

Revista de Administración Pública

Prevención de desastres, resiliencia y protección a la vida, ¿Qué papel juega la ingeniería estructural?

Oscar López Bátiz*
Leonardo Flores Corona**
Joel Aragón Cárdenas***

Introducción

En la última década han ocurrido eventos naturales de gran intensidad que han generado grandes pérdidas, tanto humanas como económicas, y las regiones afectadas han manifestado diferentes procesos de resiliencia.

* Ingeniería Civil (1985) y Maestría en ingeniería, con especialidad en Estructuras (1988), ambas por la Facultad de Ingeniería de la UNAM Doctorado en Ingeniería, con especialidad en Estructuras, en la Universidad de Tokyo (1993). Ingresó al CENAPRED en 1993, donde actualmente es Subdirector de Riesgos Estructurales. Trabajó como ayudante de investigador en el laboratorio del profesor Hiroyuki Aoyama, en la Universidad de Tokyo (1990–1993); Desde 1995 es Profesor de Asignatura en el Posgrado en Ingeniería de la UNAM. Ha publicado 92 artículos en revistas nacionales e internacionales, Es miembro de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica y de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

** Ingeniero Civil y Maestro en Ingeniería en Estructuras, ambas por la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Actualmente es Jefe del Departamento de Ingeniería Sísmica y Mecánica Estructural del CENAPRED. Participa, entre otros, en el Comité de Normas Técnicas Complementarias para mampostería del Reglamento de Construcciones del DF. Coordina el Grupo de Trabajo redactor de las Normas Mexicanas sobre mampostería del Organismo Nacional de Normalización (ONNCCE) y es Presidente de su Comité Técnico de Normalización. Es miembro de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural y pertenece al Comité de especialidades sobre análisis de estructuras de mampostería. Imparte la clase de Mampostería en la maestría en estructuras en la FES Acatlán y en la Especialidad de Estructuras de la Facultad de Ingeniería, ambas de la UNAM. Ha participado Congresos y eventos nacionales e internacionales y publicado en revistas nacionales.

*** Ingeniero Civil y Maestro en Ingeniería Civil con especialidad en estructuras, ambas por la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Ha sido analista de la inversión de obra pública en la Unidad de Planeación e Inversión Estratégica del Gobierno del Estado de Guanajuato; Coordinador del Fideicomiso para el Desarrollo Estratégico del Sureste en la Dirección General de Carreteras Federales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. En el año 2010 ingresa al Centro Nacional de Prevención de Desastres como investigador de la Subdirección de Riesgos Estructurales, actualmente se desempeña como Subdirector de Vulnerabilidad Estructural en la Dirección de Investigación de ese mismo Centro.

De estos fenómenos naturales destructivos, la mayoría se puede clasificar en el marco de los procesos geológicos o hidrometeorológicos; entre los que se pueden mencionar, como ejemplos representativos recientes, el terremoto de Pisco en Perú de 2007; el Ciclón Nargis que impactó la costa de Myanmar en el Océano Índico, en mayo de 2008; el terremoto de Sichuan en China, en mayo de 2008; el sismo de Leogane en Haití, en enero de 2010; el terremoto de la costa oeste de Chile, en febrero de 2010; el terremoto de la costa noreste de Japón, en marzo de 2011; el huracán Odile en Baja California, México, en septiembre de 2014; el terremoto de la costa de Ecuador, en abril de 2016, y el sismo de Amatrice, en Italia, en agosto de 2016.

En algunos casos, los fenómenos naturales, como los mencionados en el párrafo anterior, han resultado detonantes de la ocurrencia de fenómenos concatenados, de los cuales algunos también pueden considerarse como de origen natural, como es el caso de los tsunamis, y otros que se pueden considerar como de origen antrópico, como es el caso de la falla de la planta nuclear generadora de energía eléctrica en Fukushima, Japón. Este proceso de concatenación de eventos potencialmente destructivos puede considerarse producto de una ocupación espacial mayor de los centros urbanos, una mayor densidad de población en los mismos y, por lo tanto, una mayor concentración de agentes afectables o bienes expuestos (edificaciones, infraestructura, etc.).

Aunque para algunos de los fenómenos mencionados se presentaron parámetros de intensidad que superaron ampliamente los que se contemplan en las normas para diseño de edificación vigentes en las zonas afectadas (en aquellas en las que existía la normatividad), en muchos de los casos la magnitud de los daños y pérdidas humanas y materiales podrían haberse reducido con la implementación de medidas o aspectos tan simples como el respeto y cumplimiento mínimo de la normatividad, aunado a la consideración de algunas medidas de prevención, más asociadas al sentido común.

Relación entre el estado del conocimiento de la ingeniería estructural y el comportamiento general de la edificación e infraestructura ante sismo

Después de la ocurrencia de los fenómenos perturbadores de origen natural, se realizan una gran cantidad de reportes, conferencias y simposios relativos a las enseñanzas que dejaron en el ámbito de la ingeniería estructural. Estas enseñanzas, y la investigación que se genera a partir de ellas, permiten mejorar los documentos normativos y reglamentarios del ámbito del diseño y construcción de estructuras, con el objetivo básico de aportar lo mejor del conocimiento para lograr proporcionar a la sociedad que lo requiere, edificación, como en el caso de vivienda, lo más segura, durable y, desde luego, lo más económica posible.

