

Logros y retos ante los desastres por sismos

En México y en el mundo, los desastres producidos por sismos de gran intensidad se han mitigado con el apoyo de la investigación científica; sin embargo, aún hay desafíos por atender. Sin duda, en nuestro planeta seguirá temblando, por lo que debemos mantener la guardia en alto, con estrategias permanentes de actualización y políticas eficientes de prevención y control de riesgos sísmicos.

Introducción

En muchas ocasiones, los sismos han generado grandes desastres tanto en México como en otros lugares del mundo (Pérez Campos, 2018), lo cual incluye las diversas consecuencias respecto a las pérdidas humanas (véanse las Tablas 1 y 2) y también económicas, como son las caídas del producto interno bruto, el endeudamiento que compromete el apoyo para las próximas generaciones y la distracción de recursos financieros que de otra forma podrían haberse utilizado para el desarrollo y crecimiento (véase la Figura 1).

Tabla 1. Datos de algunos de los mayores desastres por sismos en el mundo.

Año	Lugar	Fallecimientos	Magnitud
1138	Aleppo, Siria (Sbeinati y cols., 2005)	230 000 (aprox.)	Desconocida
1556	Shaanxi, China	830 000 (aprox.)	8
1976	Tangshan, China	255 000 (aprox.)	7.8
2004	Sumatra, Indonesia	227 000 (aprox.)	Temblor 9.1 y tsunami

Tabla 2. Datos de los mayores desastres por sismos en México.

Año	Lugar de la fuente	Fallecimientos	Magnitud
1957	Guerrero	54	7.9
1985	Michoacán	> 10 000	8.1, réplica 7.9
1995	Colima	49	8
2017	Puebla	370	7.1





Figura 1. Destrucción causada por el terremoto de magnitud 7.8 en Bhaktapur, Nepal, en 2015 (fotografía: ABC Ciencia y Reuters).

Peligro sísmico

La probabilidad de que ocurra un sismo.

El elevado nivel de **peligro sísmico** en varias regiones de nuestro país reclama una constante atención, preparación y actualización por parte de diferentes instituciones públicas, autoridades, asociaciones y sociedades profesionales, organismos de supervisión, entre otros, relacionados todos con la planeación, diseño, construcción, inspección, mantenimiento y operación de obras; para ello, en especial, la ingeniería sísmica está más involucrada que en otras ramas de la ingeniería.

Periodo de retorno

Tiempo medio entre ocurrencias de dos sismos con magnitud igual o mayor que un valor dado.

En los países que tienen zonas de alto peligro sísmico (como Estados Unidos de América, Japón, Chile y México, entre muchos otros) la industria de la construcción se enfrenta a la encrucijada de lograr un balance entre los niveles de seguridad establecidos como aceptables –dependiendo del peligro sísmico estimado en el sitio de interés– y la necesidad de mantener un nivel de economía plausible para que la inversión pública y privada en las construcciones siga resultando atractiva para seguir en la vía de resolver las necesidades de vivienda, trabajo y esparcimiento de la población. La estimación del peligro sísmico debe entonces tomar en cuenta tanto la información estadística directa disponible para el sitio de interés como la que se derive de modelos matemáticos sobre la posible actividad futura de las fuentes sísmicas

Riesgo sísmico

Incluye el peligro sísmico, la vulnerabilidad de las construcciones y el costo de las consecuencias por el daño o falla de la construcción.

cercanas, las cuales sean capaces de generar sismos con intensidades significativas. A partir de esta información, tomando en cuenta el objetivo de lograr el balance entre los niveles de seguridad y los impactos económicos, se determina el **periodo de retorno** de la intensidad sísmica que se adoptará para el diseño y se establecen los criterios y factores de seguridad necesarios para mantener a un nivel suficientemente bajo la probabilidad de colapso del sistema en caso de que se vea sometido a un temblor de gran magnitud. Al evaluar los niveles de seguridad para un valor dado de la intensidad sísmica, deberán tomarse en cuenta las incertidumbres en las características detalladas del movimiento del terreno que puedan afectar las respuestas dinámicas de las construcciones.

La historia reciente de eventos sísmicos ocurridos en México ha sido muy significativa para la actualización de las estimaciones del peligro y del **riesgo sísmico**: el llamado temblor del Ángel de la Independencia en 1957, el terremoto de 1985 y los sismos de la década de 1990 nos habían hecho pensar que los temblores que contribuían significativamente al peligro sísmico en la Ciudad de México tenían su epicentro en la vecindad de la costa del Pacífico. Sin embargo, con los más recientes eventos de 2017 se reconoció la importancia de los **temblores intraplaca**

Temblores intraplaca

Sismos que se generan dentro de una placa tectónica.

con epicentros cercanos a las grandes poblaciones, así como los temblores con focos poco profundos (véase la Figura 2).

