

## Proposal for an Infrastructure Inventory for the Estimation of Seismic Risk in an Urban Area

A. Cisneros-Mayoral\*, M. Castro-Bello\*, M. González-Durán\*\*, T.I. Hernández-Sánchez\*\*, A. Jiménez-Alejo\*, C.V. Marmolejo-Vega\*, E.F. Valencia-Díaz\*

\*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chilpancingo  
Av. José Francisco Ruíz Massieu No. 5, Colonia Villa Moderna, C.P. 39090 Chilpancingo, Guerrero.  
\*\*Universidad Autónoma de Baja California/Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Blvd. Universitario #1000. Unidad Valle de las Palmas Tijuana, B. C., C.P. 21500

**Abstract:** About 90% of the earthquakes in the world occur in the circumpacific region known as the Ring of Fire, exposing the countries of this region to a high risk of danger. This research proposes an infrastructure inventory to estimate and evaluate seismic risk in the urban area of Chilpancingo, Guerrero, Mexico, through the methodology FEMA-154, which consists of a form to describe the building: location, number of floors, year and building area, type of building, use, among others, to project their expected distribution and identify high-risk areas. This is intended to contribute to the development of a database of access for the different institutions to make decisions for disaster prevention.

**Keywords:** Inventory of buildings, Infrastructure, Seismic risk, Seismic hazard, Vulnerability.

### 1. INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de terremotos ha destacado el valor de la prevención, los efectos de los sismos han sido sustancialmente reducidos en países en donde se ha implementado una cultura sismo resistente. Además, la mayoría de las edificaciones fueron construidas con normas y criterios de diseño sísmico menos exigentes a los actuales, lo que ha demostrado que tienen un alto grado de vulnerabilidad (Andrés-López, 2014).

Alrededor del 90% de los terremotos en el mundo ocurren en la región circumpacífica conocida como el Anillo de Fuego del Pacífico, exponiendo a los países de esta región a un alto riesgo de peligro, Figura. 1, (Roque *et al.*, 2023).



Figura 1. Afectaciones del sismo, ciudad de México, 2017 (ABC Color).

Entre 2000 y 2019, estos fenómenos geofísicos representan el 9% de los desastres naturales (incluyendo tsunamis y actividad volcánica) en el mundo. A pesar de su frecuencia relativamente baja, los terremotos y tsunamis representan el 58% del total de las muertes por desastres naturales en las últimas dos décadas, (Freddi *et al.*, 2021). La aleatoriedad de la ocurrencia de terremotos ha dificultado, si no imposibilitado la elaboración de evaluaciones precisas de peligros sísmicos o pronósticos de terremotos (Geller, 1997).

La proximidad a regiones de alta actividad sísmica aumenta el grado de exposición de un sitio y da origen al peligro sísmico, que se combina con factores como el tipo de suelo, pobreza, el cambio climático, el crecimiento de la población y la urbanización incontrolada aumentan considerablemente la vulnerabilidad (Freddi *et al.*, 2021). La vulnerabilidad es el grado de daño que sufre una estructura, ocasionado bajo cierto nivel de peligro sísmico, clasificando a los edificios en “más vulnerables” o “menos vulnerables” (Yépez *et al.*, 1995).

La conjugación del peligro sísmico con la vulnerabilidad de una región o comunidad en particular da como resultado el Riesgo sísmico en un estrato urbano o una región, y se define como el producto de la probabilidad de alcanzar una aceleración del suelo multiplicado por la vulnerabilidad de una o varias estructuras durante un sismo (Sánchez-Tizapa *et al.*, 2022; Yépez *et al.*, 1995).

Para reducir el impacto físico de los terremotos, pérdidas humanas y económicas, se han implementado y desarrollado

estudios de evaluación del riesgo sísmico, propuesta de modelos de exposición que consideren la distribución geográfica y las principales características estructurales de edificaciones expuestas al peligro (Yepes-Estrada *et al.*, 2017).

Por ejemplo, los inventarios de infraestructura son una recopilación detallada de información sobre todas las estructuras, instalaciones y componentes físicos existentes en una determinada área geográfica, con el propósito de evaluar su vulnerabilidad frente a eventos sísmicos (ChatGPT, 2022).

El escaso trabajo referente a la elaboración de inventarios de infraestructura para la estimación del riesgo sísmico en Guerrero tiene consecuencias graves en cultura de prevención, desarrollo de planes de seguimiento y toma de decisiones que disminuyan la vulnerabilidad. También impide la comprensión del estado actual del riesgo al que están expuestas las edificaciones y reduce la capacidad de planificación y respuesta en situaciones de desastres.