A continuación se presenta un resumen de las conclusiones de mayor relevancia, desde el punto de vista de la prevención de desastres, obtenidas a partir de la observación de los daños y fallas ocurridas en algunos de los sismos de la última década:

Después de la ocurrencia del sismo de Haití en enero de 2010, y de la revisión de la información reportada, como la de López (2012), es claro que la zona de Leogane y Puerto Príncipe es de alto nivel de peligro sísmico, aunque con un periodo de recurrencia, en este caso en particular, superior a 200 años. Esta zona sismogénica presentó un periodo de quietud de aproximadamente 240 años hasta la ocurrencia del sismo de enero de 2010, aspecto que propició el olvido social sobre el peligro sísmico de la región y, por lo tanto, también generó relajación en los procesos de diseño y construcción de las edificaciones. Lo anterior se convirtió en el principal detonante de comportamientos estructurales anómalos y de la ocurrencia de daño severo o falla total de aproximadamente el 10% de la edificación en las ciudades de la zona metropolitana de Haití.

El desconocimiento de la existencia de un reglamento, o norma, para diseño y construcción en Haití, de la mayor parte de la comunidad responsable del tema en el país (puesto de manifiesto en los trabajos de Fierro et al., 2010, y de Torres, 2012), generó que un porcentaje alto de edificios en el país no tuvieran un diseño sismo-resistente adecuado y suficiente. No obstante, es preciso hacer mención que el reglamento de construcción vigente, en ese momento, tenía una edad de aproximadamente 60 años.

En el mismo 2010, poco más de un mes después de la ocurrencia del sismo de Haití, ocurrió el terremoto de Chile del 27 de febrero; reportándose con una magnitud (M_w) de 8.8 (USGS). Las ciudades más afectadas por el fenómeno fueron aquellas localizadas en la vecindad del epicentro; sin embargo, el sismo también fue sentido en la capital, Santiago, con una intensidad de siete en la escala de Mercalli. Este movimiento afectó regiones que acumulan cerca del 80% de la población de ese país. El terremoto generó un tsunami para el Pacífico, el cual impactó la costa chilena, destruyendo varias poblaciones, muchas de las cuales, a pesar de no haber sido afectadas directamente por el movimiento del suelo, sí fueron afectadas por el tsunami.

El sismo de febrero de 2010 es considerado el segundo más fuerte de la historia de Chile y uno de los cinco más fuertes registrados en el mundo. De la revisión en campo del comportamiento general de las edificaciones en los meses posteriores a la ocurrencia del sismo, se reporta que menos del 1% de los edificios construidos en Chile en los últimos 25 años sufrió daños significativos, lo que ha permitido a los profesionales de la ingeniería estructural concluir que el comportamiento sísmico resulta satisfactorio si se respeta la normatividad vigente y, sobre todo, si esta normatividad está en un proceso de constante adecuación al estado del conocimiento en el tema de la ingeniería estructural.

Adicionalmente, como sucede con frecuencia durante la ocurrencia de sismos en regiones donde la mampostería es un sistema estructural con arraigo en la población, se observó daño estructural severo en algunas edificaciones para vivienda. Resultó claro que el daño se concentró en sistemas con mampostería simple o inadecuadamente reforzada, que no cumplen con los requerimientos normativos, conclusión similar a la obtenida por Zavala (2007) del análisis de la información recabada después de la ocurrencia del sismo de Pisco en Perú.

Una conclusión importante del sismo de Chile es la reafirmación de que las normas de construcción, en general, tienen una orientación hacia la protección de la vida, por lo que es inaceptable el colapso de edificios y estructuras, aún para un sismo de intensidad excepcional como el del 27 de febrero de 2010.

En abril del mismo 2010 ocurrió el sismo de Cucapah en Mexicali, México; producto de este evento se pudo observar un conjunto de edificaciones de mampostería del sector formal, con daño severo debido a deficiencias constructivas, inadecuado empleo de la normatividad, o inexistencia de un proceso de supervisión. Una muestra se presenta en la figura X1, en una edificación de mampostería de dos niveles de interés medio. Es probable que los elementos estructurales sean iguales en los dos entresijos, sin embargo, en la planta baja, los elementos que deberían ser de mampostería, ya sea confinada (reforzada con castillos y dalas) o con refuerzo interior (dentro de las piezas huecas), son de mampostería simple sin elementos de refuerzo, violando flagrantemente cualquier precepto normativo de la actualidad. En este caso se debe mencionar que la edificación fue diseñada y construida después de 2005, existiendo entonces la normatividad correspondiente, tanto en el estado, como en la Ciudad de México, pudiendo ser referida desde cualquier sitio vía internet.

Figura X1.



Daño en edificación de vivienda, Mexicali, 2010.

Durante el sismo de Cucapah, otro aspecto que resulta del interés de la ingeniería estructural es el comportamiento de los elementos no estructurales, o bien de los contenidos de las edificaciones. En general, cuando se lleva a cabo el proceso del diseño de una edificación, el profesional se concentra en la estructura, y omite revisar o diseñar aquellos elementos que no sean considerados como “parte de la estructura”, en este rubro quedarían los muros y elementos de fachadas, así como todos los contenidos incluyendo, desde luego, el mobiliario. Sin embargo, para cierto tipo de edificaciones, como pueden ser los hospitales, este tipo de omisión en el proceso de diseño repercute en que, aun en sismos relativamente de baja intensidad, se presenten comportamientos anómalos, o incluso la falla de elementos no estructurales, dando lugar a la inhabilitación temporal del inmueble. Lo anterior es inaceptable desde el punto de vista del reglamento de construcción, porque las edificaciones de vital importancia, como los hospitales, deberán permanecer funcionando aun después de la incidencia del sismo.

En la figura X2 se presentan dos ejemplos de daño en elementos no estructurales de la fachada de un edificio hospitalario en Mexicali, producto del sismo de abril de 2010, y en la misma figura se muestra el estado de volteo de los estantes que se tienen en la planta baja de un edificio similar. Es notable que los estantes habían sido fijados al muro, medida adecuada desde el punto de vista de prevención y protección civil, pero en este ejemplo tan simple queda claro que siempre será necesaria la asesoría de un ingeniero civil especialista en estructuras.

