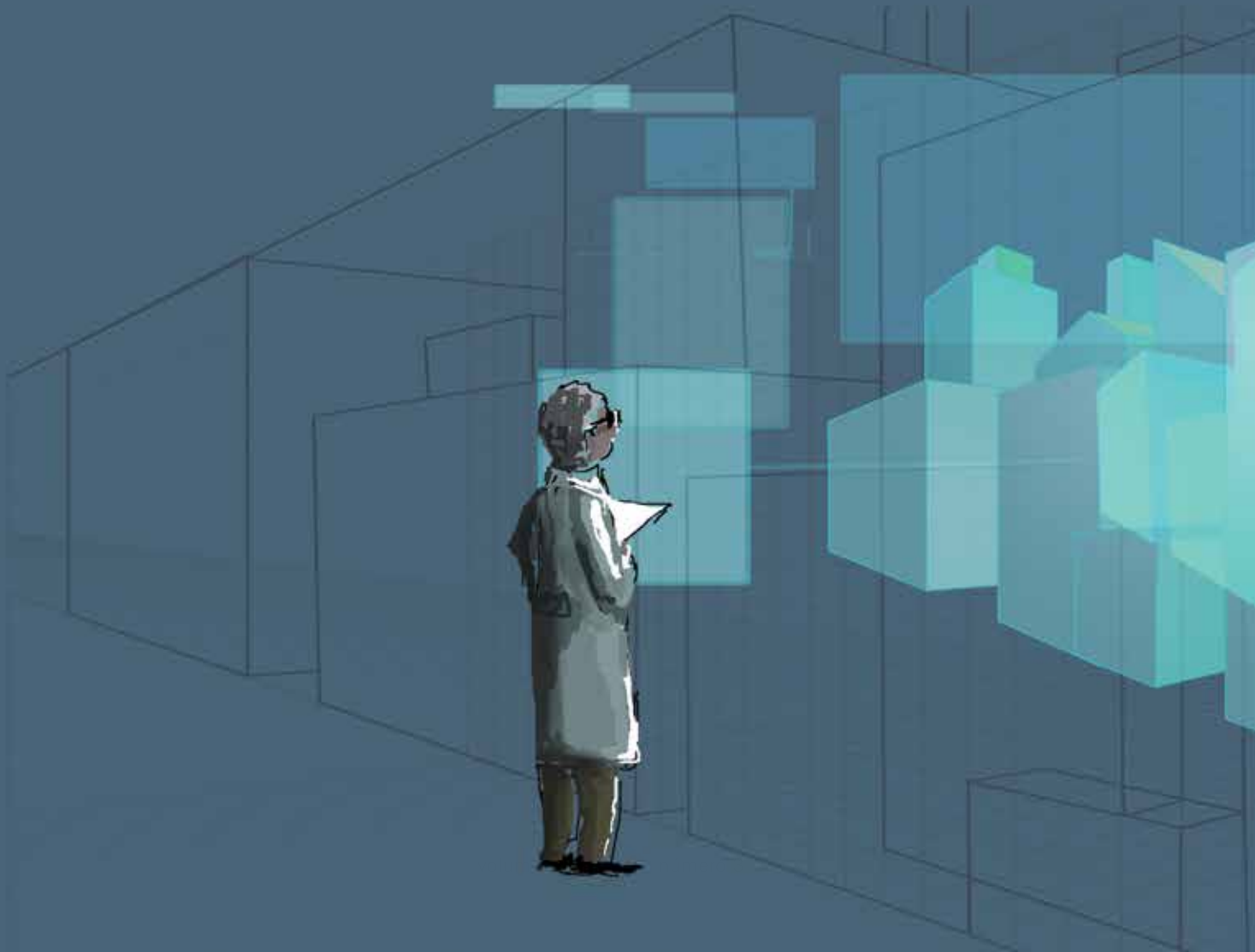




# El papel de la **INGENIERÍA** ante los sismos

La ingeniería sísmica contribuye a reducir los desastres producidos por los temblores. Aquí se discuten los retos y las oportunidades para mejorar los procesos de preparación con vistas a que nuestro país enfrente, con mayores posibilidades de éxito, los sismos que inexorablemente seguirán ocurriendo.



## Introducción

En México existen zonas de alta sismicidad, por la conformación y el movimiento de las placas tectónicas que están debajo del suelo, tanto en una parte de la costa del Pacífico como en la zona continental. Lo anterior deriva en que eventualmente ocurran temblores, como sucede en otros lugares sísmicos del mundo.

