

¿Cómo se comportaron los multifamiliares que tenían daño previo después del sismo del 19 de septiembre de 2017?

How Did Multifamily Housing Units with Prior Damage Perform in the September 19, 2017 Earthquake?

Vania Itzumi Catalán Pérez
Facultad de Arquitectura, UNAM
Instituto de Ingeniería, UNAM
vcatalanp@iingen.unam.mx

DOSSIER

“Los desastres naturales ya no solo son naturales, sino que también son humanos. Los terremotos no matan gente. El colapso de los edificios sí.”
—Shigeru Ban

Fecha de recepción: 10 de marzo de 2020
Fecha de aceptación: 22 de mayo de 2020

DOI: 10.22201/fa.2007252Xp.2020.21.76660

Resumen

A más de dos años y medio de la ocurrencia del sismo del 19 de septiembre de 2017, se sabe que aún muchas familias continúan sin una solución para sus viviendas dañadas, por lo que se encuentran refugiadas con familiares o en albergues temporales, como carpas o tiendas de campaña. En la Ciudad de México, una zona de alto peligro sísmico, la vivienda cobra gran importancia ante este fenómeno natural, ya que en la capital habita el 7.46% (8'912,820) de la población total del país (119'530,753). En general, algunos de esos habitantes cuentan con algún tipo de vivienda construida sobre el antiguo lago de la ciudad, donde movimientos fuertes del terreno podrían presentarse, lo que hace vulnerables a ciertas viviendas por diversos motivos que se revisarán en este artículo. Adicionalmente, es de vital importancia detenerse a pensar qué es lo que podría pasar en el próximo gran sismo con la vivienda multifamiliar que sufrió algún tipo de daño. Es por ello que es importante analizar la premisa que varias personas se plantean: “si nuestra vivienda ya soportó los sismos de 1985 y 2017, resistirá otro de menor o mayor magnitud”.

Este artículo presenta las diferencias entre los sismos de 1985 y 2017 y cómo es que cada uno afectó a diferentes tipos de estructuras, así como por qué la vivienda resulta muy vulnerable a este fenómeno

natural y por qué los edificios de vivienda particularmente dañados en el sismo de 2017 fueron los de cuatro a 10 niveles, con los principales factores de irregularidades arquitectónico-estructurales que se observaron en una muestra de edificios de este tipo de vivienda, que soportó el sismo de 1985 con daños menores, para verificar cómo se comportó ante el último gran sismo. Este estudio se desarrolló a lo largo de un año con el apoyo del Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM).

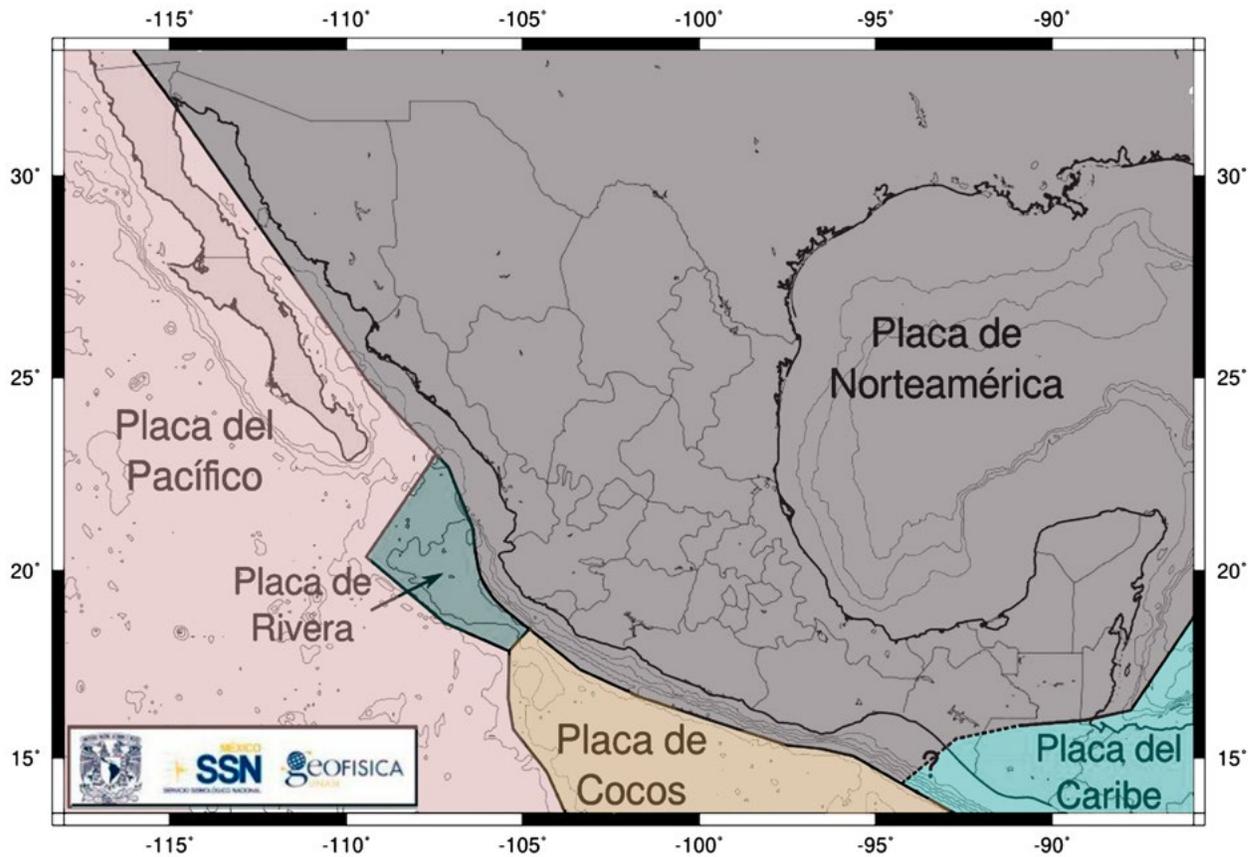
Palabras clave: sismo, vivienda multifamiliar, daños, sismos 19s, configuración geométrica

Abstract

Over two and a half years after the September 19, 2017 earthquake, there are still many families whose homes were damaged that are still living with relatives or in temporary shelters, such as in tents or under tarps. In Mexico City, a place with a high risk of earthquakes, housing plays a major role, as the capital houses 7.46% of the country's total population (8,912,820 out of 119,530,753 people; INEGI, 2017). Many of these people live on the city's old lakebed, where strong movements of the earth can threaten certain types of dwellings due to a variety of reasons that will be examined herein. It is of vital importance to reflect on what could happen to housing units that have already suffered damage in the next major earthquake. Many residents argue that "if our building withstood the 1985 and 2017 earthquakes, it will withstand another earthquake of lesser magnitude." This article presents the differences between the 1985 and 2017 earthquakes and how they affected different types of structures. Housing proved to be particularly vulnerable, and the housing units that were most heavily damaged were apartment buildings between four and 10 stories high. The primary architectonic/structural factors observed in these residences, which withstood the 1985 earthquake with only minor damage, are analyzed, along with their later performance in the last major earthquake. This study was conducted over the course of a year with support from the UNAM's Engineering Institute (II-UNAM).

Key words: earthquake, multifamily housing, damage, 19s earthquakes, geometric configuration

México se encuentra dentro de una región, conocida como el Cinturón de Fuego, con alta amenaza sísmica. Se sitúa sobre dos grandes placas: la de Norteamérica y la del Pacífico, pero además otras tres placas interactúan en territorio mexicano: la de Cocos, la de Rivera y la del Caribe.

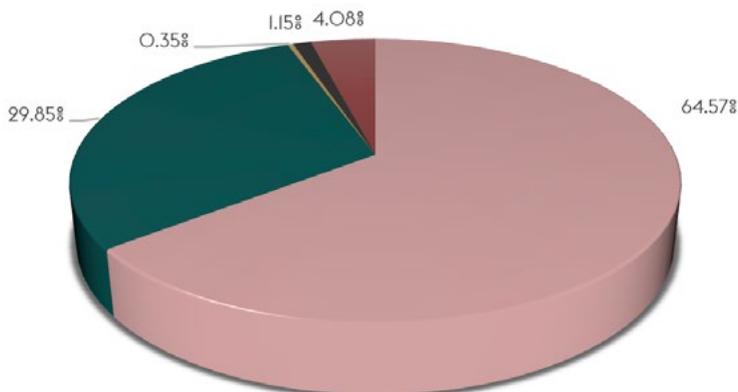


Placas tectónicas que interactúan en territorio mexicano. Fuente: Servicio Sismológico Nacional, UNAM, Geofísica (<https://bit.ly/2v0qhpz>).

La Ciudad de México es la más poblada dentro del territorio mexicano, con un total de 8'912,820 de habitantes que residen en 2'601,323 de viviendas. De acuerdo con los censos de INEGI, la vivienda se clasifica en: casa, departamento en edificio, vivienda en vecindad, otro tipo de vivienda (cuarto en la azotea de un edificio, local no construido para habitación, vivienda móvil y refugio), y no especificada. De estas, la vivienda unifamiliar representa un 64.57%; la multifamiliar, 29.85%; la vecindad, 4.08%; otro tipo de vivienda, 0.35%; y no especificada, 1.15%. (INEGI, 2017).

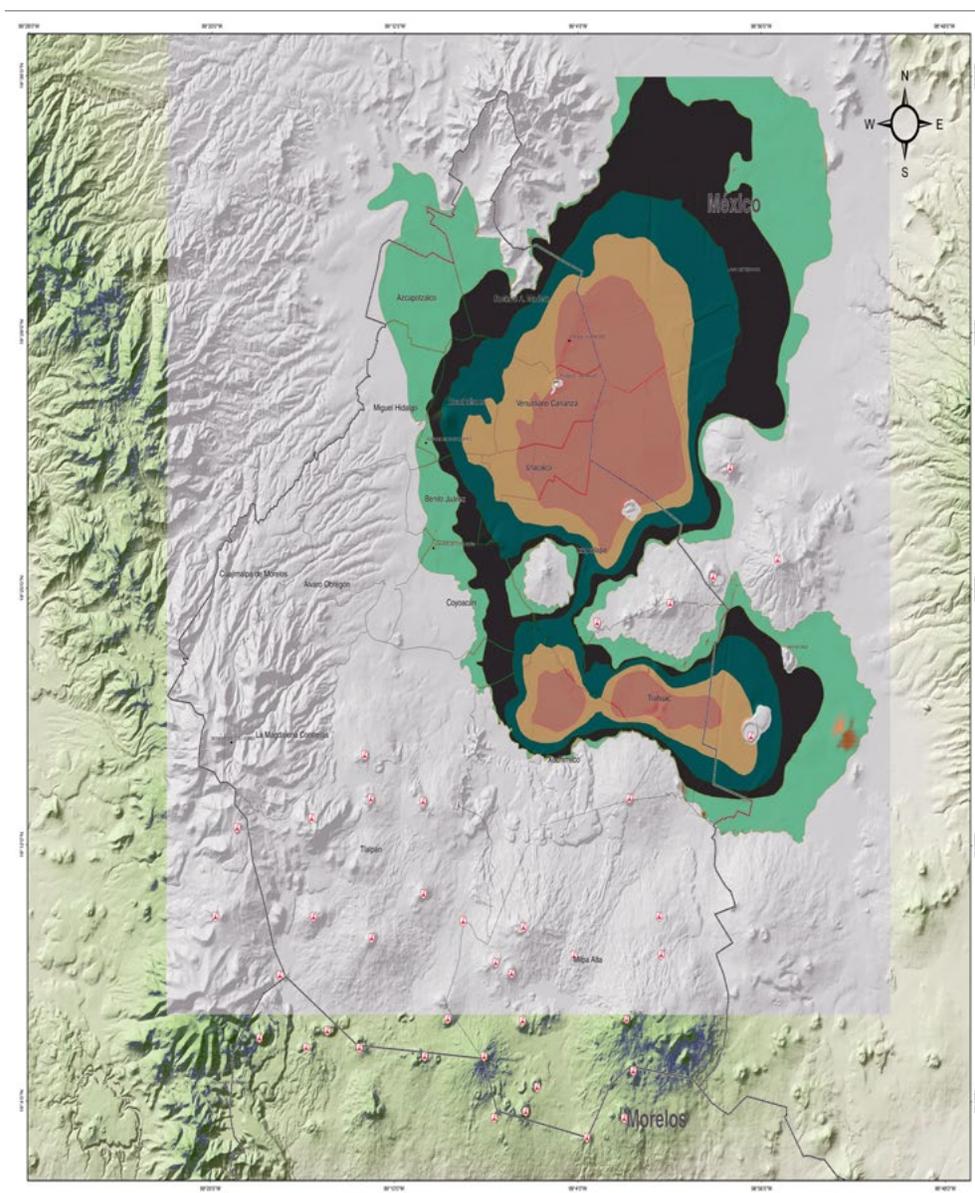
Tipos de vivienda en la Ciudad de México