Figura X2.a.



Daño en elementos no estructurales de edificación para hospital, Mexicali, 2010.

Figura X2.b.



Daño en contenidos de edificación para hospital, Mexicali, 2010.

Por otro lado, en marzo de 2011 ocurrió el sismo de la costa Noreste de Japón, evento reportado con una magnitud (M_w) de 9.0 (AIJ, 2011). De manera similar a como se mencionó para el caso chileno, la densidad y niveles de daño reportados por el sismo en las edificaciones fueron significativamente bajas, considerando los niveles de aceleración del terreno registradas. Lo anterior permite afirmar, nuevamente, que la conjunción de contar con una normativa sismo-resistente nacional, sujeta a un proceso de actualización regular, establecido y sustentado en los resultados de estudios de investigación desarrollados por instituciones tanto académicas, como no académicas, públicas y privadas, permite incrementar el nivel de la ingeniería estructural y sismo-resistente, además de proporcionarle a la ciudadanía la certidumbre de que las edificaciones serán cada vez más seguras.

Respuesta de los profesionales de la ingeniería estructural después del impacto de un fenómeno de gran intensidad

En los siguientes párrafos se comenta sobre los protocolos de acción para la evaluación de la seguridad de las edificaciones, implementado en los casos de los sismos de Haití (2010), Chile (2010), Mexicali (2010) y Noreste de Japón (2011).

En el caso de Haití, por la debilidad de la estructura gubernamental, no existía el mecanismo institucional que atendiera a la población después de la ocurrencia de un desastre. Además, debido a las

características socioeconómicas y del sistema educativo en general, y de las especialidades relacionadas con la construcción en particular, en Haití no había la posibilidad de contar con grupos de especialistas que realizaran labores de evaluación del estado que guardan las edificaciones después de la incidencia de un sismo altamente destructivo. Aunado a lo anterior, después del impacto del sismo de enero de 2010, el gobierno de la República de Haití, así como las instancias de la ONU, Misión de las Naciones Unidas para la Estabilización en Haití (MINUSTAH), instaladas en la isla desde 2004, no tuvieron la pertinencia de solicitar, como parte de la ayuda internacional, la presencia de ingenieros civiles especialistas en evaluación de edificaciones después de la ocurrencia del sismo.

En el caso de la República de Chile, aunque existe una organización institucional que se encarga de atender a la sociedad afectada después de la ocurrencia de un evento de gran intensidad, la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI), ésta se vio desbordada, y la coordinación y mando se declararon insuficientes para encarar un evento de tal magnitud. Independientemente de lo anterior, la ONEMI no contaba con la estructura legal y organizacional que permitiera que especialistas en el ramo de la ingeniería estructural, de manera coordinada, ordenada y programada, realizaran labores de evaluación de la seguridad de las edificaciones.

Inmediatamente después de la ocurrencia del sismo, los especialistas de la ingeniería estructural atendieron lo que consideraron les correspondía: 1) en el caso de los miembros de la academia, se avocaron a la recopilación de información sobre el comportamiento y daños de edificaciones en las ciudades y zonas más afectadas, con el propósito ulterior de su análisis riguroso; 2) por otro lado, los profesionales de la ingeniería estructural atendieron a las edificaciones ante las cuales fungen como asesores de seguridad estructural (o las edificaciones cuyo diseño estuvo bajo su responsabilidad directa), y 3) Por conducto de las agrupaciones gremiales, específicamente el Colegio de Ingenieros Civiles de Chile, A.G., se dieron a la labor de realizar evaluaciones de emergencia para determinar el nivel de habitabilidad de edificaciones reportadas con comportamiento anómalo. En el caso del sismo de febrero de 2010, durante las primeras semanas después de la ocurrencia del fenómeno, no hubo la posibilidad de que especialistas de la ingeniería estructural llevaran a cabo evaluaciones de emergencia de las edificaciones, más allá de las mencionadas en los reportes que el Colegio de Ingenieros Civiles de Chile presentaba a la autoridad; cabe mencionar que en la gran mayoría de los casos las estructuras estaban sanas, pero también se deberá tomar en cuenta que el ciudadano común, generalmente neófito en el tema, mantiene un estado de tensión e incertidumbre hasta que el especialista le explique claramente y de manera sencilla el que la edificación que habita o donde trabaja mantiene un nivel de seguridad adecuado y suficiente; este proceso, en el caso de los países latinoamericanos es necesario.

Para atender este tipo de necesidad social, inmediatamente después del sismo, algunas de las autoridades municipales de las zonas afectadas solicitaron el apoyo de la comunidad internacional. Así, algunos de los municipios de la zona metropolitana de Santiago de Chile, solicitaron al gobierno de México, a través de la Secretaría de Relaciones Exteriores y la Secretaría de Gobernación, la participación de un grupo de especialistas en evaluación de edificaciones.

Finalmente, en el contexto de la primera reacción del Estado chileno después de la ocurrencia del sismo, se estableció una Comisión de Expertos que, con base en el análisis de los principales daños observados en el sismo del 27 de febrero, elaborara una propuesta técnica que corrigiera, a corto plazo, aquellos aspectos que la normativa vigente entonces no estaba abordando adecuadamente, respecto del diseño y cálculo estructural, así como en el ámbito de los procedimientos de construcción y la supervisión en el cumplimiento de los mismos.