Desde hace algún tiempo, los especialistas se comenzaron a dar cuenta de que se pueden generar grandes pérdidas económicas sin que necesariamente un sismo sea de gran magnitud, sin que haya muchas muertes o sin que las construcciones experimenten un colapso total. Uno de estos eventos fue el sismo de Northridge, California, en 1994. Con una magnitud de 6.7, provocó 33 muertes, además de pérdidas equivalentes a 40 billones de dólares, por lo que hasta la fecha se distingue como el que mayor impacto ha tenido en la industria de los seguros en Estados Unidos de América. El primer motivo fue que el movimiento sísmico se generó en una falla que no era conocida; además, la mayoría de los daños en las construcciones ocurrieron en las juntas de los miembros de acero, sobre todo fallas de fractura frágil, que no estaban previstas en la versión de las recomendaciones para el diseño de estructuras de acero de entonces. Debido al número y localización de estos daños, fue necesario demoler y reconstruir un gran número de construc-

ciones; en otras, las reparaciones tomaron mucho tiempo. Esto derivó en un alto monto de pérdidas por la interrupción de operaciones productivas de las construcciones afectadas (como tiendas departamentales y hospitales).

Estrategias de mitigación


 La naturaleza transversal y multidisciplinaria del problema implica que ha crecido la importancia de mejorar la comunicación y el entendimiento entre las distintas ramas del proceso y la industria de la construcción, lo cual remarca la necesidad de generar alianzas y colaboraciones en los aspectos de planeación, diseño, construcción, supervisión y mantenimiento de obras (De León, 2018). Lo anterior es pertinente tanto para construcciones específicas con un desafío técnico especial como, en general, para mejorar nuestro entendimiento de los sismos y, en muchos casos, optimizar la eficacia marginal que se logra con una disciplina, pero que ignora a las demás. Por ejemplo, en los proyectos deben involucrarse especialistas en arquitectura, geotecnias, geofísica, economía,



Figura 2. Edificio de la colonia Condesa, Ciudad de México, dañado por el sismo de magnitud 7.1. en 2017 (fotografía: *El País*, Marco Ugarte, AP).

sociología, directores responsables de obra, etcétera. En el caso de la Ciudad de México, es fundamental la participación del Instituto para la Seguridad de las Construcciones y el seguimiento al proyecto del Consejo Consultivo Sobre Sismos, que promueve la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.

El reto de dar a la sociedad una respuesta eficaz en las tareas posteriores a un sismo, más allá del protagonismo de quienes sólo desean recibir el crédito, pero que no contribuyen de un modo efectivo, sigue siendo un área de oportunidad en México. Las labores desinteresadas del voluntariado, para el rescate y la evaluación de edificios, necesitan de coordinación, capacitación y asesoría técnica para aprovechar mejor los talentos de quienes colaboran, así como un entrenamiento mínimo para uniformizar criterios en las tareas de dictamen de las instalaciones. La participación conjunta con especialistas en sociología también redundará en incrementar la eficacia de las acciones, sobre todo para apoyar a la población que debe abandonar sus casas en zonas en donde aún hace falta que la autoridad asegure el estado de derecho para la protección de los bienes de las personas. Sin duda, los aspectos de planeación, organización y

coordinación que se detallan más adelante abonan en pro de contar con una mejor capacidad de respuesta para beneficio de la sociedad ante la eventualidad de un sismo que provoque daños serios.

Los dilemas relativos a la vivienda, sobre todo en las zonas marginadas, donde resalta el grave problema socioeconómico que afecta a la mayor parte de la población, así como la laxa aplicación en ocasiones de las normas sobre el uso adecuado del suelo, los asentamientos en zonas de alto peligro, la falta de una autoconstrucción informada, entre otros factores, crean condiciones adversas para la mitigación del riesgo sísmico. Un problema aparte es el de las escuelas y los hospitales donde –de nuevo– las condiciones de marginación y pobreza del país, en conjunto con la falta de reglamentos de construcción adecuados, contribuyen a que los sismos encuentren a la sociedad desprotegida y provoquen daños serios o colapsos –con las consecuentes muertes–, además de un mayor atraso en el ya de por sí relevante déficit de instalaciones físicas para la educación y salud en México (véanse las Figuras 3 y 4).