■ vivienda unifamiliar ■ vivienda en depto ■ otro tipo ■ no especificado ■ Vecindad



Tipos de vivienda en la Ciudad de México. Gráfica: elaboración de la autora con información obtenida del *Anuario estadístico y geográfico de la Ciudad de México 2017* (INEGI).

En la Ciudad de México la amenaza sísmica es muy grande como consecuencia del tipo de suelo en el que están desplantadas las viviendas. Este suelo favorece la enorme amplificación de las ondas sísmicas (mayores intensidades y duración del movimiento sísmico en suelo blando con respecto a suelo firme de la ciudad). Aunado a esto, la capital del país es vulnerable a este riesgo por diversas razones que se han hecho visibles paulatinamente con el paso de los años. Algunos ejemplos son la falta de la cultura de la prevención ante desastres naturales, el incumplimiento del reglamento de construcciones, y no respetar usos de suelo, los estándares de calidad, las características y el estado de las preexistencias en donde se edifica.



Mapa de zonificación sísmica de la Ciudad de México, entre 2004 y 2017. Fuente: *Atlas de Peligros y Riesgos de la Ciudad de México*, UNAM (<https://bit.ly/2NoIQNX>).

Es entonces cuando se puede observar que, ante esta amenaza natural, una gran cantidad de habitantes de la Ciudad se encuentran en vulnerabilidad y, por añadidura, sus viviendas, que representan el patrimonio familiar de muchas personas que las habitan. Esto lleva a analizar la importancia que cobra la vivienda ante este fenómeno natural que sucede en varias partes del país e inevitablemente seguirá ocurriendo en la Ciudad de México.

Particularmente los sismos del 19 de septiembre de 1985 (M8.1) y 2017 (M7.1) han demostrado cuán vulnerables son las viviendas existentes en la capital del país. Esto se revela por el número significativo de muertes, así como por las importantes pérdidas financieras y la falta de funcionalidad de las construcciones inducidas por el daño, que varía de leve a grave, incluido el colapso parcial o total para viviendas afectadas por los eventos de subducción y de profundidad intermedia mencionados anteriormente.

Algunas diferencias entre los sismos de 1985 y 2017

El primer gran sismo que causó daños y pérdidas graves jamás registrados en la historia reciente de la Ciudad de México ocurrió la mañana del 19 de septiembre de 1985, a las 7:19:45 (hora local) con una magnitud M8.1. Este evento de subducción se originó en las costas de Guerrero y Michoacán, a 300 km de la Ciudad de México. Este tipo de mecanismo (interplaca) causa contenidos de baja frecuencia en el movimiento del suelo para la Ciudad de México (alrededor de 0.5 Hz), por lo tanto, durante el sismo de 1985 ocurrieron grandes intensidades sísmicas en sitios con periodos de suelo, T_s , cerca de 2 s. Como consecuencia de este sismo y sus varias réplicas (especialmente la que ocurrió el 20 de septiembre de 2019 a las 19:37, hora local), se identificaron 133 colapsos totales, 353 colapsos parciales y 271 estructuras severamente dañadas, según un estudio realizado para más de 53,000 edificios.¹ Entre las estructuras colapsadas y severamente dañadas, se reportaron edificios de siete a 15 pisos;² estas estructuras fueron diseñadas y construidas según los códigos de construcción de la Ciudad de México de 1957 y 1976. Otro estudio llevado a cabo reveló que los sistemas estructurales formados por losas planas de concreto en columnas exhibieron los mayores daños graves (40% de los edificios de diferentes pisos), se encontraron: irregularidad geométrica, edificios de esquina, estructuras propensas a golpeteo, sobrecargas, primer piso débil e incluso se identificaron sistemas estructurales modificados.³ A través de este estudio, nos referimos a los edificios de esquina como aquellos que generalmente tienen dos fachadas que

1 Fundación ICA, *Experiencias derivadas de los sismos de septiembre de 1985* (México: Noriega editores, 1988).

2 Kazuaki Masaki, Norio Abeki, y Kazuoh Seo, "Daños causados por el sismo de Michoacán de 1985: Reporte del Instituto de Arquitectos de Japón", en *Daños causados por el sismo de Michoacán de 1985: Reporte del Instituto de Arquitectos de Japón* (México: Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED], 1996).

3 Miguel Ángel Hernández Zarco, *Revisión de estructuras dañadas en sismos ocurridos en la Ciudad de México a la luz de nuevos conocimientos*, tesis de maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2017.

dan a la calle con cierto tipo de sistema estructural (marcos) y dos lados que miran a las estructuras adyacentes con otro tipo de sistema estructural (muros), que conduce a estructuras propensas a la torsión debido a rigideces muy diferentes. Del mismo modo, con respecto a las estructuras débiles de primer piso, denotamos edificios con el primer piso formado con marcos y los otros pisos formados con sistemas de marco de pared. En el evento de 1985, las muertes totales, los sobrevivientes afectados y las pérdidas económicas fueron de 9,500 víctimas, 2'130,204 personas afectadas y 4,104 millones de dólares (casi 9,800 millones de dólares actualizados a 2019, para una tasa de inflación promedio de 2.59%, para el periodo 1985-2019), respectivamente.⁴

El segundo sismo más grande en términos de efectos negativos en la historia reciente de la Ciudad de México ocurrió la tarde del 19 de septiembre de 2017, a las 13:14:40 (hora local) con una magnitud de M7.1. Este evento sísmico, que desempolvó las memorias de 32 años antes de algunos habitantes, sucedió exactamente el mismo día, pero con casi seis horas de diferencia, con respecto al evento de 1985. El mecanismo generador fue de falla normal para este evento de profundidad intermedia, que golpeó el centro de México; tuvo de epicentro los límites entre los estados de Morelos y Puebla, a casi 120 km de la Ciudad de México. A diferencia de los eventos de subducción, este tipo de mecanismo conduce a contenidos de mayor frecuencia (aproximadamente 1 Hz);⁵ en consecuencia, se generaron mayores intensidades sísmicas en sitios con periodo de suelo, T_s , entre 0.7 y 1.5 s (un promedio de 1.3 s). Para este sismo, 38 edificios colapsaron parcial o completamente en la Ciudad de México, 27 de los cuales correspondían a viviendas (es decir, el 71% de los edificios colapsados). Se informó que aproximadamente el 90% de los edificios derrumbados se construyeron antes de 1985,⁶ lo que implicó que resistieron el sismo más destructivo jamás registrado en la Ciudad de México (el de 1985). Esto significa que muchas estructuras podrían haber sufrido daños acumulados de eventos anteriores, asentamientos no uniformes y otros problemas que posiblemente aumentaron su vulnerabilidad sísmica. Otro aspecto de las estructuras colapsadas durante el evento de 2017 es que tenían principalmente entre cuatro y 10 pisos,⁷ muchos de los cuales eran edificios en esquinas, edificios con estructuras débiles de primer piso y estructuras geométri-

4 Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, EM-DAT The international disaster database [Internet]. Disponible en: <https://public.emdat.be/data>

5 Miguel A. Jaimes, Alejandro Ramirez-Gaytán y Eduardo Reinoso, "Ground-motion prediction model from intermediate-depth intraslab earthquakes at the hill and lake-bed zones of Mexico City", *Journal of Earthquake Engineering*, 19.8 (2015): 1260-1278. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13632469.2015.1025926>

6 F. Galvis, E. Miranda, P. Heresi, H. Dávalos, y J. R. Silos, "Preliminary statistics of collapsed buildings in Mexico City in the September 19, 2017 Puebla-Morelos Earthquake", John A. Blume, Earthquake Engineering Center and Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, <http://learningfromearthquakes.org>.

7 Víctor Manuel Cruz Atienza, Shri Krishna, y Mario Ordaz, "¿Qué ocurrió el 19 de septiembre de 2017 en México?", Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM, 2017. Disponible en: <http://ciencia.UNAM.mx/leer/652/-que-ocurrio-el-19-deseptiembre-de-2017-en-mexico> [consultada el 23 de febrero de 2020].

camente irregulares. Además, el 61% de las estructuras colapsadas se construyeron con losas planas de concreto sobre columnas de concreto,⁸ lo que resulta en un porcentaje mayor en comparación con lo observado en el evento de 1985 (43%).⁹ Al igual que en 1985, el sismo de 2017 dejó cientos de estructuras con daños severos, que requirieron modificaciones significativas cuando no fueron demolidas. El reporte oficial de fatalidades en todo el país fue de 369: 228 en la Ciudad de México, 74 en Morelos, 45 en Puebla, 15 en el Estado de México, seis en Guerrero y una en Oaxaca.¹⁰ Las muertes totales, los sobrevivientes afectados y las pérdidas económicas fueron 369 víctimas, 2.5 millones de personas afectadas y 6,000 millones de dólares (casi 6,200 millones de dólares actualizados a 2019 para una tasa de inflación anual promedio de 2.01%), respectivamente.