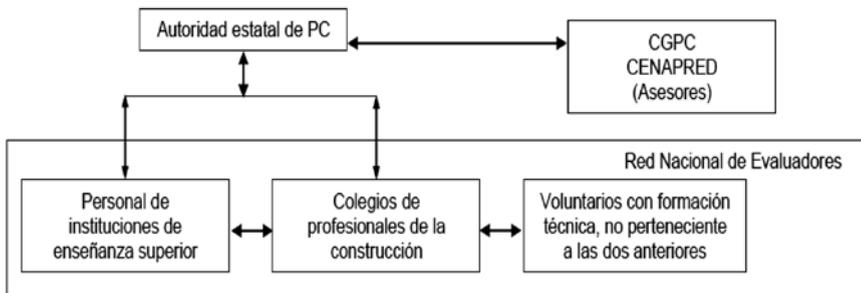
En relación con Mexicali, independientemente que la magnitud y potencial destructivo del sismo resultó considerablemente menor que el caso chileno, la incertidumbre e inquietud social resultó similar a la de la población de la costa chilena después del sismo de febrero de 2010. En México, de la misma manera que en Chile, aunque existe una organización institucional que se encarga de atender a la sociedad afectada producto de un evento desastroso, el Sistema Nacional de Protección Civil, bajo el liderazgo de la Coordinación General de Protección Civil, ésta tampoco cuenta formalmente con la estructura legal y organizacional que permita que especialistas en ingeniería estructural realicen labores de evaluación de la seguridad de las estructuras.

Después del sismo de Mexicali, similar a lo ocurrido en Chile, los especialistas de la ingeniería estructural atendieron lo que consideraron les correspondía, quedando la atención a la sociedad en segundo término. En Mexicali, las labores de evaluación de emergencia de la seguridad estructural de las edificaciones se fueron desarrollando paulatinamente por parte de los pocos especialistas con los que cuentan las diferentes instancias del sector público; por ejemplo, el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED) se encargó de la evaluación de las edificaciones del sector educativo, y las edificaciones del ISSSTE fueron revisadas con la participación de los especialistas adscritos a la Secretaría de Salud. La vivienda quedó relegada a ser evaluada por personal de las instancias de protección civil locales que, en la mayoría de los casos, no son especialistas de la ingeniería estructural y, por lo tanto, no tienen conocimiento sobre el tema, quedando la sociedad con la incertidumbre sobre el estado de seguridad de su patrimonio.

En México, en el pasado se han desarrollado propuestas de procedimientos y formatos para la obtención de información en campo, manuales y artículos técnicos, en los que se presentan algoritmos para calcular cuantitativamente

el nivel de seguridad estructural de las edificaciones. Las autoridades y los grupos de profesionales que han estado en una zona afectada por un fenómeno de gran intensidad se han dado a la tarea de diseñar, adaptar o adoptar formatos, cuestionarios y procedimientos que les permita definir el nivel de habitabilidad de las edificaciones, para responder de manera pronta y expedita a la necesidad social sobre el estado de sus viviendas; de la misma manera que le permita a la autoridad contar con información cierta sobre la magnitud de las pérdidas materiales y, con base en ello, realizar una adecuada planeación de la atención de la emergencia y del proceso de resiliencia. Actualmente, el CENAPRED, como la instancia técnica de la Coordinación Nacional de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación, se ha dado a la tarea de coordinar el desarrollo de procedimientos técnicos que permitan, de manera uniformizada y sencilla, recopilar información suficiente y adecuada para determinar la seguridad estructural de las edificaciones, principalmente después de la ocurrencia de un sismo. Este proyecto surge del requerimiento de la Presidencia de la República para la elaboración de un programa general de respuesta ante la incidencia de un sismo de gran magnitud, programa denominado de manera sintética como Plan MX. El Plan MX está conformado por tres ejes básicos: operativo, logístico y administrativo. El primero de ellos, a su vez, está constituido por cinco acciones, una de ellas es Evaluación de Daños; parte fundamental de esta acción es la función de activar la Red Nacional de Evaluadores (ReNE). En la ReNE se está conformando una base de datos de voluntarios, siendo profesionales en el campo de la construcción (ingeniería civil y arquitectura), que puedan participar en las tareas de recopilación de la información sobre el estado de las edificaciones después de la ocurrencia de un fenómeno de gran intensidad; el protocolo básico de acción de la ReNE se presenta de manera esquemática en la figura X3.

Figura X3.



Representación simple de la propuesta de protocolo de acción de la ReNE.

La conformación de la ReNE, en el marco del Plan MX, es una acción loable y resultará de gran utilidad, pero para proporcionar mayor certidumbre a la sociedad en el tema de la seguridad estructural de sus bienes patrimoniales, es necesaria la participación de los profesionales de la ingeniería estructural, de manera coordinada por parte de los gremios que

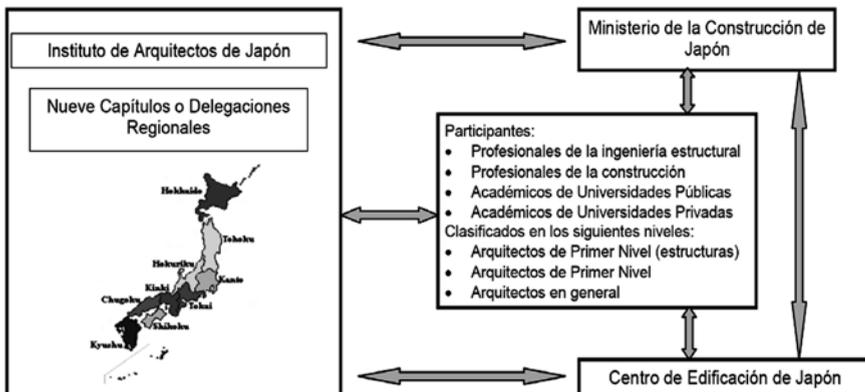
los aglutinan: los colegios de ingenieros civiles y los colegios de arquitectos de cada localidad, así como sociedades técnicas de dichas especialidades.

