algunas de las cuales no están mapeadas. Algunas investigaciones preliminares sugieren que el movimiento observado corresponde al causado por fallas de tipo normal, lo cual veremos un poco más adelante y que coincide con nuestra investigación preliminar. Sin embargo, la incertidumbre en las ubicaciones de los sismos con las estaciones de la red permanente no permite identificar de manera contundente las fallas causantes. Algunos efectos que podrían provocar la activación mencionada son la acumulación de tensión regional, el hundimiento del valle de México y la recarga del acuífero que alimenta a la zona metropolitana que en ambos casos podrían originar esfuerzos capaces de inducir los temblores. Además, se ha manejado una hipótesis que propone que los sismos de gran magnitud con epicentro en la costa propician condiciones de desequilibrio, actuando como precursoras de sismos locales.

Campaña de Monitoreo y Evaluación de Daños del Instituto de Ingeniería

Dada la importancia de los eventos y los daños reportados, la Coordinación de Ingeniería Sísmológica y la Unidad de Instrumentación Sísmica (UIS) del Instituto de Ingeniería instalaron un arreglo de estaciones de registro sísmico con sensores de velocidad y aceleración en la zona. La figura 3 muestra la ubicación de los puntos de medición. La red ha grabado de manera continua desde la tercera semana de diciembre de 2023 hasta principios de febrero de 2024. Gracias a este arreglo se reubicaron los epicentros de sismos reportados por el SSN, las diferencias entre las estimaciones son notables. Al parecer la distribución de la red permanente del SSN y la Red Acelerográfica del Instituto de Ingeniería—operada por la UIS— que comparten información, no es suficiente para localizar de manera robusta sismos en esa zona de la capital.

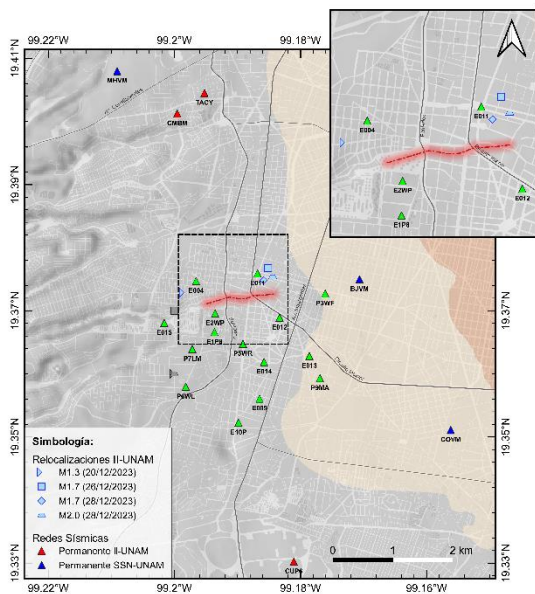


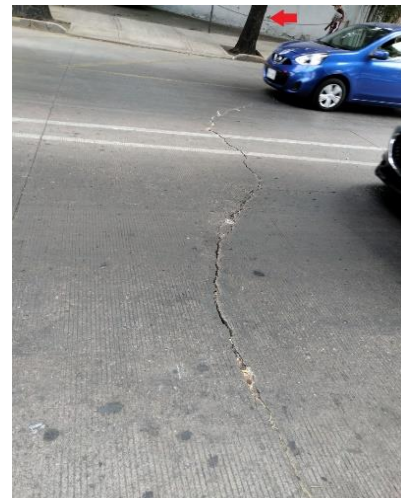
Figura 3. Estaciones permanentes y temporales, falla mapeada, epicentros del SSN en gris y relocalizaciones obtenidas en este estudio en azul

Una vez reubicados algunos de los sismos y teniendo presente que los daños ocurrieron más cerca de los nuevos epicentros hicimos un recorrido por la zona cercana a los mismos. Con sorpresa, encontramos una “grieta” de poco más de un kilómetro de longitud que cruza casi ininterrumpidamente la zona de Mixcoac (ver