Destaca que, tanto para el sismo de 1985 como para el de 2017, las estructuras de viviendas fueron las más afectadas. Por ejemplo, después del evento de 1985, se reportaron 757 edificios con colapso total o parcial o daños severos en la Ciudad de México,¹¹ la mitad de los cuales (alrededor del 55%) eran viviendas, ya sean unifamiliares o multifamiliares. Con respecto a los 38 edificios derrumbados durante el evento de 2017, más del 70% (es decir, 27 de 38) eran viviendas; además, el 43% de las muertes se asociaron con estas estructuras (99 de 228 víctimas murieron debido a las 27 viviendas derrumbadas); otro aspecto que puede extraerse de la información disponible es que no todos los edificios derrumbados generaron muertes (por ejemplo, en nueve de las 27 viviendas derrumbadas no hubo víctimas).¹²

Al comparar los efectos negativos de ambos sismos, se observa que el evento de 2017 corresponde a aproximadamente el 4% de las víctimas en comparación con el evento de 1985. En contraste, los sobrevivientes afectados del evento de 2017 representan aproximadamente 1.2 veces los de 1985, y las pérdidas económicas del primero representan alrededor del 63% con respecto a los del segundo.

De acuerdo con el Instituto de Ingeniería de la UNAM, se observa que el sismo de 1985 registró frecuencias menos intensas en una duración más larga, mientras que el sismo de 2017, frecuencias más intensas en un menor periodo.

8 F. Galvis, E. Miranda, P. Heresi, H. Dávalos, y J. R. Silos, "Preliminary statistics of collapsed buildings in Mexico City in the September 19, 2017 Puebla-Morelos Earthquake", John A. Blume, Earthquake Engineering Center and Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, <http://learningfromearthquakes.org>.

9 Roberto Meli Piralla y Eduardo Miranda, *Evaluación de los efectos de los sismos de septiembre de 1985 en los edificios de la Ciudad de México. Parte I: Evaluación de daños* (Ciudad de México: Instituto de Ingeniería, UNAM, 1986).

10 Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH) 2018, <http://informe.cndh.org.mx/Default.aspx>

11 Fundación ICA, *Experiencias derivadas de los sismos de septiembre de 1985*.

12 Instituto de Ingeniería, UNAM, 2017 <http://www.iingen.unam.mx/>



Diferencias entre los sismos de 1985 y 2017 (Amax es la aceleración máxima del suelo). Imagen: elaboración de la autora con base en información del Servicio Sismológico Nacional (<https://bit.ly/2HDnW9h>); I. Salcido, *El terremoto de 2017. Diecinueve de septiembre negro* (México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, Casa de las Campanas Editores, 2018); y el Instituto de Ingeniería, UNAM (<https://bit.ly/2xYDLUK>).

La arquitectura, la vivienda y los sismos

La importancia de la intervención de los arquitectos dentro del estudio de este fenómeno sísmico es que de acuerdo con Marco Vitruvio en su tratado *De Architectura*, la arquitectura está basada en tres principios básicos: la Venustas (belleza), la Firmitas (firmeza) y la Utilitas (utilidad). El autor indica que, si alguno de estos tres principios se afecta, no podría ser considerada como tal.

Así, al hacer un análisis de la concepción de acuerdo con este autor, se puede observar que el punto en donde la arquitectura y la ingeniería convergen podría ofrecer mejores soluciones, con la suma de capacidades y alcances de ambas disciplinas; por una parte, la arquitectura puede aportar el diseño, los espacios funcionales y la estética, y por otra colaborar para que se realice una adecuada conjunción con la firmeza y estabilidad, que corresponde a la ingeniería.

Para analizar cómo afectan los sismos a la vivienda y cómo es que la arquitectura desempeña un papel importante para mitigar los

daños que generan, se realiza una revisión general a la normatividad de construcción en la Ciudad de México, y se hace evidente que después del sismo del 19 de septiembre de 1985, se modificó el reglamento de construcciones de la ciudad, con el objetivo de ser más riguroso (por ejemplo, aparecieron las normas de emergencia el 18 de octubre de 1985). Posterior a este evento sísmico se empezaron a construir edificios masivos y más simétricos, con capacidades de carga mayores.

Se observa que estas nuevas reglas constructivas funcionaron, ya que, de acuerdo con la Plataforma “¿Por qué se cayó mi edificio?”, únicamente una edificación construida con la normatividad de 2004 colapsó en el sismo del 19 de septiembre de 2017. Sin embargo, la pregunta que surge es: ¿qué pasó con los edificios que no se encontraban actualizados a la normatividad vigente al momento del sismo?

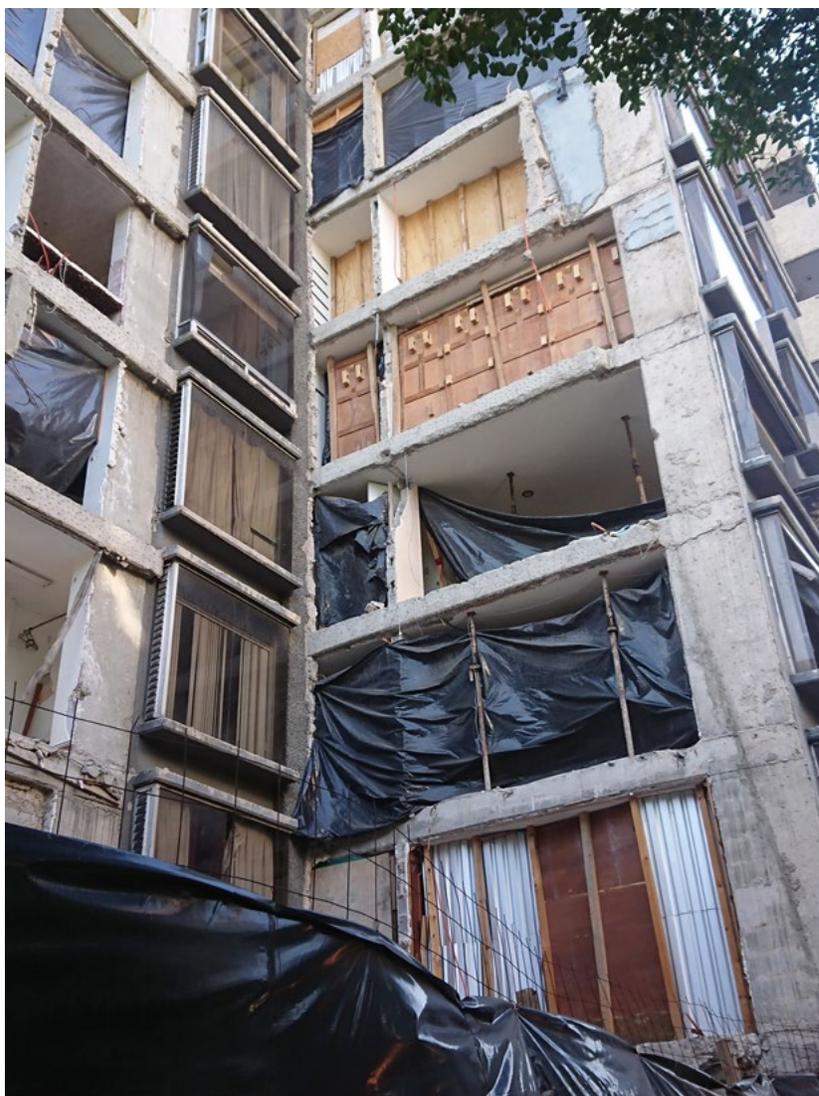
Muchas viviendas (específicamente multifamiliares) se construyeron antes del sismo de 1985, ya que los edificios multifamiliares comenzaron a cobrar mayor importancia aproximadamente en la década de 1940. En esta época se buscó ofrecer a la vivienda obrera mejores condiciones de habitabilidad.

Durante el Movimiento Moderno (que influyó aproximadamente en las décadas de los treinta y los cuarenta en México) se construyeron los edificios que anteceden a los multifamiliares, por ejemplo, los conjuntos habitacionales de Balbuena, La Vaquita y San Jacinto (edificados entre 1932 y 1934) diseñados por el arquitecto Juan Legarreta. Más tarde, entre 1946 y 1965 comenzaron a levantarse los multifamiliares diseñados por el arquitecto Mario Pani, como el “Miguel Alemán” (1947-1949), que fue el primero en aglutinar más de mil departamentos.¹³ Durante esta época, la mancha urbana se expandió y la ciudad creció verticalmente también.

Así, cuando se revisa lo que no se hizo dentro del gremio de la arquitectura, surge la pregunta: ¿qué pasaría con estas edificaciones vulnerables que ya habían soportado un sismo de magnitud importante en el próximo sismo que llegara a generar importantes intensidades sísmicas?

Como ya se mencionó, en la Ciudad de México la vivienda multifamiliar cobra gran importancia ante estos eventos sísmicos, debido a que, de acuerdo con el INEGI, llega a representar aproximadamente el 30% de la muestra total de vivienda existentes en la Ciudad de México, por estar dentro de los edificios de entre tres y siete (o más) niveles que en su mayoría fueron dañados en el último evento sísmico, por encontrarse ante una normatividad que no exige la actualización al reglamento vigente y en muchas ocasiones por estar construidas fuera de la norma.

13 Guillermo Sánchez Rueda, “Origen y desarrollo de la supermanzana y del multifamiliar en la Ciudad de México”, *Ciudades: Revista del Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid*, 12 (2009): 143-170. Disponible en: <https://revistas.uva.es/index.php/ciudades/article/view/1254/1061>



Edificio de vivienda en la colonia Juárez, el cual tenía aproximadamente 38 años de construido, es decir, había soportado el sismo de 1985 y solo presentó un daño menor. Actualmente se encuentra en proceso de rehabilitación. Fotografía de la autora.

Para obtener un estimado de los inmuebles destinados a la vivienda multifamiliar en la Ciudad de México, del total de viviendas registradas en la Ciudad de México por el INEGI (2'601,323), se obtiene que el 29.85% corresponden a edificios de departamentos (776,495 se encuentran en edificios multifamiliares). Si a grandes rasgos se utiliza un promedio de 24 viviendas por edificio, se tienen aproximadamente 32,354 edificios multifamiliares.

Tipo de vivienda	Porcentaje	Número de viviendas	Número de edificios
Vivienda unifamiliar	64.57 %	1 679,674	1 679,674
Departamento en edificio	29.85 %	776,495	32,354
Otro tipo de vivienda	0.35 %	9,105	9,105
No especificado	1.15 %	29,915	29,915
En vecindad	4.08 %	106,134	106,134
Total	100.00 %	2 601,323	1 857,182

Tabla 1. Tipos de vivienda en la Ciudad de México de acuerdo con el INEGI.

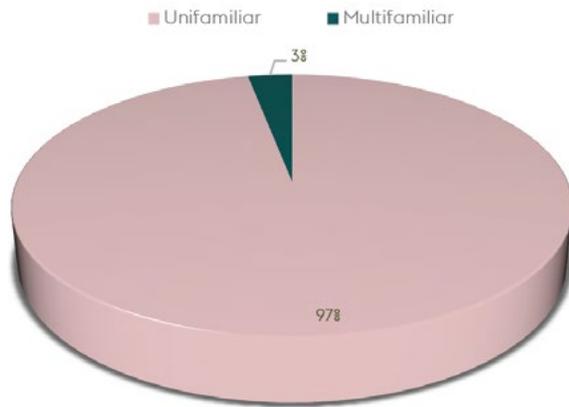
La vivienda multifamiliar que presentó daños después del sismo de 2017

De acuerdo con Francisco García Álvarez, presidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural A.C. (SMIE), en el prólogo de *El terremoto de 2017. Diecinueve de septiembre negro de Iván Salcido*, se estimó que el sismo de 1985 dañó principalmente a edificios de entre siete a 15 niveles, mientras que el sismo de 2017, a inmuebles de entre cuatro y 10 niveles. Esto es, existió mayor cantidad de edificios susceptibles a sufrir cierto nivel de daño en este último sismo. Además, los edificios que no se encontraban diseñados con la normatividad vigente y que habían registrado después del primer evento algún daño menor, eran más vulnerables a sufrir algún daño más severo en un evento sísmico próximo. Y es que, al parecer, no existía en el reglamento de construcciones de la ciudad una normatividad que indicara que las estructuras de tipo B (que no representan un alto impacto social al dañarse) se debían actualizar a la normatividad vigente.