Por otro lado, en el caso de Japón, de manera similar al caso chileno, solamente los especialistas, técnicos titulados de una carrera afín a la ingeniería estructural, pueden desarrollar actividades dentro de los procesos de evaluación de emergencia de la seguridad estructural de edificaciones después de la ocurrencia de un sismo, o bien, pueden realizar estudios de evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones ante un sismo postulado.

En Japón el protocolo de acción de los profesionales de la ingeniería estructural para evaluar la seguridad de las edificaciones inmediatamente después de un sismo se hace de manera automática, siguiendo los preceptos marcados por el Ministerio de la Construcción, con el consenso del gremio representado por instituciones como el Instituto de Arquitectos de Japón (AIJ), el Instituto de Ingenieros Civiles de Japón y el Centro de Edificación de Japón (BCJ).

Una representación esquemática de la relación entre estas instituciones públicas e independientes se muestra en la figura X4. Como se muestra en la figura, los participantes son profesionales y académicos, todos con carácter de voluntario, de los cuales la mayoría forman parte gremial del AIJ, pueden ser parte de los diferentes comités conformados dentro del BCJ, y pueden ser servidores públicos adscritos a una universidad pública o a alguna instancia del Ministerio de la Construcción. Este esquema se activa considerando las nueve delegaciones que conforman el AIJ, la información recabada fluye hacia el edificio principal del Instituto, en Tokio, y de allí, en coordinación con el Ministerio de la Construcción, se distribuyen las asignaciones y responsabilidades posteriores al proceso de evaluación inmediata de emergencia.

Figura X4.



Representación esquemática del protocolo de acción de los profesionales de la ingeniería estructural después de la ocurrencia de un sismo en Japón.

Es importante hacer mención sobre el hecho de que los trabajos de evaluación de emergencia después de la ocurrencia de un sismo, tienen la finalidad, entre otras, de evitar un colapso de una edificación producto de una réplica, que genere la pérdida de vidas.

Algunas Conclusiones

Tanto en Chile como en México, existen sociedades y agrupaciones de pro-fesionales de la ingeniería estructural, dentro de las cuales no se tienen contemplados protocolos de acción y apoyo social después de la ocurrencia de un desastre. En el caso de México el problema resulta mayor debido a la interpretación del artículo 115 Constitucional, en el que se hace mención de la libertad y soberanía de los municipios para establecer los lineamientos de ordenamiento territorial y, por tanto, de expedir su propio reglamento de construcción. Esta libertad plasmada en dicho artículo se constituye en un impedimento para tener un reglamento y normatividad nacional, así como colegios de profesionales también de cobertura nacional. Producto de ello se tienen localidades con colegios de profesionales completamente independientes y, en algunos casos inco-nexos, y en algunas existen dos o más colegios de los mismos gremios (arquitectos o ingenieros civiles).

En Chile, como en Japón, existe un solo colegio o asociación, del cual emanan delegaciones locales o regionales. Esto permite, principalmente en el caso de Japón, que los colegiados conozcan el protocolo de acción después de un evento potencialmente destructivo e, independientemente de la autoridad gubernamental, realicen los trabajos de recopilación de la información del estado de las edificaciones y, en los casos que se considere necesario y pertinente, emitan un resultado calificando a la edificación con un nivel de seguridad que permita determinar si es habitable, si se permite el ingreso con precaución o que resulte inhabitable.

Reducción del daño en las edificaciones, ¿cómo impacta el avance del conocimiento en la reducción del riesgo ante la incidencia de sismo?

Para lograr reducir la vulnerabilidad de las edificaciones y, por lo tanto, reducir la densidad y nivel de daño que se presente en ellas producto de la incidencia de un sismo, la sociedad, a través de las autoridades que la representan, emite una serie de normas, reglamentos, códigos o recomendaciones. Estos documentos presentan los aspectos de mayor relevancia que se deberán cumplir durante los procesos de diseño y construcción de las edificaciones para lograr que éstas, aun presentando cierto daño durante un sismo, no colapsen y nunca se presente una pérdida de vida humana. Un reglamento de construcciones contiene una serie de lineamientos y normas elaborados por un comité de especialistas, avalados

por la autoridad, cuyo objetivo es salvaguardar la vida y seguridad de la población. Para la elaboración de las normas, el comité de especialistas toma en cuenta toda la información que a la fecha de la revisión haya sido generada por estudios en ingeniería estructural.

Los procesos de revisión y emisión de las normas son periódicos, con una frecuencia variable generalmente entre cinco y diez años, periodo en el que se genera gran cantidad de información y conocimiento sobre el tema y éste se trata de plasmar en la normatividad. En la gran mayoría de los casos, los procesos de revisión de las normas guardan una relación directa con el impacto de sismos u otros fenómenos de gran intensidad que hayan generado daño significativo en las edificaciones. En el caso de la Ciudad de México, el primer Reglamento de las Construcciones para el Distrito Federal que contiene recomendaciones para el diseño sísmico se publicó en 1942. En esa época los edificios de la ciudad eran de baja altura, de pocos pisos y muchos de ellos tenían estructura de muros de carga. La parte del Reglamento de 1942 que se refiere al diseño sísmico es breve, pero para la época en que se publicó estaba al día, y no difería sustancialmente de los códigos en vigor de otras grandes ciudades del mundo.