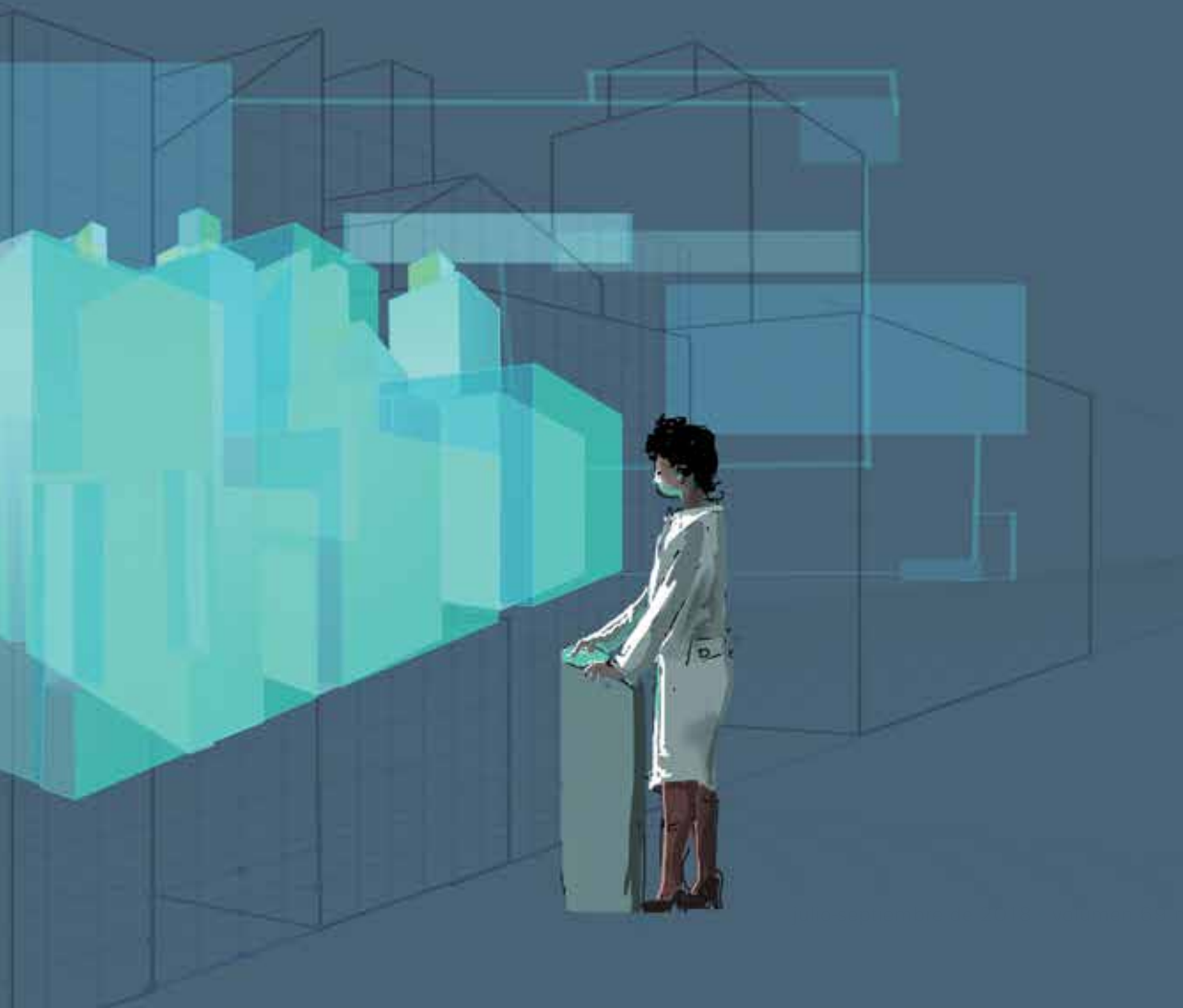
El vigoroso crecimiento de nuestro país reclama la construcción de viviendas, hospitales, escuelas y obras de infraestructura, entre otras. La ingeniería sísmica se ocupa de diseñar construcciones que posean niveles aceptables de seguridad, con todas las implicaciones correspondientes al cálculo de **demandas de fuerzas**, el equilibrio costo-seguridad y la coparticipación de otros actores en la industria de la construcción. En las siguientes líneas abordaré estos aspectos haciendo mención al contexto del mercado de la ingeniería, la reglamentación y las prácticas de diseño, construcción y supervisión, entre otras circunstancias que imprimen un sello particular al desafío que enfrenta hoy la ingeniería sísmica en México.

## Retos del diseño sísmico

El doctor Emilio Rosenblueth (véase la Figura 1), líder de la ingeniería sísmica mundial y cofundador de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS),

### Demandas de fuerzas

Magnitud de las fuerzas con las que el sismo demanda a las construcciones una vez que se presenta.