De acuerdo con el portal de la Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México, después del sismo del 19 de septiembre de 2017 fueron 12,252 casos de viviendas que presentaron algún daño, lo cual representa aproximadamente 0.65% del total de viviendas habitadas en la Ciudad de México (la cual cuenta con aproximadamente 1'857,182 edificaciones destinadas a vivienda multi y unifamiliar).

De estas 12,252 viviendas, 11,883 son de tipo unifamiliar y 370 multifamiliares. Es decir, los edificios multifamiliares representan el 3.01% del total de casos de viviendas dañadas. Dentro de los edificios multifamiliares, 250 se destinaron a rehabilitación y 121 a reconstrucción, de acuerdo con el portal de la Comisión para la reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México.

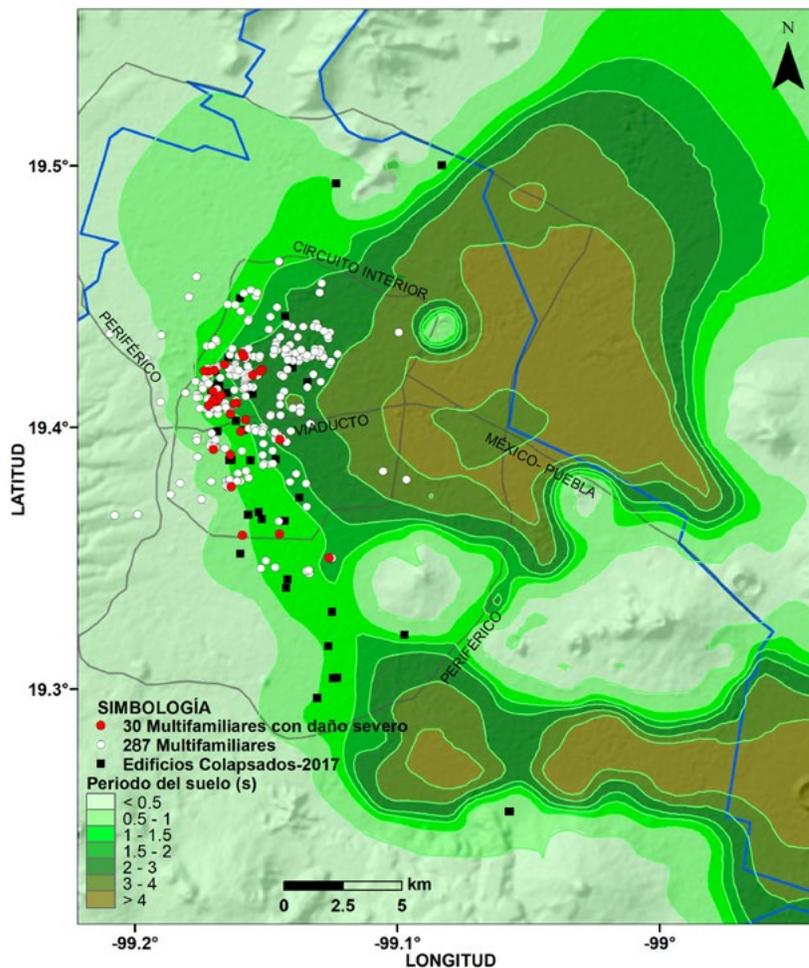
Casos de vivienda reportada con daños después del sismo de 2017



Casos de vivienda reportada con daños después del sismo de 2017 (M7.1) en la Ciudad de México. Gráfica: elaboración de la autora con base en información obtenida del portal para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México (<https://bit.ly/2JPsevQ>).

Entonces, ¿qué pasó después del sismo del 19 de septiembre de 2017 con los multifamiliares que ya tenían daño menor por el sismo de 1985?

Base de datos de edificios usados

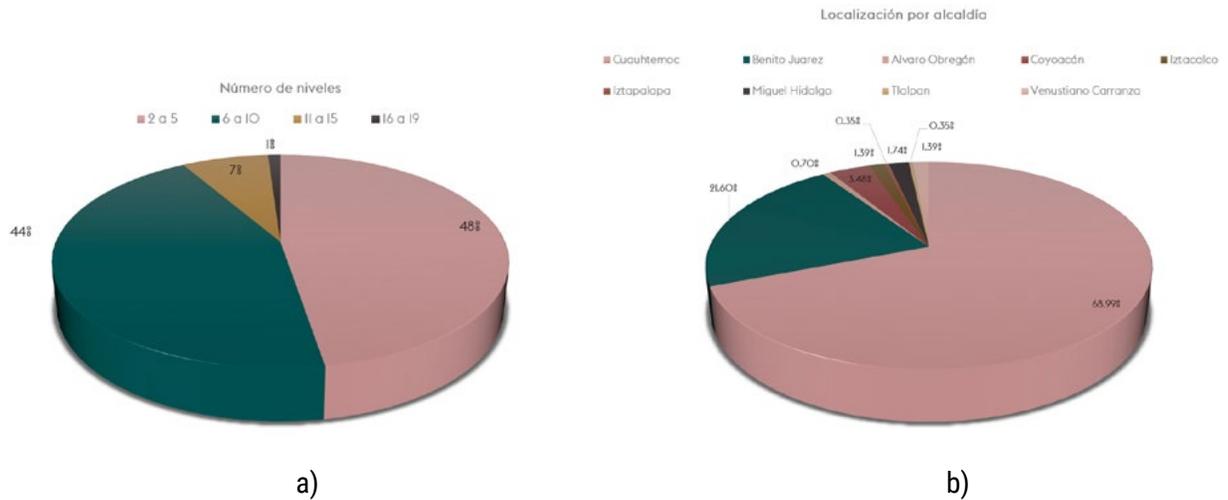


Localización de la muestra de 287 edificios del II-UNAM. Imagen: Miguel Á. Jaimes, II-UNAM.

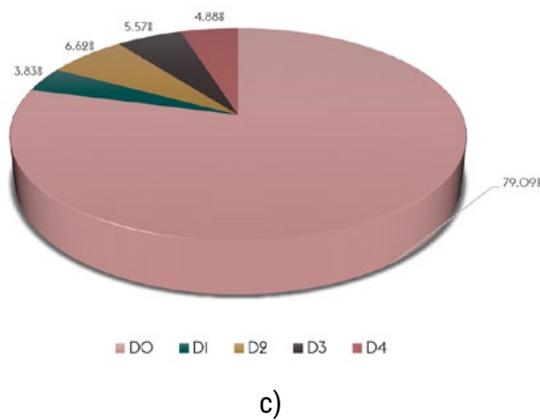
Para efectos de este estudio, se analiza el comportamiento de una muestra del Instituto de Ingeniería de la UNAM ante el evento sísmico del 2017 de viviendas registradas con daño menor después del sismo de 1985. Esta muestra, que se retoma del estudio *Evaluación de los sismos de septiembre de 1985 en los edificios de la Ciudad de México* de Roberto Meli, se enfocó únicamente en los edificios de vivienda multifamiliar por tener una alta vulnerabilidad sísmica e impacto social.

Esta información fue revisada y corroborada por una segunda recopilación de información basada principalmente en inspecciones exteriores in situ, en especial para viviendas en los que se encontró una falta de información general precisa y de daños. Destaca que la información contenida en los documentos (dictámenes emitidos después del sismo de 2017) incluía, cuando existía, daños no solo en exteriores sino también en interiores; por lo tanto, estas fuentes fueron importantes, ya que permitieron la consideración de información no recopilada durante las inspecciones in situ.

La muestra en estudio arroja un total de 287 viviendas, que después del sismo de 1985 registraron daño menor.



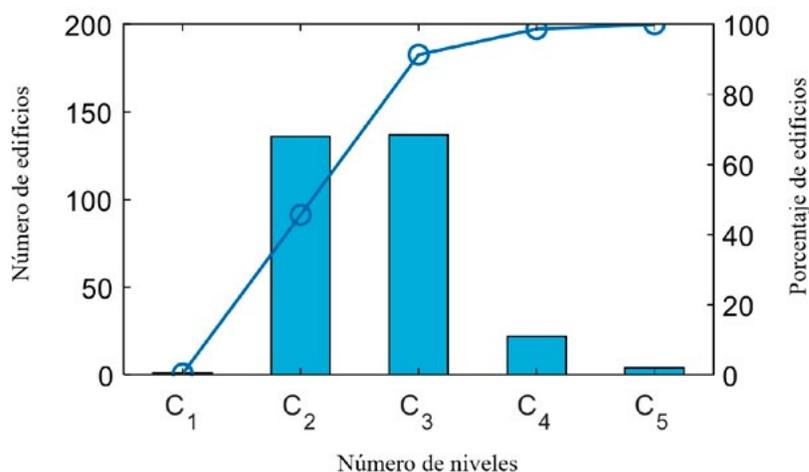
Daño presentado después del sismo de 2017 en los 287 multifamiliares



Estadísticas de los 287 edificios de vivienda estudiados: a) agrupación por número de niveles, b) localización por alcaldía, c) estado de daño presentado después del sismo de 2017. Sin daño (D0), daño menor (D1), daño medio (D2), daño alto (D3), daño muy alto o demolición (D4). Gráficas: elaboración de la autora.

Se realiza una comparativa para analizar cómo se comportaron ante el sismo de 2017 y qué está pasando con estas viviendas a dos años y medio del evento sísmico.

En las gráficas “Agrupación por número de niveles” y “Agrupación por niveles del total de edificios”, se puede apreciar la muestra dividida dentro de cuatro categorías, dependiendo en su número de niveles: de tres a cinco niveles (c2), de seis a 10 niveles (c3), de 11 a 15 niveles (c4) y de 16 a 19 niveles (c5). Se observa que los grupos más representativos en cuanto a número de niveles en los casos de la vivienda multifamiliar son los de tres a cinco y de seis a 10 niveles, con 136 y 127 edificios, respectivamente. Además, se revisa la localización por alcaldías; esta agrupación proyecta que la mayor cantidad de edificios de la muestra se ubica en la alcaldía Cuauhtémoc, seguido por Benito Juárez.



Agrupación por niveles del total de edificios. Gráfica: elaboración Miguel Á. Jaimes, II-UNAM, mayo de 2019.