Fue necesaria la ocurrencia del sismo de julio de 1957 para advertir que el Reglamento de 1942 no era del todo adecuado. Posteriormente se emitieron los reglamentos de 1966 y 1976. En las casi tres décadas, transcurridas entre julio de 1957 y septiembre de 1985, todo parecía señalar que los requisitos del código para diseño sísmico de la ciudad eran suficientes. Pero la mañana del 19 de septiembre de 1985, un sismo de intensidad excepcional e inesperada sacudió a la Ciudad de México, causando gran destrucción y la pérdida de miles de vidas. Un número elevado de construcciones sufrió falla total y muchas más experimentaron daños de diversos grados de importancia. La intensidad del sismo fue mucho mayor, y sus características mucho más destructivas que las de cualquier otro terremoto sufrido por la ciudad con anterioridad y, por lo tanto, superó considerablemente los parámetros indicados en la reglamentación vigente.

Las incertidumbres, tanto en las fuerzas que genera el sismo como en la respuesta de las edificaciones ante solicitaciones sísmicas, son muchas, y de ahí la necesidad de efectuar cambios en los procedimientos de diseño cada vez que un nuevo desastre motiva a generar la información que permita un aumento del conocimiento.

Una manera simple y conservadora de obtener edificios que, siendo factibles económica y funcionalmente, tengan, al mismo tiempo una probabilidad suficientemente baja de falla, es prestando una atención mucho mayor a aspectos básicos plasmados en los reglamentos y

normas existentes. Entre ellos se incluyen, prioritariamente, los relativos al diseño arquitectónico en el sentido de no solo permitir, sino estimular la construcción de estructuras regulares (sencillas, simétricas, sin cambios bruscos).

Considerando lo indicado en los párrafos anteriores, se puede mencionar que, para lograr asentamientos humanos con edificación e infraestructura con niveles adecuados de seguridad estructural, resulta indispensable la existencia de una reglamentación, su correspondiente normatividad, y los protocolos suficientes para promover y garantizar el uso adecuado de las mismas.

La ingeniería estructural en el ámbito de Gobierno

El CENAPRED, como instancia técnica de la SEGOB, ha presentado en diferentes foros un procedimiento general de inspección y evaluación de la habitabilidad de inmuebles después de una contingencia importante, o para determinar la vulnerabilidad de los mismos en su estado actual ante el impacto de un evento postulado. Esta metodología, como se menciona en párrafos anteriores, forma parte esencial de la Red Nacional de Evaluadores y se ha socializado al personal de Protección Civil de diferentes entidades del país con el fin de cubrir la necesidad de contar con personal capacitado en la identificación y recopilación de información de edificación de manera rápida y confiable para la posterior evaluación de daños, con el fin de dar certidumbre a la sociedad sobre la seguridad de los inmuebles que ocupa después de la ocurrencia de un evento natural de gran intensidad. Adicionalmente, la investigación experimental y analítica que se desarrolla en el CENAPRED ha permitido que diferentes comités elaboren y/o adecúen documentos reglamentarios o normativos del ámbito de la construcción. Lo anterior se desarrolla con un enfoque básico de protección de la vida y de mejorar la capacidad de resiliencia de la célula social, la familia, y en consecuencia de toda la sociedad en su conjunto.

Alcocer y Castaño (2010) realizaron una revisión de la evolución de la estructura de los reglamentos de construcción de la Ciudad de México a partir de 1921, fecha en que se expide el primero en la ciudad. Una de las conclusiones a las que llegan es que la estructura de los códigos se ha vuelto más refinada y compleja, por lo que el incumplimiento, o la mala interpretación del mismo son frecuentes, sobre todo porque muchos de los usuarios no están familiarizados con los conceptos y las tecnologías involucradas. También en ese estudio se afirma que las autoridades de gobiernos locales, responsables de emitir las autorizaciones de construcción, no tienen la capacidad técnica para identificar errores de interpretación del código.

Producto de lo anterior, resulta obvio que el tema no se reduce a contar con un reglamento, aceptando que se cuente con un reglamento de construcciones actualizado; para lograr su cumplimiento se identifica la necesidad de mantener los programas de educación continua sobre el tema de ingeniería estructural, y llevar a cabo una evaluación rigurosa de los candidatos a optar por las licencias de coadyuvantes de las administraciones locales.

En el país, la mayoría de los esfuerzos para la elaboración y actualización de reglamentos de construcción se han llevado a cabo para la Ciudad de México. Aunque algunas localidades, municipios y estados, de diferentes tamaños y localizadas en regiones con muy diferentes tipos y niveles de peligro, han emitido sus códigos de construcción, en la mayoría de los casos, estas regulaciones son simples adaptaciones, o incluso copias, del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (ahora Ciudad de México). Organismos del Gobierno de la República han emitido normas y manuales aplicables a otras estructuras de edificios; el ejemplo más significativo es el de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2015), cuyo objetivo es el diseño y la construcción de instalaciones del sector energético.

Como ya se mencionó, de acuerdo con la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos (Art. 115), los municipios tienen la facultad y el derecho a establecer regulaciones apropiadas para el desarrollo urbano y la vivienda, para el uso de la tierra y para la emisión de los permisos de construcción. Dado que México tiene 32 entidades y más de 2,400 municipios (que son parte de los estados), el número de posibles códigos de construcción resulta bastante grande. Durante años, la Secretaría de Desarrollo Social, que forma parte del Poder Ejecutivo del Gobierno de la República, ha tratado de coordinar el desarrollo de los códigos de construcción modelo en el país. Hasta ahora, el proceso para lograr este objetivo ha sido limitado; recientemente, la SEGOB, por conducto de la Dirección General de Vinculación, Innovación y Normatividad en materia de Protección Civil, de la Coordinación Nacional de Protección Civil, está llevando a cabo los trabajos para la emisión de una Norma Oficial Mexicana de Seguridad Estructural de las Edificaciones para la Protección Civil.