**Figura 1.** El doctor Emilio Rosenblueth Deutsch (1926-1994) fue cofundador del Instituto de Ingeniería de la UNAM (1956), Premio Nacional de Ciencias (1974) y Subsecretario de Educación (1978-1982).

decía que siempre existirá una probabilidad finita de falla. Con esto se refería a la fría realidad de que, sin importar el tamaño de la inversión en seguridad, un fenómeno tan impredecible como los sismos puede provocar daños o fallas, aun cuando su probabilidad sea pequeña. Sin embargo, también decía que los ingenieros debemos buscar el bien para la mayor cantidad de personas.

En los distintos reglamentos modernos de diseño sísmico en el mundo, se acepta implícita o explícitamente que las intensidades del **sismo de diseño** podrían ser excedidas eventualmente. La definición de este concepto se basa en considerar un nivel razonable de seguridad que contenga, de manera inherente, una probabilidad pequeña de que las condiciones de diseño se vean rebasadas.

Existen especialistas encargados de modelar el peligro sísmico a partir de representaciones de la probabilidad de que se presenten distintos tipos de movimiento del suelo en determinados tiempos y sitios. No obstante, saben que cada vez que ocurre un temblor se debe reconfigurar el peligro sísmico. Nunca terminamos de aprender, pues cada evento es distinto a los anteriores y, al presentarse rupturas de la corteza terrestre de maneras y en sitios diversos, se pueden generar ondas sísmicas con amplitudes, frecuencias y características diferentes. Cuando estas ondas atraviesan estratos de suelo con condiciones

diversas, por ejemplo, los suelos muy blandos en la Ciudad de México, se presentan amplificaciones del movimiento, por lo que resulta un sismo distinto al que se presenta en el epicentro, digamos, en otro estado de la República.

Los colegas sismólogos y geofísicos estudian con detalle estos mecanismos y generan información muy valiosa para los ingenieros. De ahí la importancia de mantener una estrecha colaboración con ellos, en especial en el área de investigación. Esta información, así como otra que se produce en la práctica de la ingeniería, permite a los comités de normas de diseño sísmico determinar las características del sismo de diseño.

Otro aspecto importante es elegir el tipo estructural y la configuración geométrica de la construcción, pues esto induce comportamientos que pueden ser desfavorables. Por ello, en las normas de diseño también se especifican requisitos de regularidad estructural, como la distribución de rigideces en planta y elevación, para tratar de inhibir excentricidades y asimetrías exageradas y cambios de rigidez abruptos, como la planta débil o suave que ha sido motivo de numerosas fallas en el pasado lejano y reciente.

Las simulaciones numéricas (análisis por computadora) y las experimentales (con pruebas de laboratorio) ayudan a caracterizar mejor las respuestas estructurales. Sin embargo, algunas veces hay despachos de ingeniería que idealizan el cálculo por computadora sin tener una idea de la pertinencia

#### Sismo de diseño

Características ingenieriles (intensidad, contenido de frecuencias, duración, etc.) del sismo con las que se diseña una construcción.



de los resultados. Inclusive, en la formación de ingenieros a veces se privilegia el contar con programas que ofrecen una gran exactitud numérica por sobre el tener una visión del comportamiento que se espera de la estructura. Comentaré esta cuestión en el apartado siguiente.

Lamentablemente, pocas veces se realizan pruebas de laboratorio donde se podrían modelar conexiones o detalles que no están ampliamente estudiados o no se contemplan en la norma. Así, se pierde otra oportunidad de contar con información específica para la construcción, si es de naturaleza especial. Cuando el proyecto o la obra es de capital importancia, y si existen geometrías o condiciones peculiares que no se contemplan de manera específica en las normas o de las cuales existe poca información, se justifica una inversión en pruebas de laboratorio (de geotecnia o estructurales ante sismo o viento, por ejemplo). Sin embargo, a veces se piensa que es un gasto innecesario, se soslaya su importancia y entonces sobrevienen los daños (véase la Figura 2) o colapsos por no haber estudiado a fondo las características del comportamiento de la instalación y por no haber previsto las fallas en el diseño.

Hoy nos hace falta una mejor cultura de compromiso con la seguridad estructural, en especial con la seguridad sísmica. Las sociedades técnicas y los colegios de ingenieros y arquitectos tienen una gran oportunidad para contribuir a mejorar esta condición.



**Figura 2.** Las construcciones diseñadas de acuerdo con reglamentos antiguos deben revisarse y, en su caso, reforzarse.

### ■ Oportunidades en la formación de ingenieros sísmicos

■ Ya que describimos de manera general el tamaño del reto para la ingeniería sísmica, no es difícil imaginar el desafío que representa para la formación de ingenieros con los saberes, habilidades y capacidades necesarios para hacer frente a los problemas, sobre todo en las zonas sísmicas del país. Desafortunadamente, Oaxaca, Guerrero y Chiapas (zonas de alta sismicidad) son algunas de las regiones donde se tiene el mayor atraso educativo. Aunado a lo anterior, son lugares donde existen las construcciones más precarias debido a la situación de marginación y pobreza que prevalece allí desde hace muchos años.