Daños presentados después del sismo de 2017

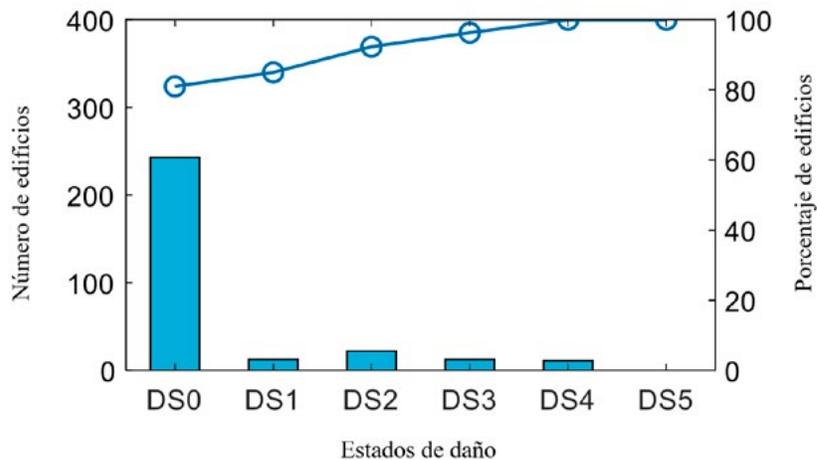
Se realizó un comparativo para observar el daño presentado por estos 287 edificios después del sismo de 2017 y se revisó la información procedente de la Plataforma CDMX, “¿Por qué se cayó mi edificio? La corrupción y la negligencia que acabaron con vidas y patrimonio”, y el portal para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México. El daño fue de muy leve a muy grave (colapso parcial o total).¹⁴ Se obtuvo

¹⁴ Descripción de los estados de daño presentados en la muestra

Daño leve (ds1): este estado incluye fisuras en la estructura, muros o tabiques y daños locales no significativos en columnas y vigas. Esto significa que la estructura está clasificada como segura para sus habitantes y alrededores, por lo que no se requiere una inspección futura.

Daño medio (ds2): cuando la capacidad estructural se ve afectada por el daño local en columnas y vigas; por lo general, se encuentra una pérdida significativa de la capacidad estructural de estos elementos, que deben restaurarse a su estado original. En este estado, los elementos no estructurales podrían sufrir daños graves. Se recomienda una futura inspección de la estructura para garantizar la habitabilidad y la seguridad estructural, lo que debe llevarse a cabo con un proyecto de adaptación adecuado.

que: 227 edificios no reportaron daño (DS0), 11 registraron daño menor (DS1) nuevamente, 19 obtuvieron daño medio (DS2), 16 inmuebles se reportaron con daño alto (DS3) y, por último, 14 con daño muy alto (de demolición) (DS4).



Agrupación por estado de daño presentado después del sismo del 2017 en los 287 edificios bajo estudio. Gráfica: elaboración Miguel Á. Jaimes, II-UNAM, mayo 2019.

Estas cifras resultan alarmantes, ya que el daño acumulado en una estructura se hace presente en estos edificios, los cuales, dentro del reglamento, no exigían una actualización a la normativa vigente. Es decir, más del 10% de la muestra se encuentra con daño alto y muy alto, cuando en el sismo de 1985 había registrado un daño menor; después de haber soportado un evento de importancia, se encuentran dentro del mayor riesgo y, de estos, casi el 50% está destinado a demolición.

Daño alto (ds3): cuando ocurre un daño severo en elementos estructurales que conduce a la inestabilidad estructural. Incluye edificios con columnas severamente dañadas, aunque sin inclinaciones significativas ni deformaciones permanentes importantes en losas. Al igual que ds2, el daño en elementos y contenidos no estructurales es significativo; estas estructuras deben ser apuntaladas provisionalmente. Las estructuras en este estado no se consideran habitables debido a la amenaza que representan para los habitantes. Por lo tanto, se deben llevar a cabo proyectos de rehabilitación estructural y modernización para recuperar la funcionalidad y garantizar la seguridad adecuada.

Daño muy alto (ds4): cuando el daño afecta significativamente la capacidad estructural. Incluye columnas severamente dañadas, importantes deformaciones permanentes en losas e inclinación, y muros estructurales no estructurales con grietas significativas que incluyen piezas de mampostería aplastadas y faltantes. Las condiciones de inestabilidad severa que representan una amenaza para las personas, los edificios adyacentes y los alrededores están implícitas en este estado. Además, los costos de rehabilitación podrían ser muy altos, por lo que se recomienda la demolición.

Colapso (ds5): cuando el edificio se derrumbó parcial o totalmente.

Estado de daño	Porcentaje	Número de edificios
D0	79.09 %	227
D1	3.83 %	11
D2	6.62 %	19
D3	5.57 %	16
D4	4.88 %	14
Total	100 %	287

Tabla 2. Tipo de daño presentado por los 287 edificios bajo estudio. Tabla: elaboración de la autora con base en información de: Plataforma cdmx, Comisión para la reconstrucción (<https://bit.ly/1PQ7VNr>); "¿Por qué se cayó mi edificio? La corrupción y la negligencia que acabaron con vidas y patrimonio", *Mexicanos contra la corrupción y la impunidad* (<https://bit.ly/2NNpzFu>); y portal para la reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México (<https://bit.ly/2JPsevQ>).

Estadísticas de las principales irregularidades arquitectónico-estructurales en los 287 edificios

Otro parámetro importante para el análisis de los daños en la muestra de los 287 multifamiliares son los tipos de irregularidades arquitectónico-estructurales que presentan las viviendas. Después de la inspección visual (realizada en el periodo comprendido de septiembre de 2018 a marzo de 2019), se observó que la mayoría de los edificios bajo estudio presentan (de la irregularidad más frecuente a la menos frecuente): posibilidad de golpeteo, irregularidad en planta, planta baja débil (cuando se identificó una evidente rigidez mucho menor en el primer piso, en comparación con los pisos superiores), columna corta, localización en esquina (es decir, configuración propensa a torsión), e irregularidad en elevación exterior (en la fachada, la parte posterior y los laterales del edificio).

Es importante señalar que aproximadamente el 78% de los edificios presentan potencial golpeteo en su colindancia al no existir una adecuada separación entre edificios adyacentes. En el momento del evento sísmico se genera entre ellos una serie de impactos (golpes), que al tener cada edificio un patrón diferente de desplazamiento debido a la diferencia de rigidez, masa, alturas y geometría, se presentan daños. Además, la diferencia de alturas de entrepiso puede agravarlo, debido a que puede presentarse golpeteo de losas con columnas.

Adicionalmente, el 67.6% de los edificios tienen irregularidad en planta, es decir, la configuración geométrica cobra una importancia vital en los edificios, ya que, a mayor regularidad en planta y alzado, un edificio responderá mejor ante el evento sísmico.

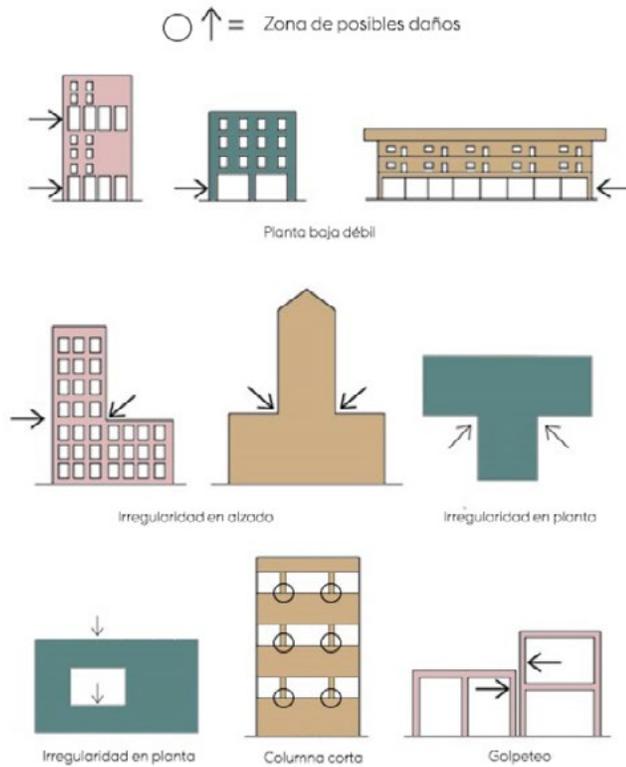
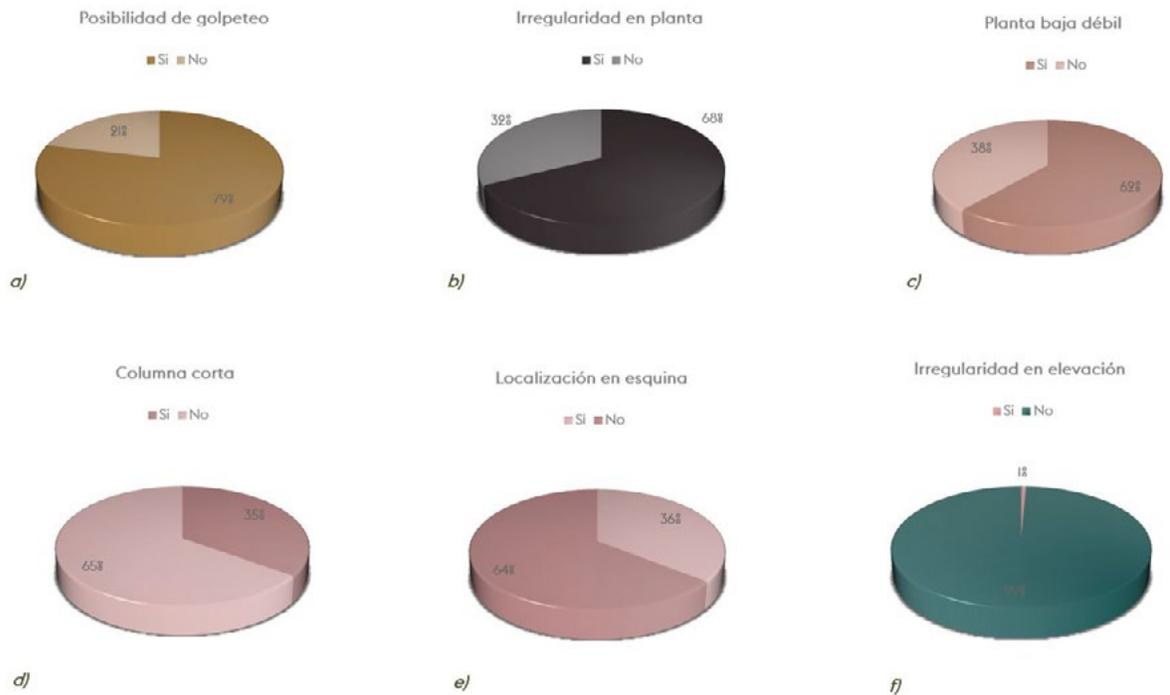


Ilustración de las irregularidades en estudio. Imagen intervenida por la autora. Fuente: <https://bit.ly/2RH3lpz>



Estadísticas de las irregularidades arquitectónico-estructurales en los 287 edificios de vivienda estudiados: a) Posibilidad de golpeteo en colindancias, b) irregularidad en planta, c) planta baja débil, d) columna corta, e) localización en esquina, f) irregularidad en elevación. Gráficas: elaboración de la autora.