No obstante, actualmente hay señales alentadoras, tanto del Instituto Nacional de la Infraestructura



Figura 3. Escuela dañada en Oaxaca por el sismo de 2017 (fotografía: Gobierno de Oaxaca).




Figura 4. Hospital General colapsado por el terremoto de 1985 (fotografía: USGS, Wikimedia Commons).

ra Física Educativa, ya que se cuenta con un reglamento nacional de construcción de escuelas, como del Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), para la promoción de la estrategia de contar con hospitales seguros (en este caso se está impulsando un reglamento también nacional). Dichos esfuerzos deberán fortalecerse para alcanzar el éxito en materia de mitigación de riesgos sísmicos para este tipo de construcciones.

Adicionalmente, otra señal alentadora en materia de seguridad sísmica en México es la creación del Instituto de la Seguridad Estructural para las Construcciones en la Ciudad de México, que tiene la misión de garantizar la seguridad y calidad de las obras. En todos los municipios y estados del país deberían existir organismos similares.

Oportunidades para el control y la reducción de los desastres

 Algunos elementos que aportan al optimismo para enfrentar el reto de controlar y mitigar los desastres producidos por sismos son, entre otros:

- La frecuente actualización de los reglamentos, como el de la Ciudad de México (Gobierno de la Ciudad de México, 2017), así como los manuales de construcción y los comités que les dan seguimiento.
- Como parte del punto anterior, la búsqueda de las mejores prácticas y el desaliento del uso de sistemas y materiales que han demostrado poca eficiencia para resistir a los temblores en nuestro país.
- La incorporación de experiencias y las lecciones que aún quedan por aprender por parte de las sociedades técnicas, el Colegio de Ingenieros Civiles y Arquitectos, además de organismos como el Cenapred, la Alianza para la Formación e Investigación en Infraestructura para el Desarrollo de México (Alianza Fiidem) y demás encargados de difundir, entre los profesionistas de la construcción, estudiantes e interesados, información y orientación en cuanto a no bajar la guardia y detallar la correcta aplicación de las normas, guías y conceptos que subyacen a la interpretación del peligro sísmico y el uso de los estándares

Reparación óptima
Estrategia que minimiza el valor presente del costo esperado de daños en el ciclo de vida.

- más adecuados para el diseño y la construcción en las zonas sísmicas de México.
- La introducción y socialización de aspectos novedosos –como la resiliencia, sustentabilidad, **reparación óptima**– que toman en cuenta el daño acumulado, la posible pérdida parcial o total de equipo u objetos importantes (como en un hospital o en un museo) y el valor del servicio u operación de la construcción durante su vida útil.

Tal vez la prevención y preparación conformen actualmente el eslabón más débil de la cadena de la protección civil, pues todavía falta mucho por hacer para lograr la optimización de inversiones, ya que es evidente que cada vez que ocurre un sismo significativo, independientemente de las pérdidas humanas producidas, cuesta más estar reconstruyendo y reparando construcciones que invertir en proveer de la seguridad sísmica necesaria.

En ese sentido, los simulacros deben tomarse con mayor seriedad e incorporar el ensayo de acciones de coordinación entre líderes de las dependencias ligadas al tema de la ayuda que se les brindaría a las víctimas. La capacitación de quienes ejecuten los trabajos de rescate y evaluación de la seguridad estructural en las construcciones es también un aspecto clave para el éxito del proceso. Y, ante todo, es necesario que se siga promoviendo la participación y cultura de preparación y autocuidado de las comunidades.

Además, una oportunidad que no debe soslayarse es la cobertura de las necesidades de formación: desde programas escolarizados en las instituciones de educación superior ubicadas en zonas sísmicas hasta ofertas de actualización rápida (como la iniciativa de aceleración del conocimiento de la Alianza Fii-dem, los programas de capacitación del Instituto de la Cámara de la Construcción, así como los cursos, simposios y congresos organizados por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural y la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, entre otras). Aunado a todo ello están las múltiples ventanas de oportunidad para la acción conjunta y colaboración internacional (por ejemplo, con el Earthquake Engineering Research Institute, el gobierno de Taiwán, la Asocia-

Disipadores de energía
Dispositivos de control para reducir los efectos de la respuesta dinámica de las estructuras.

ción Internacional de Ingeniería Sísmica, etcétera). Asimismo, de la colaboración con la industria de los seguros podrían derivarse alianzas importantes para impulsar la cultura de la cobertura contra sismos, al menos por parte de los sectores de la población con capacidad de contratarla.