La ingeniería estructural y una concepción preventiva de la Gestión Integral de Riesgos

La Ley General de Protección Civil (LGPC) (DOF 03-06-2014) define como desastre "Al resultado de la ocurrencia de uno o más agentes perturbadores severos y o extremos, concatenados o no, de origen natural, de la actividad humana o aquellos provenientes del espacio exterior, que cuando acontecen en un tiempo y en una zona determinada, causan daños y que por su magnitud exceden la capacidad de respuesta

de la comunidad afectada”. Entonces, se podría definir coloquialmente como desastre cuando un agente perturbador impacta una región habitada, genera daño en los bienes de la misma comunidad y, por lo tanto, genera daño a las personas en detrimento de su salud y calidad de vida, además de que puede generar pérdida del patrimonio material. De lo anterior, resulta claro que es indispensable, para calificar como desastre, a la ocurrencia de un fenómeno en una región determinada, que se presente el daño o falla total de bienes expuestos, infraestructura, vivienda, elementos de protección, etc.

Consistente con lo anterior, la misma LGPC define al Inventario Nacional de Necesidades de Infraestructura, como aquel “inventario integrado por las obras de infraestructura que son consideradas estratégicas para disminuir el riesgo de la población y su patrimonio”. Cuando hay bienes expuestos, y éstos son afectados, se constituye el patrón de configuración de un desastre.

Con el propósito de que se reduzca o mitigue el daño que pudiera generar un agente perturbador en los bienes expuestos, existe la prevención que la LGPC la define como el “Conjunto de acciones y mecanismos implementados con antelación a la ocurrencia de los agentes perturbadores, con la finalidad de conocer los peligros o los riesgos, identificarlos, eliminarlos o reducirlos; evitar o mitigar su impacto destructivo sobre las personas, bienes, infraestructura, así como anticiparse a los procesos sociales de construcción de los mismos”. En la medida que se implementen estas acciones de prevención, la comunidad resultará mayor *resiliencia*, entendiendo a ésta, como lo indica la LGPC, como la “capacidad de un sistema, comunidad o sociedad potencialmente expuesta a un peligro para resistir, asimilar, adaptarse y recuperarse de sus efectos en un corto plazo y de manera eficiente, a través de la preservación y restauración de sus estructuras básicas y funcionales, logrando una mejor protección futura y mejorando las medidas de reducción de riesgos”.

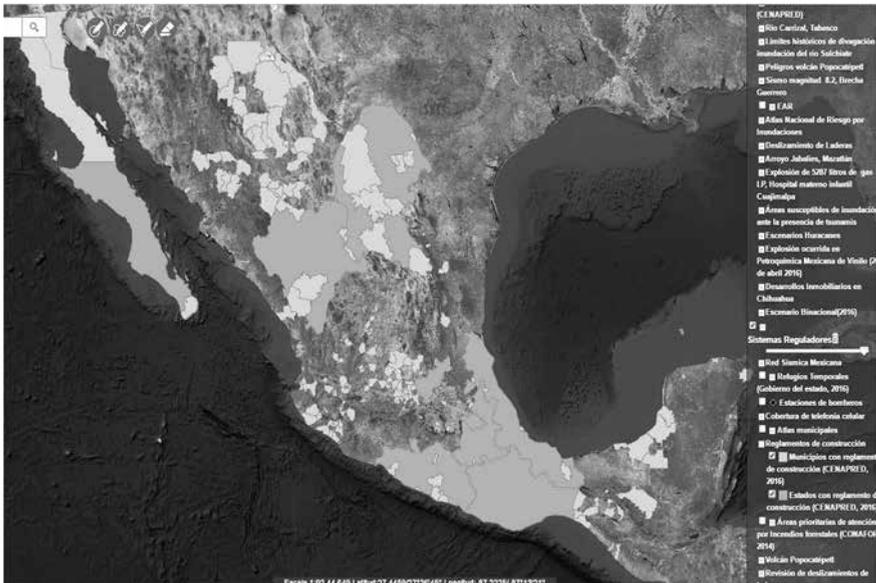
Considerando ahora la definición de Gestión Integral de Riesgos incluida en la misma LGPC, es claro que se involucran las etapas de: identificación de los riesgos y su proceso de formación, previsión, prevención, mitigación, preparación, auxilio, recuperación y reconstrucción. En este orden de ideas, se podría considerar que, desde el punto de vista preventivo, la Gestión Integral de Riesgos es la conjunción racional de medidas que permitan, a un grupo social, lograr que el conjunto de bienes, personales o de infraestructura básica para su desarrollo como comunidad, tenga la capacidad de soportar los efectos de los fenómenos perturbadores sin presentar daño que afecte su funcionalidad y/o utilidad.

Los elementos o herramientas de la sociedad, y de la autoridad, que permiten garantizar un nivel de seguridad adecuado y suficiente de los

bienes e infraestructura para no verse afectados o dañados ante el impacto de un fenómeno perturbador, lo constituyen los reglamentos y normas de construcción. Producto de la interpretación del artículo 115 constitucional, en nuestro país, aproximadamente el 60% de los municipios que lo conforman, por diferentes razones que no se discutirán en el presente trabajo, no cuentan con reglamento de construcción; y del 40% restante, únicamente el 50% ha estado sujeto a un proceso de actualización en la última década (Alcocer y Castaño, 2010), ese estado de la normatividad en el país se presenta en la figura X5 (ANR, 2016).

Como se mencionó, las edificaciones e infraestructura que cumplen con los requisitos y recomendaciones mínimas establecidas en los reglamentos de construcción, han presentado un comportamiento adecuado ante el impacto de fenómenos perturbadores recientes de gran intensidad, como son los sismos de Tohoku, Japón, en marzo de 2011, y el de Concepción, Chile, en marzo de 2010; así como el huracán Odile, en Baja California Sur, México, en septiembre de 2014 (López O., 2012).

