

# ESCENARIOS SÍSMICOS PARA LA ESTIMACIÓN DE DAÑOS ESTRUCTURALES Y PLANIFICACIÓN URBANA

EDUARDO REINOSO Y PABLO QUINDE

La estimación de pérdidas humanas y económicas debido a eventos naturales puede ayudar de manera efectiva a los tomadores de decisiones en el desarrollo de acciones de mitigación de riesgos para justamente evitar esas pérdidas. En años recientes, varias entidades y gobiernos, han visto la necesidad de mejorar e incrementar la información relacionada con riesgos naturales, con el fin de desarrollar medidas de reducción de riesgos para varios sectores claves de la sociedad. En este artículo, se presenta un resumen del análisis de riesgo sísmico de la Ciudad de México, para conocer los escenarios más desfavorables (en términos de daños estructurales) y así, plantear planes de respuesta ante un evento sísmico

importante, para desarrollar medidas de prevención de riesgos e incrementar la resiliencia de la Ciudad.

Los componentes principales en un análisis probabilista de riesgo sísmico para edificios son:

a) Modelo de peligro sísmico: A partir de estos modelos, es posible obtener la probabilidad de que se excedan ciertas intensidades. Con estos resultados, se pueden plantear escenarios sísmicos realistas para el cálculo de riesgo.

b) Modelos de bienes expuestos: Se trata de la ubicación y características de bienes expuestos que permitan clasificar a los edificios, como por ejemplo el número de pisos, el año de construcción, el tipo de sistema estructural, el área de construcción y el costo de reemplazo entre otros. Proporciona la información sobre la distribución de los activos. Los resultados del análisis de riesgo dependen de la calidad y detalle de la base de datos de bienes expuestos utilizada.

c) Modelos de vulnerabilidad física: Obtener modelos que proporcionan la probabilidad de pérdida asociada a un nivel de intensidad del sismo. Estos modelos se pueden derivar de métodos empíricos, analíticos, estadísticos o una combinación de estos.

## Escenarios sísmicos para el análisis de daños estructurales

En este artículo se han considerado tres grupos de escenarios sísmicos: a) asociados al peligro sísmico probabilista, b) asociados a resultados de pérdidas estimadas máximas y recurrentes, y c) escenarios sísmicos históricos. Estos escenarios generan un panorama general del riesgo sísmico en Ciudad de México, a partir de los cuales es posible proponer medidas de mitigación de acuerdo a un interés específico.

### a) Escenarios sísmicos asociados al peligro sísmico probabilista

Los resultados del análisis de peligro sísmico probabilista (PSHA) fueron calculados para varios periodos de retorno considerando los efectos de sitio del lecho lacustre de Ciudad de

México. La principal ventaja de utilizar estudios del tipo PSHA es que se integra la ocurrencia de todos los posibles sismos para calcular una probabilidad de ocurrencia combinada que considere las características sísmicas de la región. En la Figura 1 se muestran mapas de peligro sísmico para los periodos de retorno de TR = 125 y 500 años para Ciudad de México para un periodo de vibración de  $T_e = 2.0$  s.

Sin embargo, con esta misma metodología se pierde de vista el “sismo de diseño” (McGuire, 1995). Para encontrar los sismos que mejor representen la sismicidad de una región se utiliza la desagregación sísmica, a partir de la cual se obtiene una magnitud ( $M$ ) y distancia ( $R$ ) asociada a eventos de diseño para diferentes fuentes sísmicas. En la Figura 2 se muestra la desagregación sísmica para TR = 250 años en la estación sísmica CU (ubicada en el Instituto de Ingeniería), donde se pueden ver los cuatro escenarios sísmicos escogidos.