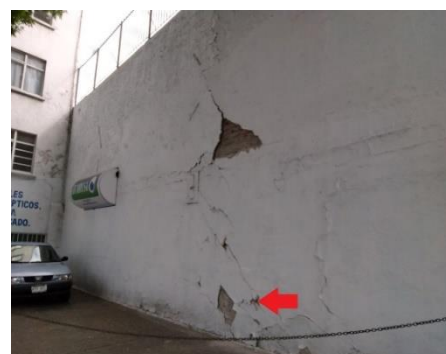
figura 3 y 4). Esta observación y la evidencia de algunos daños que sugieren deformaciones permanentes en el suelo requería de un análisis con observaciones de otro tipo.



a)



b)



c)

Figura 4. Daños en la zona: a) “Grieta” que recorre un estacionamiento y daña el muro a su paso. b) Grieta” sobre Circuito Interior. c) la misma grieta sobre circuito interior que daña el muro a su paso

Algunos resultados preliminares: ¿La falla Plateros-Mixcoac o una zona reactivada de una estructura mayor?

La mejor alternativa para determinar movimientos permanentes del terreno en grandes áreas son las imágenes satelitales; así recolectamos información de varios días e hicimos un análisis conocido como DInSAR para identificar desplazamientos a ambos lados de la “grieta”, con la intención de determinar si había algún patrón que se pudiera asociar a la expresión superficial de una falla. La figura 5 muestra nuestra interpretación preliminar de la información mencionada. La escala de colores representa el desplazamiento vertical del suelo. Al norte de la “grieta” se presentan hundimientos o desplazamientos negativos que se extienden ortogonalmente, aproximadamente 500 m, y al sur pequeños desplazamientos positivos con un área de influencia menor.

El patrón es similar al desplazamiento permanente generado por una falla de tipo

normal, la cual puede ser independiente y que no había sido identificada antes, pero sí sugerida por muchos autores, o quizás es parte de un segmento no identificado de las fallas reportadas en la literatura técnica. Este hallazgo, al cual llamaremos la falla Plateros-Mixcoac ha sido de alguna forma propuesto en conversaciones con académicos e inclusive se sugiere en el mapa de riesgos de la Ciudad de México, pero nunca se había sido confirmado. Lo hemos corroborado de manera preliminar mediante: a) epicentros en la zona norte de la falla Plateros-Mixcoac y b) desplazamientos verticales o hundimientos cuyo patrón es el de una falla normal.

Las dimensiones y potencial de la falla Plateros-Mixcoac son un tema de investigación en la UNAM, pues el impacto que puede tener en las construcciones no se ha cuantificado y las estimaciones usadas para definir las acciones de diseño en la zona no consideraron que la falla exista.

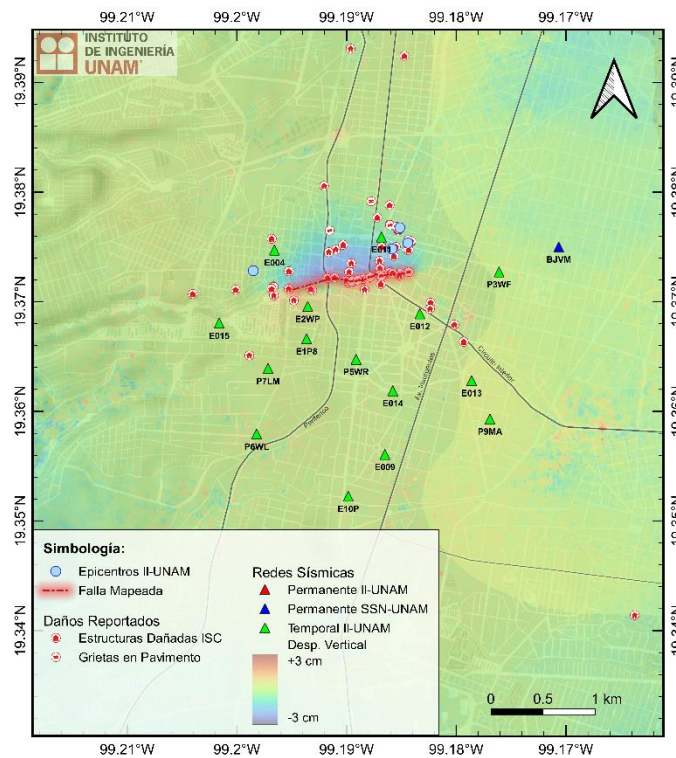


Figura 5. Desplazamientos verticales. Interpretación de imágenes satelitales, estaciones y localizaciones epicentrales, falla mapeada y daños