Dada la ubicación geográfica de Chilpancingo en una zona altamente sísmica, donde existe una convergencia de alto riesgo, vulnerabilidad y exposición, que puede ocasionar altos impactos catastróficos en víctimas, infraestructuras y generación de grandes cantidades de residuos que impactan al medio ambiente. Es importante generar bases de datos que determinen la vulnerabilidad de las edificaciones frente a eventos sísmicos, para reducir el efecto físico, ambiental, pérdidas humanas y económicas. Esta investigación propone un inventario de la infraestructura en la zona urbana de Chilpancingo, Guerrero, México para estimar y evaluar el riesgo sísmico, a través de una metodología FEMA-154 (Benjamín y Lockhart, 2011).

## 2. ESTADO DEL ARTE

Estudios realizados en Italia se basaron en una combinación de datos sociodemográficos y encuestas georreferenciadas, características de edificios como parámetros para proyectar la distribución esperada para cada parámetro individual y sus combinaciones, estimando la frecuencia de ocurrencia de clases de vulnerabilidad sísmica a nivel nacional y regional (Cacace *et al.*, 2018). Otra iniciativa de evaluación del riesgo sísmico consistió en el desarrollo de un modelo para América del Sur que incluyó cuatro pasos principales: 1) Definición de clases de edificaciones, 2) Mapeo de datos del censo a clases de edificaciones, 3) Mapeo de viviendas a edificaciones, y 4) Estimación del costo de reposición (Yepes-Estrada *et al.*, 2017). En Malasia evaluaron la vulnerabilidad sísmica a través de la metodología del Cribado Visual Rápido (CVR) de edificios, empleando el formulario de recopilación de datos de FEMA 154. Este enfoque identificó y clasificó edificios potencialmente peligrosos, especialmente aquellos construidos antes de la implementación de diseños sísmicos adecuados (Universiti Teknologi Malaysia, 2019).

Otro estudio comparativo sobre métodos de evaluación sísmica rápida de edificios de hormigón armado aplicó la metodología

FEMA-154, las edificaciones se clasifican principalmente según sus sistemas estructurales. Cada sistema incluye una puntuación inicial que se evalúa en tres categorías diferentes: baja, media y alta, según la magnitud del terremoto que pueda ocurrir en la ubicación. En este método, la puntuación básica de la edificación evaluada se modifica mediante parámetros de vulnerabilidad donde mayor sea la puntuación final de la edificación, es más segura (Doğan *et al.*, 2021). En México se han desarrollado escasas investigaciones referentes a la evaluación de riesgo sísmico. Por ejemplo, evaluaron la vulnerabilidad sísmica mediante un análisis de las características de las edificaciones como: el año de construcción, tipo de suelo en el que se encuentra cimentada, espectacular en azotea y daños asociados a sismos antiguos y recientes (Barrios-Vázquez *et al.*, 2021).

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1 Ubicación geográfica

El estado de Guerrero es uno de los más activos sísmicamente en el país, esto se debe a la entrada de la placa de Cocos (placa oceánica) por debajo de la placa de Norteamérica (placa continental) en un fenómeno que se conoce como subducción. La ciudad de Chilpancingo es la capital del estado, situada en la región centro (O 99°30'20.81", N 17°33'2.16").

### 3.2 Metodología

Con relación a la población, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el municipio de Chilpancingo cuenta con una población total de 283,354 habitantes, de los cuales 225,728 pertenecen a la zona urbana de Chilpancingo, la zona urbana está compuesta por una infraestructura de 72,343 viviendas con un promedio de 4 personas (INEGI, 2020).

La metodología utilizada en esta investigación será con el método cualitativo FEMA-154, que consiste en un formulario que considera una descripción de la edificación que incluye: localización, número de pisos, año de construcción, área de construcción, nombre del edificio, uso, foto, un espacio para esquematizar irregularidades tanto en planta como en elevación (Benjamín y Lockhart, 2011). La cual se desarrollará en:

- Presentar a autoridades locales la investigación.
- Capacitar y seleccionar al personal de apoyo (Tesisistas de Ingeniería Civil) para la recolección de datos mediante formularios FEMA-154.
- Elaborar el inventario de infraestructura sísmica de la zona urbana de la ciudad de Chilpancingo, Guerrero.
- Evaluar y analizar los datos del inventario para caracterizar las edificaciones del área de estudio.
- Determinar el índice de vulnerabilidad.

e. Determinar el grado de riesgo sísmico.

4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

La contribución de esta investigación consiste en proponer un inventario de infraestructura con el método FEMA-154 que permita la estimación del riesgo sísmico en la zona urbana de Chilpancingo, Guerrero, a través del análisis de las características de las edificaciones y su relación entre ellas Figura 2.


Identificador de edificio	Edificio comercial de estructura de mampostería confinada de igual o menor a 1000 metros cuadrados
Fotografía	
Puntuación básica de riesgo estructural	H = 2.8, M = 5.2, L = 7.4
Características	<ul style="list-style-type: none"><li>• Muros hechos de mampostería confinada y acabados en pasta.</li><li>• Acabados exteriores en estuco.</li><li>• Los edificios de este tipo se desempeñaron muy bien en terremotos pasados debido a las cualidades inherentes del sistema estructural.</li><li>• Terremotos pasados causaron algunos daños en acabados, pero son considerados daños no estructurales.</li><li>• El tipo más común de daño estructural en edificios antiguos se debe a la falta de conexión entre la superestructura y la cimentación</li></ul>

Figura 2. Ejemplo de formulario con metodología FEMA-154.