Dentro de este estudio se hace muy visible algo en común: la mayoría utilizan la planta baja para estacionamientos, cuyas columnas no representan una adecuada solidez y fortaleza para los niveles superiores. Además, varios inmuebles presentan ventanas hacia la fachada, que disminuyen la altura libre de la columna (y posiblemente puede generar efecto de columna corta) mediante un elemento (estructural o no), que no se desliga del muro, que restringe sus desplazamientos laterales y provoca que la columna aumente su rigidez y los esfuerzos cortantes se producen principalmente sobre esta zona, lo que genera una falla.

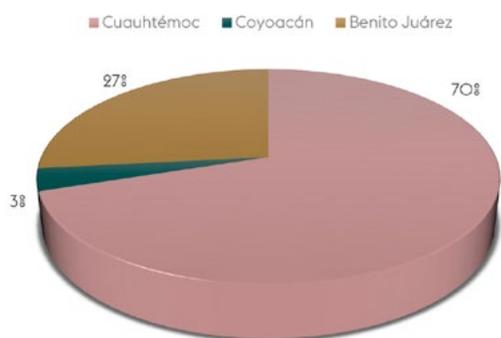
Arquitectónicamente podría remitir el uso de estos elementos a los cinco puntos de arquitectura moderna de Le Corbusier: planta libre, edificios sobre pilotis, uso de ventanas a lo largo de toda la fachada (y que podrían derivar en columnas cortas) y la configuración geométrica de algunos.

Edificios de vivienda con daños severos

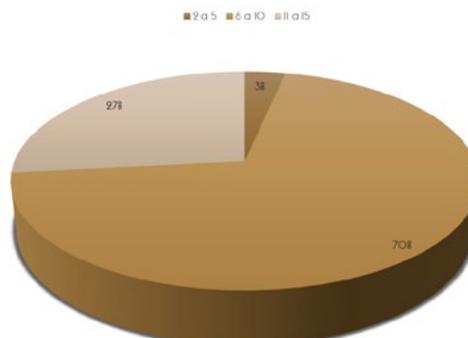
Después del sismo del 19 de septiembre de 2017, 30 edificios de vivienda de los 287 mencionados presentaron daño severo en la ciudad; de ellos, la mayoría fueron edificados en los sesenta y ochenta. Se asume que los reglamentos vigentes para su construcción fueron los de 1966 y 1976.

Se realizaron inspecciones in situ para los 30 edificios con daño severo en el periodo comprendido entre marzo y julio de 2019. Estas se llevaron a cabo solo en el exterior; se revisaron todos los lados visibles de la estructura, debido a varias razones, como los permisos difíciles de obtener, la seguridad y otras cuestiones relacionadas con la organización en el ámbito vecinal. A partir de las inspecciones, se obtuvieron las principales características irregulares (desde un punto de vista arquitectónico-estructural), el número de pisos, el tipo de estructura (como marcos de concreto y muros de mampostería), el grado del daño y el estado actual de la vivienda en ese momento (por ejemplo, demolidos o no, en proceso de rehabilitación, sin cambios, etc.) El 70% de estos edificios con daño alto y muy alto se ubican en la alcaldía Cuauhtémoc, seguido por Benito Juárez y Coyoacán.

Localización por alcaldías 30 edificios con daño severo



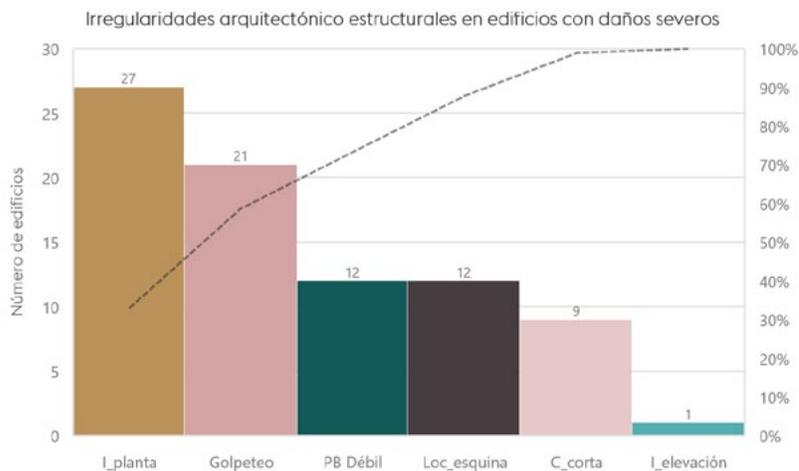
Número de niveles



Gráficas de la localización por alcaldía de los 30 edificios con daño severo (izquierda) y el número de niveles que presentan (derecha). Elaboración de la autora.

Se verificó el número de niveles de estos 30 edificios con daños severos y se observó que únicamente se tiene un edificio dentro del grupo de tres a cinco niveles, de seis a 10 niveles hay 21 registros, y de 11 a 15 niveles, ocho inmuebles. El grupo de seis a 10 niveles representa el 70% de los edificios.

Se revisaron las irregularidades arquitectónico-estructurales que tienen en común estos 30 edificios con daños severos y se obtuvo que el 90% tiene irregularidad en planta, el 70% posibilidad de golpeteo, el 57% planta baja débil, el 40% se localiza en esquina, el 30% presenta efecto de columna corta, y el 3% irregularidad en alzado.



Estadísticas de las irregularidades arquitectónico-estructurales en los 30 edificios con daños severos. Gráficas: elaboración de la autora.

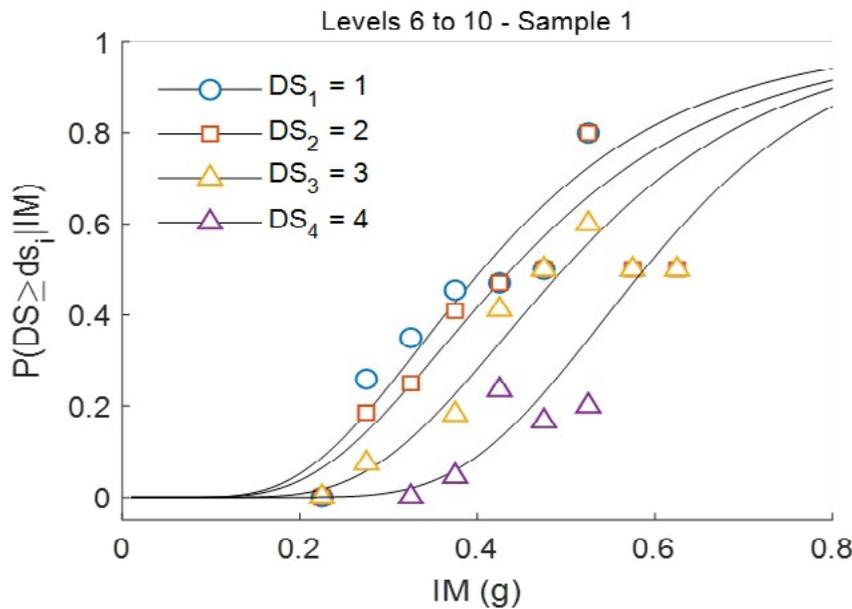
Intensidades sísmicas y daños observados en la muestra de seis a 10 niveles

En la Ciudad de México es importante conocer el nivel de daño de las construcciones sometidas a cierta medida de intensidad. La reciente reglamentación emitida oficialmente (RCDF-2017) estipula que ciertas estructuras, como edificios de viviendas clasificados como B1 (definidos en términos de altura y área y otras características descritas en RCDF-2017), deben estar certificadas por seguridad cada cinco años. Además, dicha certificación debe renovarse después de un terremoto que genera registros de más de 90 gales (~ 0.09 g) en la estación acelerométrica SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transporte). Si el informe oficial determina que no se cumplen los requisitos de seguridad, la estructura debe adaptarse para alcanzar el nivel de seguridad requerido. Los requisitos anteriores apuntan a garantizar la seguridad estructural de ciertos edificios, incluidos los edificios B1 (vivienda) en la Ciudad de México, así como a mejorar el desempeño de los ingenieros certificados para evaluar la seguridad estructural (ingenieros o

arquitectos profesionales oficiales conocidos como corresponsables en seguridad estructural).

Como se observa en la muestra de los 30 edificios que registraron daños severos (alto y muy alto), el 70% de ellos corresponde al grupo de seis a 10 niveles (es decir, 21 edificios con daños severos pertenecen al grupo de seis a 10 niveles). Es por ello que, además de que es el grupo más representativo de la muestra, con 127 edificios, y con mayor vulnerabilidad por el número de niveles, se estudia el comportamiento que tiene ante el sismo de 2017.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las diferentes intensidades sísmicas que experimentaron cada uno de estos edificios en correspondencia con el número de niveles, el periodo del suelo donde están edificados, y la estación sísmica más cercana, se obtiene como resultado que la mayoría de los edificios tiende a presentar daño nulo (DS0), seguido del daño menor (DS1), daño medio (DS2), daño alto, correspondiente a edificios que están destinados a rehabilitación (DS3) y, por último, daño muy alto, que corresponden a los casos que se resolverán vía demolición (DS4).

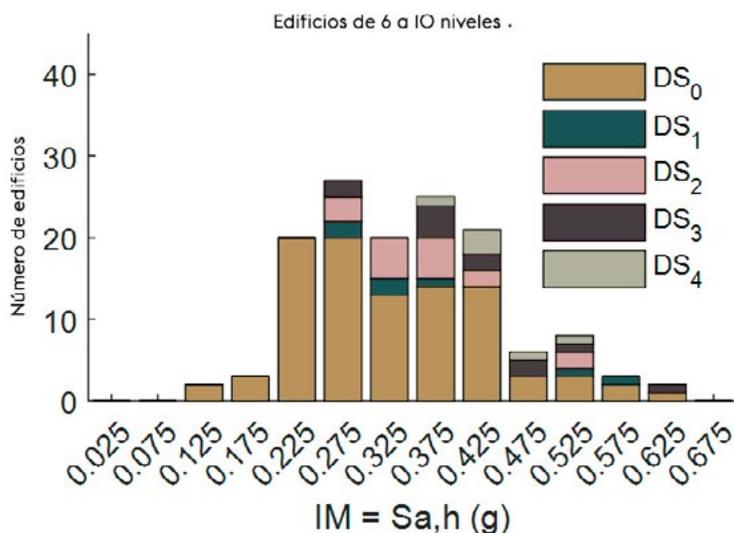


Curvas de fragilidad para cada uno de los estados de daño, en donde se observa que la mayor probabilidad de estado de daño es DS1 (daño menor representando a los edificios con círculos azules), seguido por DS2 (daño medio representando a los edificios con cuadrados naranjas), DS3 (daño alto representando a los edificios con triángulos amarillos) y DS4 (daño muy alto o demolición representando a los edificios con triángulos morados). Gráfica: elaboración Miguel Á. Jaimes, II-UNAM, mayo 2019.

Dentro del grupo de estos edificios, los que mayores daños sufrieron fueron los que presentan una intensidad sísmica de 0.375 (g) a 0.525 (g); destacan los edificios que estuvieron sometidos a una intensidad de 0.425 (g), de los cuales tiene el mayor registro con daño muy alto.