Frente a este escueto panorama –pues hay muchas otras aristas del problema–, se vislumbran magníficas oportunidades para mejorar. En primer lugar, las universidades pueden fortalecer sus programas de ingeniería al incorporar, donde no se tengan, asignaturas de nivel licenciatura y maestría ligadas a la dinámica estructural y la ingeniería sísmica. Asimismo, pueden establecer diplomados, talleres y cursos cortos con el apoyo eventual de los especialistas de otras instituciones de educación superior o de la práctica. Los convenios pueden hacerse de manera individual o mediante redes de colaboración para las que existen apoyos financieros importantes



(Conacyt, Programa para el Desarrollo Profesional Docente, etc.). Asimismo, las sociedades técnicas tienen como misión coadyuvar en la formación de los ingenieros, mediante cursos de actualización con temáticas inherentes a las necesidades de cada región. Aunado a lo anterior, el Conacyt ofrece becas al extranjero (directamente o a través de la Alianza para la Formación e Investigación en Infraestructura para el Desarrollo de México, si el tema es sobre infraestructura) para quienes deseen estudiar un posgrado en alguna universidad de prestigio y donde se haya identificado un tema necesario pero que no se contemple actualmente en México con la misma profundidad.

Lo importante en este caso es que exista el interés de los jóvenes, y el incentivo por parte de las autoridades, para dar los pasos pertinentes hacia el

progreso en la formación de grupos de ingenieros, no sólo en la academia, sino en la práctica profesional, para así mejorar la calidad de la ingeniería sísmica en el país.

No obstante, una de las amenazas que opera en sentido inverso es la distorsión que existe en la prác-

tica profesional, tanto de la ingeniería sísmica como de la ingeniería estructural, pues hay individuos y empresas que compiten en el mercado de manera desleal; al bajar los precios en su oferta, afectan de manera irresponsable la calidad de los proyectos y ponen en riesgo las vidas de los ocupantes o usuarios de las construcciones. Otra cuestión que perjudica el correcto ejercicio profesional es la tendencia observada en algunos jóvenes recién egresados (ante el espejismo de hacer análisis rápidos y automatizados) a desarrollar toda su pericia sólo en el manejo ciego de programas de computadora, sin conocer los detalles del proceso intrínseco y sin revisar con algún criterio estructural la pertinencia de los resultados del mismo. Esta sobresimplificación es peligrosa y puede permear hasta el punto de construir sobre bases de análisis incorrectos.

Ante todo esto, la autoridad debe intervenir de manera más efectiva para aplicar la normatividad existente y supervisar de manera continua la calidad de las construcciones en el país.

### Conclusiones y recomendaciones

Dadas las condiciones de exposición sísmica de nuestro país se requiere una preparación adecuada de todos los actores y una coordinación eficaz para que las acciones de prevención antes del sismo, y las que sucedan durante y después del mismo, reduzcan la vulnerabilidad de la población y sus construcciones, con miras a mitigar de alguna manera

las consecuencias, y fortalezcan la **resiliencia** de las obras y comunidades.

Se recomienda fortalecer la cultura de preparación de la sociedad, recortar la brecha entre académicos e ingenieros de la práctica para que los avances de la investigación se reflejen en la calidad de las construcciones y que las autoridades redoblen esfuerzos para realizar las inversiones requeridas y vigilar el cumplimiento de la normatividad.

Al cristalizar lo anterior estaremos, como sociedad, en condiciones para enfrentar con mayores probabilidades de éxito los temblores que ocurran en el país en los próximos años.

### David de León Escobedo

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

### Resiliencia

Capacidad de las estructuras y comunidades para que, ante la eventualidad de daños, se realicen reparaciones rápidamente y se restablezcan los servicios y la vida normal de la comunidad.

### Lecturas recomendadas

- Esteva, L. (2001), "Diseño sísmico basado en desempeño: tendencias y retos", *Revista de Ingeniería Sísmica*, 63:36-54.
- Reséndiz, D. (2008), *El rompecabezas de la ingeniería: por qué y cómo se transforma el mundo* (La Ciencia para Todos, núm. 215), México, FCE.
- Rosenblueth, E. (1992), "Sismos y sismicidad en México", en E. Rosenblueth, V. García Acosta, T. Rojas Rabiela, F. J. Núñez de la Peña y J. Orozco Castellanos, *Macrosismos. Aspectos físicos, sociales, económicos y políticos*, México, CIESAS.