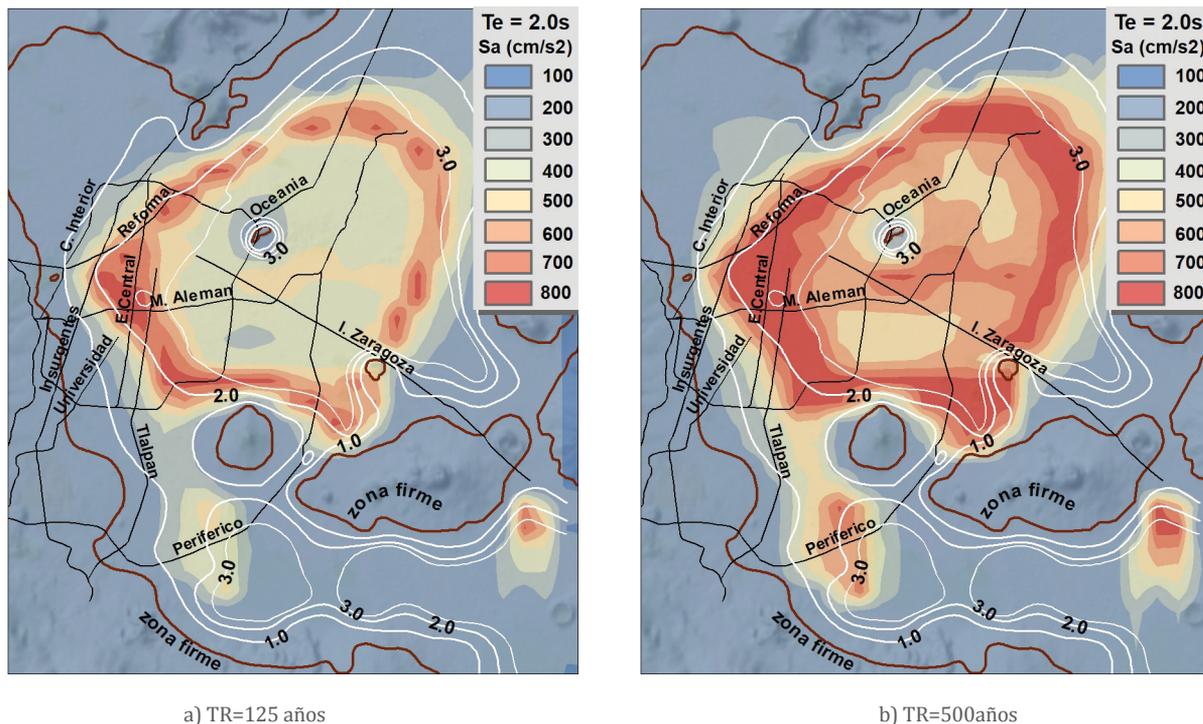


Figura 1. Mapas de peligro sísmico para los periodos de retorno indicados y un periodo de vibración  $T_e = 2.0$  s

## b) Escenarios sísmicos asociados al riesgo sísmico probabilista

Se estudiaron dos escenarios asociados al riesgo sísmico. El objetivo fue considerar tanto el aspecto financiero como el de planificación de emergencias. Al utilizar una metodología probabilista de riesgo sísmico se obtienen los escenarios: a) escenario asociado al daño máximo, con magnitud  $M_w = 7.7$ ,

a una distancia de  $R = 105$  km y una profundidad de  $H = 60$  km, el cual, es de interés porque las pérdidas serían elevadas pero la probabilidad de ocurrencia del evento es baja; b) escenario asociado a daños recurrentes, con una magnitud de  $M_w = 6.6$ , a una distancia de  $R = 100$  km y una profundidad de  $H = 60$  km, escenario que genera menor daño en la ciudad, pero su frecuencia de ocurrencia es más alta.