Dentro de esta muestra, los edificios que resultaron con daños severos (daño alto y muy alto) se encuentran localizados en terrenos con periodos de $T_s = 0.80$ a 2.48 s. Además, estuvieron sometidos a aceleraciones espectrales (S_a (g)) que van de 0.26 a 0.63 g.

En las curvas de fragilidad para cada uno de los estados de daño, se puede observar que la tendencia que presenta la muestra es mayoritariamente susceptible a percibir daño menor (círculos azules) (ds1), seguido de daño medio (cuadrados naranjas) (ds2), daño alto (triángulos amarillos) (ds3) y daño muy alto (triángulos morados) (ds4), este último es el menos probable dentro de la muestra (es decir, los edificios de esta muestra tienen mayor probabilidad de presentar daños menores).



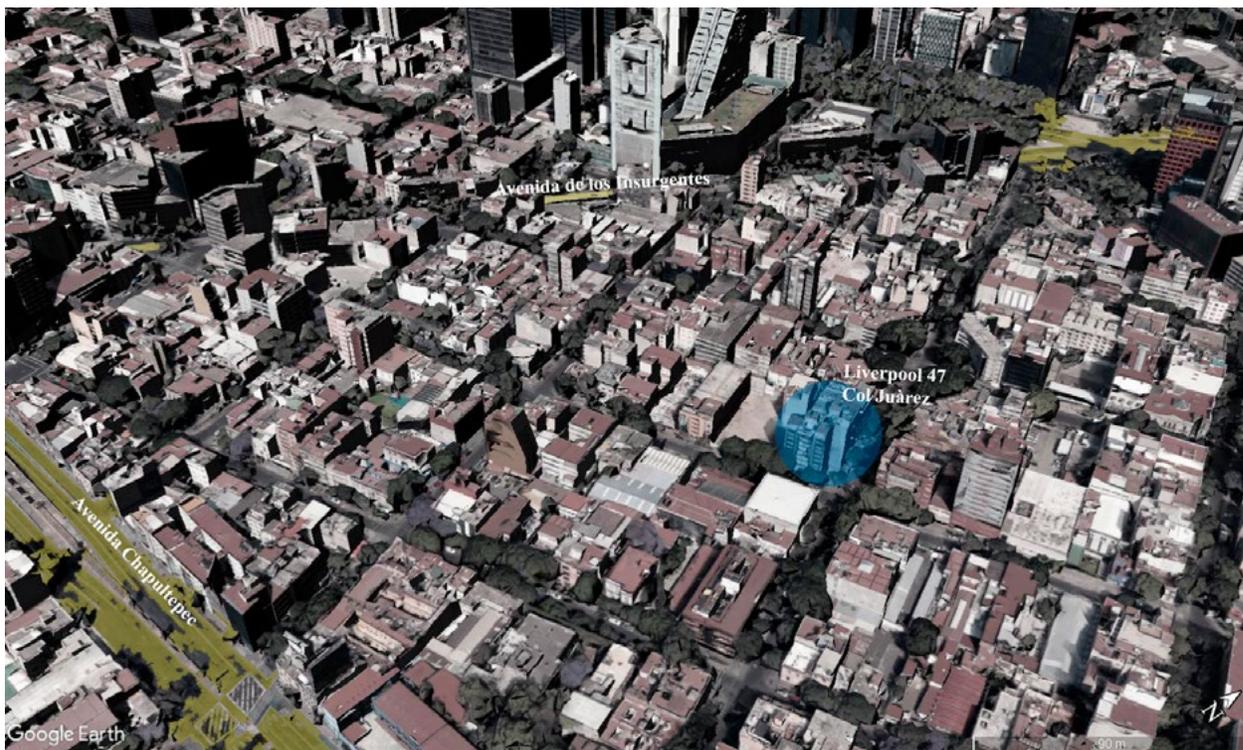
Número de edificios con los diferentes tipos de daño presentado: sin daño evidente (ds0), daño menor (ds1), daño medio (ds2), daño alto (ds3) y daño muy alto (ds4), con relación a las intensidades sísmicas presentadas para los edificios de seis a 10 niveles. Gráfica: elaboración Miguel Á. Jaimes, II-UNAM, mayo 2019.

Ejemplos de casos de estudio

A continuación, se presentan dos ejemplos de edificios que presentaron daño alto (ds3) y muy alto (ds4) después del sismo de 2017, y que en el sismo del 19 de septiembre de 2017 1985 habían presentado daño menor (ds1) a los que se realizó inspección de banqueta en el mes de julio de 2019 para corroborar la información de acuerdo con los dictámenes obtenidos de la Plataforma CDMX. Cabe señalar que la inspección visual se realizó en los 30 edificios bajo estudio. Con fines de ejemplificación se presentan dos casos.

Caso 1. Descripción de daños en edificio CUA-174 – Daño alto (D3)

Se trata de un inmueble ubicado en la calle de Liverpool núm. 47, en la colonia Juárez (lat. 19. 427051°, long. 99. 15861°).



Mapa de ubicación de la vivienda multifamiliar en la calle de Liverpool núm. 47. Mapa base obtenido de Google Earth. Intervención de la autora.

El edificio tiene aproximadamente 38 años de antigüedad y cuenta con nueve niveles destinados a uso habitacional. El inmueble pertenece al grupo B1. Es irregular en planta y está estructurado mediante marcos rígidos de concreto armado de columnas y losa plana aligerada con casetones; cuenta con muros de mampostería de block hueco sin refuerzos horizontales y escasamente tiene algunos verticales. La cimentación es de cajón de concreto, que es usado como estacionamiento. En planta baja cuenta con vanos para acceso al estacionamiento y a los departamentos, por lo que el edificio es de planta baja flexible.

De acuerdo con el dictamen obtenido de la Plataforma CDMX, la edificación presentó falta de mantenimiento, por lo que existieron daños severos previos al sismo, tales como humedad, desconchamientos en trabes de sótano por causa de la humedad, ya que el cajón carecía de un sistema de impermeabilización. A raíz del terremoto, una columna del lado sur falló, con varillas que perdieron continuidad y otras flexionaron; los estribos también fallaron. Además, presentó daño estructural en un nodo entre columna y trabe que se encuentra en la rampa de acceso al estacionamiento de planta baja, en la colindancia sur con lo que su resistencia se vio reducida. También, se presentaron daños en muros y recubrimientos y fue necesario reforzar los primeros y eliminar

los segundos. Los recubrimientos de fachadas se apreciaron caídos. El inmueble presentó asentamientos diferenciales, inclinaciones notorias que probablemente se incrementaron con el sismo. Como se puede observar en fotografías tomadas cuando se realizó la inspección de banqueta, el edificio permanece deshabitado y en espera del proyecto de rehabilitación.



a)



b)



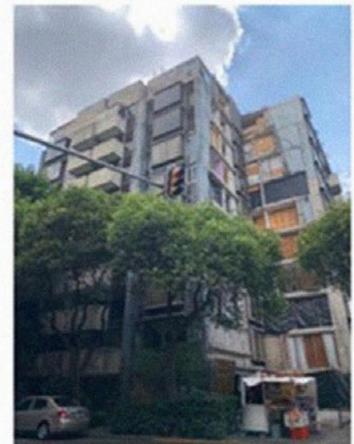
c)



d)



e)



f)

Edificio considerado de alto riesgo: a) Vista aérea del edificio, abril de 2017 (fuente: <https://bit.ly/2FJfiaA>); b) Fachada oriente del edificio previo al sismo, abril de 2017 (fuente: <https://bit.ly/2AsWK8w>); c) Pérdida de verticalidad del edificio, en el extremo superior se toca con el edificio colindante en la junta constructiva, febrero de 2018 (fuente: <https://bit.ly/2OYQCdz>); d) Grietas en muros de mampostería y daños en columnas, febrero de 2018 (fuente: <https://bit.ly/2OYQCdz>); e) Vista actual del edificio, fachada oriente, julio de 2018; f) Estado actual del edificio, acceso vehicular, planta baja débil, julio de 2018.

Caso 2. Descripción de daños en edificio BEJ-111 – Daño muy alto / Demolición (D4)

Se trata de un inmueble localizado sobre la avenida Gabriel Mancera núm. 33, en la colonia Del Valle Norte (lat. 19.38959, long. 99.163646).



Mapa de ubicación de la vivienda sobre la avenida Gabriel Mancera núm. 33. Mapa base obtenido de Google Earth. Intervención de la autora.

Constaba de sótano y planta baja para uso de estacionamiento y 11 niveles destinados a uso habitacional. De acuerdo con la información del dictamen estructural, el edificio estaba estructurado a base de columnas de concreto armado y losas planas aligeradas con muros diaphragma de mampostería en algunas zonas; se infiere que su cimentación era profunda. Ubicado en los límites entre la zona geotécnica II de transición y III de lago, de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y por encontrarse en los límites de la zona III, pertenece al grupo B1, según la clasificación del artículo 139 del Reglamento.

La estructura de la edificación sufrió afectaciones en sus elementos principales. Se observaron fisuras en columnas; en los muros diaphragma y divisorios de mampostería mostraron desplomes, fractura y agrietamientos por cortante. Esta avería se presentó principalmente en los primeros seis niveles y en gran parte de las plantas también se tuvieron desprendimientos de aplanados en fachada. El edificio presentó un desplomo significativo (0.8%) hacia su costado norte. La edificación contaba con un apuntalamiento deficiente.

Los daños referidos fueron atribuibles a las grandes deformaciones laterales debido a que presentaba una estructuración de planta baja

flexible y de forma geométrica irregular, y al sistema de entrepiso a base de losa plana.

Posteriormente a la revisión estructural ocular y física del inmueble se llegó a la conclusión de que debía demolerse en su totalidad.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Edificio considerado con daño muy alto ubicado en la avenida Gabriel Mancera núm. 33: a) Vista aérea del edificio, abril de 2017 (fuente: <https://bit.ly/2Re3hv2>); b) Estado del edificio antes del sismo de 2017, fachada oriente del edificio, abril de 2017 (fuente: <https://bit.ly/2OSKRTX>); c) Derrumbes parciales en planta de estacionamiento, daños en muros de colindancia, febrero de 2018 (fuente: <https://bit.ly/2FHvUzr>); d) Daños en muros diafragma de cubo de escaleras, febrero de 2018 (fuente: <https://bit.ly/2FHvUzr>); e) Estado del edificio en julio de 2019; f) Grietas en muros diafragma, febrero de 2018 (fuente: <https://bit.ly/2FHvUzr>).

Conclusiones

Destaca que la mayoría de los edificios de vivienda dañados durante el evento sísmico de 2017 se construyeron antes de 1985, lo que podría implicar que tales viviendas tuvieron daño acumulado por sismos pasados y pueden haber tenido también asentamientos diferenciales u otros problemas (por ejemplo, falta de mantenimiento, asentamiento regional, agrietamiento del suelo, entre otros), lo que lleva a un aumento de su vulnerabilidad sísmica.



Estado actual del edificio ubicado en la calle de Liverpool núm. 47, considerado con riesgo alto, julio de 2019. Fotografía de la autora.