Figura X5.



Mapa de la distribución de reglamentos de construcción (estatales y municipales) en el país (ANR, 2016).

Actualmente se habla de la Gestión Integral de Riesgo incluyendo preferentemente aspectos como preparación para la atención de la respuesta después de la ocurrencia del daño, generalmente potenciado a desastre por ausencia de medidas preventivas. No se hace mención de la importancia vital de que, con base en los estudios adecuados de peligro de

cualquier fenómeno, aunado a los avances en el estado del conocimiento de la ingeniería estructural, se cuente con información que permita definir programas de desarrollo urbano sustentados, además de contar con reglamentos y normas de construcción actualizadas, así como del personal profesional calificado que supervise su adecuada interpretación y uso en los procesos de diseño y construcción de edificación para vivienda e infraestructura.

De manera similar a lo indicado en el párrafo anterior, con base en la revisión del impacto de los sismos recientes de Chile y costa Noreste de Japón, resulta evidente que en la medida que el estatus de los reglamentos y normas sea universal en la región, y que los responsables de la aplicación y supervisión del adecuado uso de los mismos sean profesionales certificados en el tema, la capacidad resiliente de las zonas se verá significativamente incrementada.

Conclusión

El daño o, en el caso extremo, la falla o colapso de las edificaciones e infraestructura durante la ocurrencia de fenómenos perturbadores ha contribuido a que la incidencia de este tipo de eventos naturales en las zonas urbanas se transformen en desastres. En un porcentaje alto de los casos, los daños en las edificaciones se presentan por el desconocimiento del fenómeno que lo genera, e incluso por la limitación de la memoria de los seres humanos. El presente documento pretende contribuir a mantener en la memoria de los ciudadanos el hecho de que la naturaleza continuará manifestándose y tenemos que aprender a convivir con ella reduciendo, en la medida de lo posible, los efectos destructivos sobre las diferentes comunidades que componen la sociedad actual.

La naturaleza sigue enseñando al hombre el límite de su soberbia, falta mucho por entender, observar, analizar y, desde luego, tratar de aprender. Con base en la información surgida de eventos geológicos e hidrometeorológicos que se han presentado en la última década, existen algunos temas que deberán ser base para el quehacer de los profesionales de la ingeniería estructural, así como de los generadores de políticas públicas. Al entender del autor, los temas de mayor relevancia son:

- Lograr que el conocimiento generado por el gremio de la academia esté al servicio de la sociedad; ya sea por su difusión a través de las entidades educativas, por medio de la participación directa de los académicos en la generación de normatividad, o por medio de la modificación de la existente.
- Las entidades de gobierno deben entender sobre la necesidad de contar con una normativa adecuada al estado actual del conocimiento; ya que resulta evidente en todos los casos del impacto de fenómenos naturales, que las edificaciones e infraestructura

que respetaban de alguna manera las propuestas normativas no tuvieron comportamientos anómalos, independientemente de los niveles de intensidad de los fenómenos.

- En concordancia directa con el punto anterior, se deberá poner especial atención en el establecimiento de los protocolos adecuados para verificar el cumplimiento de la normativa; no tiene sentido contar con reglamentos de avanzada si éstos no son usados y, lo peor, si no se obliga su aplicación.
- La autoridad deberá estar consciente de la necesidad de contar con personal técnico especializado en ingeniería estructural y mecánica de suelos, sea de manera directa o por medio de la conformación de comités asesores, de modo que permita evaluar adecuadamente las propuestas de proyectos para edificación o infraestructura nueva o para refuerzo y/o rehabilitación de la existente. Este personal técnico deberá tener, entre otros aspectos, la responsabilidad de la emisión de licencias de construcción y, parcialmente, la supervisión de las obras en ejecución.

Finalmente, la sociedad resultará resiliente en la medida que cuente con herramientas para lograr edificaciones e infraestructura suficientemente seguras, las use, respete y haga respetar de la manera más honesta y ética. Lo anterior con un enfoque básico de protección de la vida y de mejorar la capacidad de resiliencia de la célula social, la familia, y en consecuencia de toda la sociedad.

Bibliografía

- Alcocer S. y Castaño V. (2010), "Evolution of codes for structural design in Mexico", *Structural Survey* Vol. 26 No. 1, 2008 pp. 17-28 q Emerald Group Publishing Limited.
- Architectural Institute of Japan (2011), *Preliminary Reconnaissance Report of the 2011 Tohoku-Chiho Taiheiyo-Oki Earthquake*, Tokyo, Japan, July 2011, 579 pp.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (2016), *Atlas Nacional de Riesgos*.
- Congreso de la Unión, *Ley General de Protección Civil* (2012), Secretaría General, Secretaría de Servicios Parlamentarios *Últimas Reformas DOF 03-06-2014*. Diario Oficial de la Federación el 6 de junio de 2012.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- Fierro Eduardo and Perry Cynthia (2010), "Preliminary Reconnaissance Report – 12 January 2010 Earthquake", The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), California, USA, February 2010, 12 pp.

- López O. (2012), “Algunas lecciones surgidas de los sismos de Leogane en Haití (2010), Centro-Sur de Chile (2010), Mexicali en México (2010) y Tohoku Chiho en Japón (2011)”, Conferencia Magistral, Sociedad mexicana de Ingeniería Estructural.
- Torres F., Yolanda (2012), *Estimación del riesgo sísmico en Puerto Príncipe (Haití)*, Tesis de Maestría en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid. Julio 2012, 111 pp.
- Zavala T., Carlos (2007), “Informe preliminar del sismo de Pisco, Perú”. CISMID, Diciembre 2007.