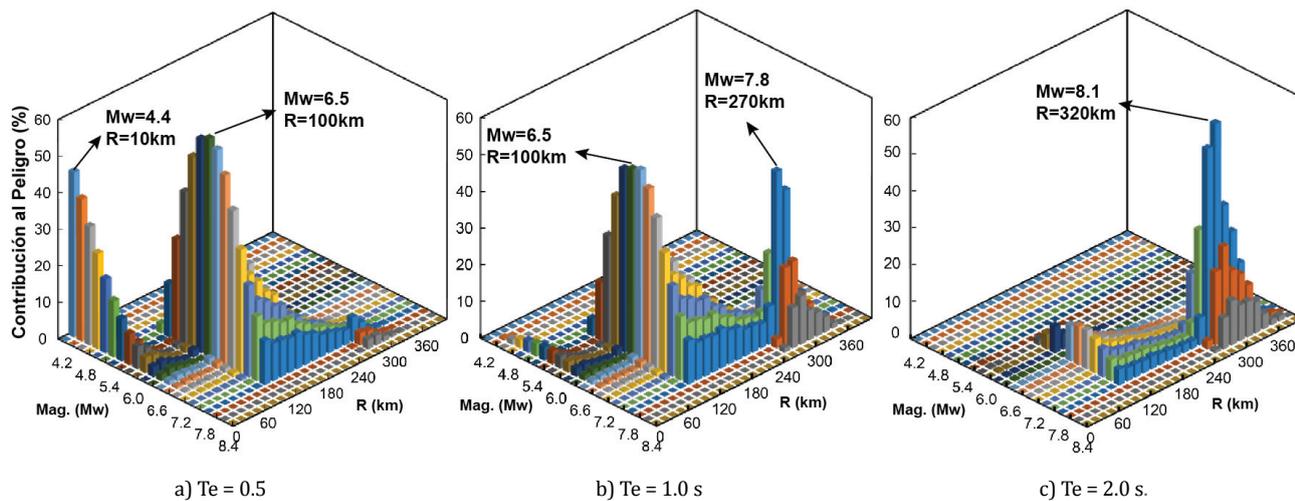


Figura. 2. Desagregación sísmica de estación CU para un periodo de retorno de 250 años para los periodos estructurales indicados.

## c) Escenarios sísmicos asociados a sismos históricos

Adicionalmente a los escenarios modelados, se analizaron sismos históricos que generaron daños estructurales en la Ciudad de México, con el fin de tener demandas registradas en la ciudad y conocer cuáles serían los daños con el portafolio actual de estructuras.

En las Figuras 3 y 4 que se muestran en la siguiente página aparecen como ejemplos los mapas de daño del escenario asociado al peligro sísmico  $M_w = 7.6$  y  $R = 270$  km y del sismo

histórico del 11 de noviembre de 1912, conocido como sismo de Acambay ( $M_w = 6.9$ ,  $R = 70$  km). En las mismas figuras se muestra la estadística de los edificios dañados debido a estos escenarios. Los resultados sólo se muestran para edificios con más de tres pisos en la zona de lago de Ciudad de México. La incertidumbre de los bienes expuestos del catastro es muy alta debido a la poca información para caracterizar los bienes expuestos, por lo que los resultados podrían afinarse dependiendo del detalle del catastro de la ciudad.

## Referencias

- McGuire, R. K., 1995. Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Design Earthquakes: Closing the Loop. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85(5), 1275-1284. DOI: 10.1016/0148-9062(96)83355-9.