Avances y retos de investigación en la ingeniería sísmica

■ La investigación realizada en México ha contribuido de manera relevante al desarrollo de criterios de diseño sísmico con un enfoque para la optimización del ciclo de vida de las construcciones, por medio de metas establecidas de confiabilidad y desempeño esperado, así como a partir del desarrollo de los primeros mapas de regionalización sísmica en el mundo (Esteva, 1967; Esteva, 2018; Rosenblueth, 1993; Rosenblueth y Esteva, 1966; Rosenblueth y Esteva, 1972).


Sin embargo, aún urge mejorar las normas de diseño estructural y los criterios de supervisión y control de calidad en muchas zonas sísmicas de diversos estados del país, algunas de ellas altamente marginadas. Otro reto es lograr la interacción eficiente entre la investigación y la práctica de los arquitectos, ingenieros estructurales y especialistas en geotecnia, así como entre colegios y asociaciones gremiales que no siempre comparten objetivos ni estrategias o acciones en el espacio de trabajo; así, es necesario enfatizar la misión de los profesionales involucrados en estos temas, con un enfoque de servicio social y no sólo de beneficios económicos personales. Estas distorsiones o dislocaciones del mercado de la ingeniería producen una falta de unidad en el gremio que lo debilitan para enfrentar los retos relacionados con los temblores; esto le ocurre a la ingeniería en general, pero a la ingeniería sísmica en particular. La falta de certificación profesional, que actualmente es voluntaria, reduce las posibilidades de tener una calidad adecuada y uniforme en los proyectos de las construcciones y deja a los deseos de los dueños la selección de la oferta de mejor calidad.

Mención aparte merece el tema de los **disipadores de energía**, que han sido valorados en investi-



gaciones científicas para mostrar sus ventajas (Sosa y Ruiz, 1992), pero que en la práctica aún se topan con la desconfianza de los usuarios y la costumbre de considerar sólo el costo inicial de los proyectos y no la reducción del costo futuro esperado por el desempeño de los disipadores en la vida útil de la construcción.

Conclusiones

 En México, como en todos los países con un elevado peligro sísmico, el reto es latente; pese a los avances y las señales alentadoras, no debemos bajar la guardia. La mejor actitud ante el hecho de que la amenaza seguirá siendo parte de nuestra vida es prepararse, seguir aprendiendo y ejercitar la mejora continua en las prácticas de planeación, diseño, operación, supervisión, mantenimiento y protección civil, entre otras vertientes transversales a la vida de la sociedad. Las alianzas entre organismos e instituciones relacionadas con la mitigación de desastres

sísmicos, el espíritu de colaboración desinteresada y la proactividad de todos en torno a la cultura de preparación ayudarán, sin duda, al logro de avances sólidos hacia la meta de que nuestra sociedad mitigue a niveles razonables el riesgo sísmico al que se encuentra expuesta.

David de León Escobedo

Universidad Autónoma del Estado de México.
daviddeleonescobedo@yahoo.com.mx

Luis Esteva

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
lestevam@iingen.unam.mx

Referencias específicas

- De León, D. (2018), "El papel de la ingeniería ante los sismos", *Ciencia*, 69(3):24-29.
- Esteva, L. (1967), "Criterios para la construcción de espectros para diseño sísmico", Tercer Simposio Panamericano de Estructuras, Caracas, Venezuela.
- Esteva, L. (2018), "Peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmico", *Ciencia*, 69(3):30-35.
- Gobierno de la Ciudad de México (2017), *Normas técnicas complementarias para diseño por sismo*, México, Gobierno de la Ciudad de México.
- Pérez Campos, X. (2018), "Presentación. Los sismos", *Ciencia*, 69(3):6-7.
- Rosenblueth, E. (1993), "Diseño óptimo en ingeniería sísmica", X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Puerto Vallarta, México.
- Rosenblueth, E. y L. Esteva (1966), *On seismicity. Seminar on Applications of Statistics in Structural Mechanics, Civil and Mechanical Engineering*, Filadelfia, University of Pennsylvania.
- Rosenblueth, E. y L. Esteva (1972), "Reliability Basis for Some Mexican Codes Publication", *ACI Special Publication*, 31:1-42.
- Sbeinati, M. R., R. Darawcheh y M. Mouty (2005), "The historical earthquakes of Syria: an analysis of large and moderate earthquakes from 1365 B.C. to 1900 A.D.", *Annals of Geophysics*, 48(3):347-435.
- Sosa, A. y S. Ruiz (1992), "Análisis estructural y costos en edificios con aisladores sísmicos", *Ingeniería Sísmica*, 44:11-28.