Muchos de los edificios en la muestra considerada fueron diseñados con viejos códigos de construcción y, como se ha señalado en el presente estudio, no era obligatorio actualizarlos según las regulaciones de ese momento (no antes de las últimas modificaciones en RCD-2017). Esto significa que existe la posibilidad de que las estructuras de

viviendas existentes con cierto nivel de daño leve o moderado durante el sismo de 2017 en la Ciudad de México presenten daño acumulado, por lo que su seguridad a niveles aceptables no está garantizada y es posible que no puedan resistir el próximo gran sismo. Como soporte de tal posibilidad, se deben considerar las estadísticas del presente estudio, donde se exhibe que dentro de la muestra de los 287 edificios que habían presentado un daño menor en el sismo del 19 de septiembre de 1985, después del sismo del 19 de septiembre de 2017 el 10.45% presentó un daño severo (D3 y D4) y de este casi la mitad de los edificios están destinados a demolerse.

Cabe señalar que los edificios bajo estudio pertenecen a una clase social media igual que la mayoría de los edificios multifamiliares. Como menciona Rosalba González Loyde, en América Latina existen diversos estudios que demuestran que las clases medias son las más vulnerables ante desastres naturales, ya que están desprotegidas de políticas públicas y de autogestión para ser resilientes ante las catástrofes. Esto debido a que la clase alta regularmente resuelve por autofinanciamiento, y la clase baja espera la respuesta estatal. Es así como la clase media queda relativamente invisibilizada ante estas crisis, sumado a que algunas veces habita en la informalidad (por ejemplo, invasiones de terrenos en áreas verdes o construcción de pisos o viviendas fuera de la norma vigente).¹⁵

De esta forma, se observa que la premisa “si nuestro edificio de departamentos ya soportó un sismo de cierta magnitud, podrá hacerlo con uno de diferente magnitud” es falsa. El daño acumulado en las estructuras muestra que no es un argumento que ponga a salvo la vida de los usuarios, ya que no existen los edificios infalibles, y que es cierto que el trabajo continuo a través de la transdisciplina podría ofrecer más y mejores soluciones a una ciudad que debe pensarse no para reconstruirse adecuadamente, sino para que no deba reconstruirse, que sea menos vulnerable, a pesar del peligro sísmico. Adicionalmente, la Ciudad de México debe pensarse como un todo, con políticas públicas que impulsen el crecimiento de la ciudad, no de una zona, no de un edificio, sino de una metrópoli que crece a la par.

Hoy, el reto es retomar los principios e ideales de entregar vivienda digna, estéticamente agradable y estructuralmente segura. La tarea es compartida: arquitectos, ingenieros, desarrolladores y, por supuesto, una normatividad emitida por las autoridades basada en estudios que involucran a muchas otras disciplinas, así como los dueños de los edificios de vivienda en cuestión.

El entendimiento de las irregularidades arquitectónico-estructurales debe realizarse desde la concepción del diseño arquitectónico. El análisis de la irregularidad en planta y alzado corresponde directamente al diseño arquitectónico. Es posible que la planta baja débil sea el resultado de proyectar el uso de esta planta para estacionamiento en zonas donde se vuelve vulnerable este piso por el tipo de suelo de la ciudad.

15 Rosalba González Loyde, “De sismos y vulnerabilidad de la clase media”, *Arquine* (19 de septiembre de 2018), disponible en: <https://www.arquine.com/sismos-vulnerabilidad-clase-media/> [consultada el 23 de febrero de 2020].

Además, se debe aprender a priorizar, entre otros factores, la formalidad del proyecto arquitectónico, los requerimientos (muchas veces deseos arquitectónico-formales) y las necesidades de la población de una ciudad en la que definitivamente se espera el próximo gran sismo.

Detenernos a pensar que, además de la elección de acabados, los aspectos formales, el uso del espacio y los recorridos, el diseño arquitectónico deberá contribuir y sumar estrategias y planes para proteger las vidas de los usuarios ante un evento sísmico en una ciudad tan vulnerable. Es decir, la arquitectura debe contener esta condición por naturaleza desde la geometría del espacio. Hablar de sismorresistencia debe estar implícito en la arquitectura, porque es una condición natural, es decir, no hay que perder el valor de lo que Marco Vitruvio define como “firmitas”, porque entonces no se estaría haciendo arquitectura.

Invariablemente, asumir nuestro papel como responsables de las edificaciones, por ejemplo, como lo menciona Alejandro Hernández Gálvez “en una entrevista que le hizo Miquel Adrià a los pocos días del terremoto del 19 de septiembre, Alejandro Aravena explicó que en Chile se diseña para que no tiemble, lo que no quiere decir que la tierra deje de sacudirse, sino que los terremotos no causen daños que produzcan decenas, cientos o miles de muertos, heridos y damnificados”.¹⁶

Una estructura debe ofrecer la máxima seguridad, en donde no se perderán vidas, ni se pondrá en riesgo la integridad física de los ocupantes. ¿Hasta dónde se puede diseñar dejando de lado la entorno donde se construye y sin dar la importancia al riesgo natural en una ciudad sísmica? ¿Qué va a pasar con los edificios que actualmente presentaron un daño menor en el próximo sismo?

16 Alejandro, Hernández Gálvez, “La reconstrucción”, *Arquine* (19 de febrero, 2018), disponible en: <https://www.arquine.com/la-reconstruccion/> [consultada el 23 de febrero de 2020].

Referencias

- ALLIER Montaño, Eugenia. "Memorias imbricadas: terremotos en México, 1985 y 2017", *Revista mexicana de sociología*, 80 (2018).
- CENTRE for Research on the Epidemiology of Disasters. EM-DAT The international disaster database. <https://public.emdat.be/data>
- COMISIÓN Nacional de los Derechos Humanos (CNDH), 2018. <http://informe.cndh.org.mx/Default.aspx>
- CRUZ Atienza, Víctor Manuel. *Los sismos: una amenaza cotidiana*. Ciudad de México: La caja de cerillos ediciones, 2013.
- CRUZ Atienza, Víctor Manuel, Shri Krishna, y Mario Ordaz. "¿Qué ocurrió el 19 de septiembre de 2017 en México?", Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM, 2017. <http://ciencia.unam.mx/leer/652/-que-ocurrio-el-19-de-septiembre-de-2017-en-mexico>
- FUNDACIÓN ICA. *Experiencias derivadas de los sismos de septiembre de 1985*. México: Noriega editores, 1988.
- GALLEGO Mauricio, Alberto Sarria. *El concreto y los terremotos*. Colombia: Editorial Asocreto, 2006.
- GALVIS, F., E. Miranda, P. Heresi, H. Dávalos, y J. R. Silos. "Preliminary statistics of collapsed buildings in Mexico City in the September 19, 2017 Puebla-Morelos Earthquake", John A. Blume Earthquake Engineering Center and Department of Civil and Environmental Engineering Stanford University, <http://learningfromearthquakes.org>.
- GONZÁLEZ Loyde, Rosalba. "De sismos y vulnerabilidad de la clase media", *Arquine* (19 de septiembre, 2018). <https://www.arquine.com/sismos-vulnerabilidad-clase-media/>
- HERNÁNDEZ Gálvez, Alejandro. "La reconstrucción", *Arquine*. (19 de febrero, 2018). <https://www.arquine.com/la-reconstruccion>
- _____. "Antes del próximo sismo en la Ciudad de México", *Arquine* (26 de septiembre de 2017). <https://www.arquine.com/antes-del-proximo-sismo-ciudad-de-mexico/>
- HERNÁNDEZ Zarco, Miguel Ángel. *Revisión de estructuras dañadas en sismos ocurridos en la Ciudad de México a la luz de nuevos conocimientos*. Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2017.
- INEGI. *Anuario estadístico y geográfico de la Ciudad de México 2017*. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825094683.pdf
- INSTITUTO de Ingeniería, UNAM, 2017. <http://www.iingen.unam.mx/>
- JAIMES Téllez, Miguel Ángel, y Eduardo Reinoso Angulo. "Comparación del comportamiento de edificios en el valle de México ante sismos de subducción y de falla normal", *Revista de Ingeniería Sísmica*, 75 (2006): 1-22. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61807501>
- JAIMES, Miguel A., Alejandro Ramirez-Gaytán, y Eduardo Reinoso. "Ground-motion prediction model from intermediate-depth intraslab earthquakes at the hill and lake-bed zones of Mexico City", *Journal of Earthquake Engineering*, 19.8 (2015): 1260-1278. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13632469.2015.1025926>
- JAIMES Téllez, Miguel Ángel. "Sismo del 19 de septiembre de 2017 M7.1, Puebla-Morelos". http://www.smis.org.mx/pdf/Sismo%20M71_Puebla_Morelos_MAJT.pdf
- MASAKI, Kazuaki, Norio Abeki, y Kazuoh Seo. "Daños causados por el sismo de Michoacán de 1985: Reporte del Instituto de Arquitectos de Japón". México: Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 1996.

- MELI Piralla, Roberto. *Evaluación de los efectos de los sismos de 1985 en los edificios de la ciudad de México*, tres volúmenes y siete anexos. Ciudad de México: Instituto de Ingeniería, UNAM, 1986.
- MELI Piralla, Roberto, y Eduardo Miranda. *Evaluación de los efectos de los sismos de septiembre de 1985 en los edificios de la Ciudad de México. Parte I: Evaluación de daños*. Ciudad de México: Instituto de Ingeniería, UNAM, 1986.
- ORTÍN Soriano, Pablo. *La geometría como mecanismo compositivo en la historia de la arquitectura: la retícula en la arquitectura moderna*. Tesis de doctorado, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad politécnica de Valencia, 2016.
- SALCIDO, Iván. *El terremoto de 2017. Diecinueve de septiembre negro*. México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, Casa de las Campanas Editores, 2018.
- _____. *“El terremoto de 1985. Treinta años en nuestra memoria*. México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, Casa de las Campanas Editores, 2018.
- SÁNCHEZ Rueda, Guillermo. “Origen y desarrollo de la supermanzana y del multifamiliar en la Ciudad de México”, *Ciudades: Revista del Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid*, 12 (2009): 143-170. <https://revistas.uva.es/index.php/ciudades/article/view/1254/1061>

Vania Itzumi Catalán Pérez

vcatalanp@iingen.unam.mx

Egresada de la Facultad de Arquitectura de la UNAM. Directora y fundadora de Catalán Arquitectos. Ha colaborado en despachos de arquitectura como DOMA Arquitectura y FJ Arquitectos, en proyecto arquitectónico y supervisión de obra. Asimismo, colabora con *Arquine* para la realización del Festival de arquitectura y ciudad, Mextrópolis, en el enlace universitario e invitados VIP. Es asistente académica en la Facultad de Arquitectura de la UNAM en las asignaturas de Sistemas Estructurales Básicos I y la asignatura optativa Residencia y Supervisión de Obra. En el periodo comprendido entre agosto de 2018 y marzo de 2020 realizó una estancia de investigación en el Instituto de Ingeniería de la UNAM para colaborar con la investigación sobre los daños acumulados en edificios de vivienda por los sismos de 1985 y 2017. Derivado de esta estancia recibió en noviembre de 2019 el Premio Facultad de Arquitectura a la excelencia del Servicio Social y la Práctica Profesional. Su línea de interés profesional es la gestión de riesgo debido a fenómenos naturales enfocado a la arquitectura.