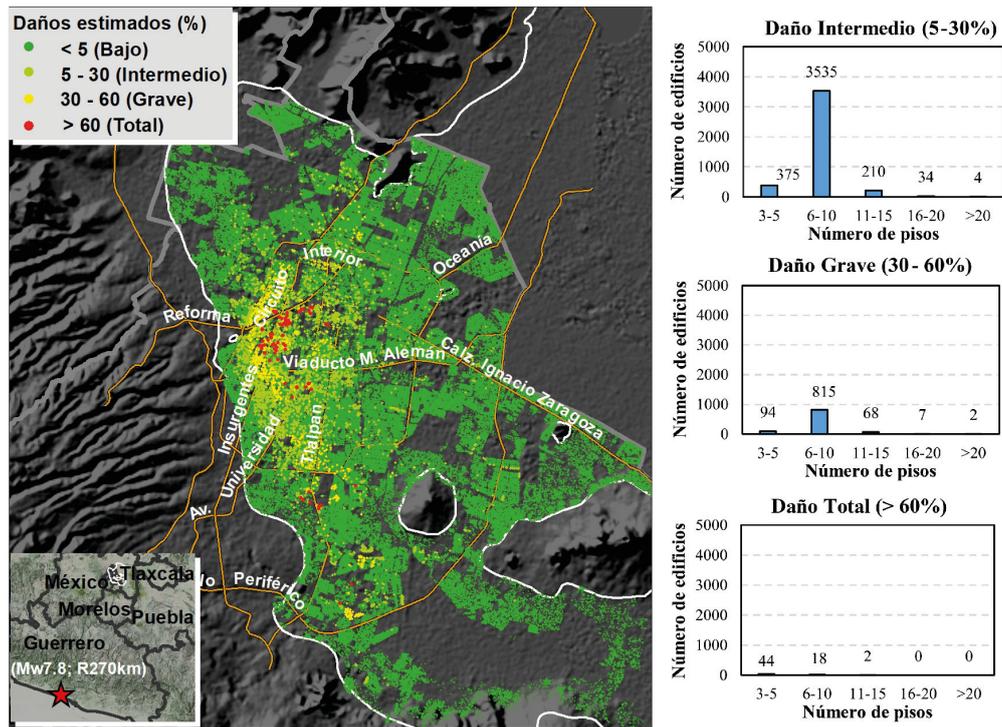


Figura 3. Daños estimados para el escenario: Mw = 7.8, R = 270 km y H = 60 km

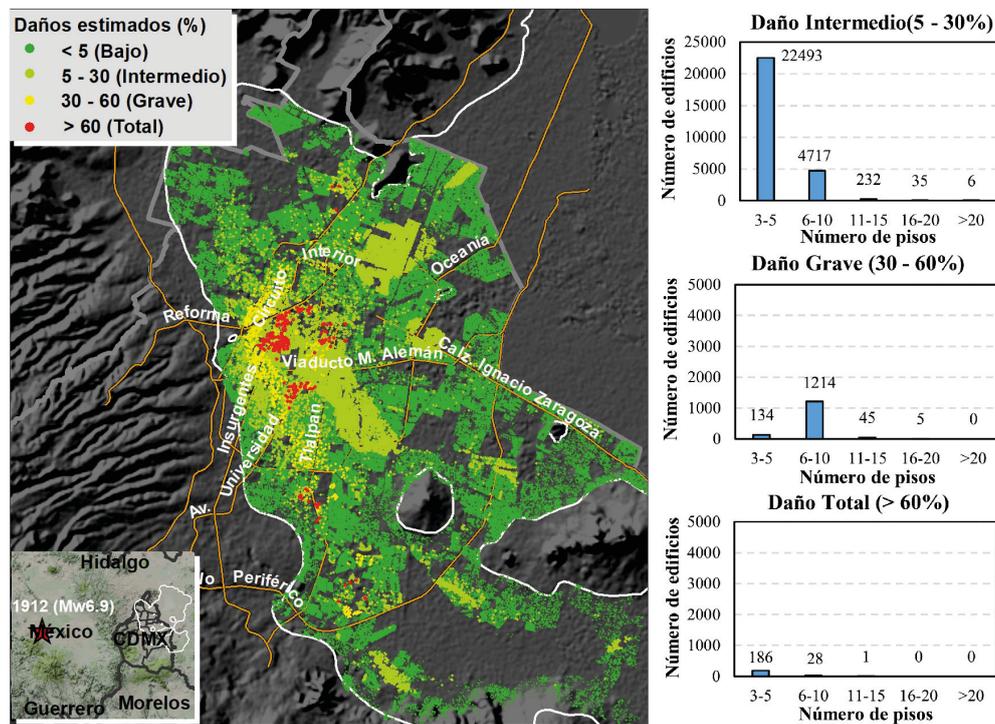


Figura 4. Daños estimados para el escenario 19/11/1912: Mw = 6.9, R = 70 km y H = 15 km