5. RESULTADOS

La elaboración de un inventario de infraestructura para la estimación del riesgo sísmico en la zona urbana de Chilpancingo, Guerrero, y mapas de zonificación por el método FEMA-154 con base a las variantes de descripción de la edificación que incluye: localización, número de pisos, año de construcción, área de construcción, nombre del edificio, uso, foto, un espacio para esquematizar irregularidades, permitirán la estimación del riesgo sísmico y reducir el impacto de pérdidas humanas, económico y social de los terremotos.

Los resultados se compartirán mediante informes técnicos con los tomadores de decisiones como la Secretaría de Seguridad Pública y Protección Civil.

6. CONCLUSIONES

En conclusión, este trabajo se destaca por su contribución fundamental hacia una cultura de prevención y toma de decisiones basada en la gestión del riesgo sísmico. Por otra parte, la propuesta de solución, centrada en la creación de un inventario detallado, se presenta como una herramienta valiosa para planificar y desarrollar estrategias de mitigación del riesgo. Los resultados de este estudio no solo beneficiarán a Chilpancingo, sino que también establecerá un precedente para futuros estudios y contribuirá a la generación del conocimiento referente a la gestión del riesgo sísmico en zonas vulnerables.

BIBLIOGRAFÍA

Barrios-Vázquez O., Guinto-Herrera E.R., and Arroyo-Matus R. (2021) ‘Vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería confinada de baja altura ubicadas en el barrio de la Santa Cruz, de la ciudad de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero.’ Foro de Estudios sobre Guerrero, 8 (1).

Benjamín Hernández, J.D. & Lockhart Castro, S.A. (2011) ‘Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de hormigón armado existente’, Ciencia y Sociedad, 36(2), pp. 256–275. Disponible en: <https://doi.org/10.22206/cys.2011.v36i2.pp256-275>.

Cacace, F. et al. (2018) ‘Building Inventory at National scale by evaluation of seismic vulnerability classes distribution based on Census data analysis: BINC procedure’, International Journal of Disaster Risk Reduction, 28, pp. 384–393. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.03.016>.

Doğan, T.P. et al. (2021) ‘A comparative study on the rapid seismic evaluation methods of reinforced concrete buildings’, International Journal of Disaster Risk Reduction, 56, p. 102143. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102143>.

Geller, R.J. (1997) ‘Earthquake prediction: a critical review’, Geophysical Journal International, 131(3), pp. 425–450. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb06588.x>.

Freddi, F. et al. (2021) ‘Innovations in earthquake risk reduction for resilience: Recent advances and challenges’, International Journal of Disaster Risk Reduction, 60, p. 102267. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102267>.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020) Censo de Población y Vivienda 2020 disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/cpv/2020/resultadosrapidos/default.html> [Consulta: 09 noviembre 2023].

OpenAI. (2022). ChatGPT (Versión 3.5). OpenAI.

Potente terremoto en México deja muerte y destrucción - Internacionales - ABC Color disponible en: <https://www.abc.com.py/edicion-impres/internacionales/potente-terremoto-en-mexico-deja-muerte-y-destruccion-1630287.html> (Consulta: 10 noviembre 2023).

Roque, P.J.C. et al. (2023) ‘Earthquake Occurrences in the Pacific Ring of Fire Exhibit a Collective Stochastic

Memory for Magnitudes, Depths, and Relative Distances of Events'. arXiv. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.00279>.

Sánchez et al. (2022) Capítulo: Vulnerabilidad y riesgo sísmico en construcciones de Chilpancingo, Guerrero En: Estudios de riesgos y desastres Aspectos teóricos y prácticos. Ed. Por Navarro-García: Foro de estudios sobre Guerrero, 121-148.

School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, 81310, Johor, Malaysia et al. (2019) 'Vulnerability Assessment of Buildings in Ranau Township: Methodological Design', Jurnal Kejuruteraan, si2(1), pp. 1-7. Disponible en: [https://doi.org/10.17576/jkukm-2019-si2\(1\)-01](https://doi.org/10.17576/jkukm-2019-si2(1)-01).

Yepes-Estrada, C. et al. (2017) 'Modeling the Residential Building Inventory in South America for Seismic Risk Assessment', Earthquake Spectra, 33(1), pp. 299-322. Disponible en: <https://doi.org/10.1193/101915eqs155dp>.

Yepez, F., Barbat Barbat, H.A. and Canas Torres, J.A. (1995) Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería. Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE). Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/27297> (Consulta: 1 Noviembre 2023).