Conclusión y reflexión final

El cuestionamiento natural del lector debe ser ¿Qué más necesitamos conocer y qué impacto tiene la presencia de la falla en los edificios, casas e infraestructura de la zona?

La respuesta a la primera parte de la pregunta la conocemos. Debemos determinar mediante métodos de exploración convencionales activos, como la reflexión sísmica, la geometría de la falla Plateros-Mixcoac — no es un buen momento para hacer pruebas con métodos que ofrecen poca resolución— y mediante un monitoreo continuo con Sistemas de Posicionamiento Geográfico (GPS) la velocidad con la que se mueve la superficie.

Los resultados e información arriba mencionados nos ayudarán a contestar la segunda parte de la interrogante, pues son indispensables para obtener las acciones que deberían soportar las estructuras y contrastarlas con la normatividad actual. En preparación, en el Instituto de Ingeniería continuaremos monitoreando y comenzaremos a estimar escenarios para determinar el impacto, empleando por lo pronto las herramientas que tenemos a la mano, para cumplir con la misión de ayudar en la solución de problemas nacionales que tiene encomendada nuestra universidad.

Referencias

Figuroa, J. (1971). Sismicidad en la cuenca del Valle de México. Serie de Investigación 289. México: Instituto de Ingeniería, UNAM.

Havskov, J. (1982). The earthquake swarm of february 1981 in Mexico City. *Geofísica Internacional*, 21(2), 157–175. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1982.21.2.909>

Servicio Sismológico Nacional (SSN, 2024). Universidad Nacional Autónoma de México, <http://www.ssn.unam.mx/>

Reconocimientos

Al personal de la Unidad de Instrumentación Sísmica y Coordinación de Ingeniería Sismológica que participaron en la instrumentación de campo: Mauricio Ayala Hernández, Héctor Sandoval Gómez, Miguel Ángel Carrillo, Lucia, Cristian R. Tejada Malpica, Alejandro Mora Contreras, Luis Alberto Aguilar Calderón, Israel Molina Ávila, Ricardo Vázquez Larquet, Leonardo Ramírez Guzmán, Moisés Contreras Ruiz Esparza, Marco Antonio Macías Castillo, Juan Manuel Velasco Miranda, Gerardo Castro Parra, Miguel Leonardo Suárez, David Almora Mata, y Javier Lermo Samaniego. Y en el preprocesamiento de los registros de campo a: Citlali Pérez Yáñez, Ana Laura Ruiz Gordillo, y María del Rosario Delgado Diance.

Agradecimientos

A Nueva Walmart de México, en especial a la Lic. Alejandra Leonel de Cervantes y al Ing. Germán Garate, gracias a su intervención se permitió la instalación de equipos de medición en tres sucursales. La Biól. María Dolores Valle, Directora General de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP), nos permitió y auxilió en la gestión necesaria para la instalación de equipo en la ENP 8.

Al Licenciado Rafael Humberto Marín Camranis, Director General de Análisis de Riesgos de la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil (SGIRPC) de la Ciudad de México, quien nos brindó las facilidades para la instalación de un equipo en las oficinas de SGIRPC. Agradecemos al Ing. Sergio Benigno Paredes, a Joaquín Jaubert Denie, y a todos los vecinos de la zona, quienes nos permitieron instalar un equipo en su domicilio.

Este trabajo fue realizado en el marco de la autonomía de la UNAM y bajo los principios de libertad de investigación establecidos en su Ley Orgánica. La UNAM se deslinda de cualquier responsabilidad por el uso aplicado de los datos o información presentados en este trabajo, que no representan una postura oficial de la Institución. Los hallazgos y conclusiones son responsabilidad exclusiva del autor.