

**LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y
Humanidades, Asunción, Paraguay.**

ISSN en línea: 2789-3855, 2025, Volumen VI

Análisis de Daños Sísmicos en Ciudades de México (2014-2024)

Seismic Damage Analysis in Mexican Cities (2014-2024)

Jesús Emmanuel Cerón Carballo

jesus_ceronc@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2809-3387>

AAIyA, ICBI, UA EH

Hidalgo – México

Humberto Iván Navarro Gómez

humberto_navarro@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2338-4863>

AAIyA, ICBI, UA EH

Hidalgo – México

Cutberto Rodríguez Álvarez

profe_7479@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9225-8695>

AAIyA, ICBI, UA EH

Hidalgo – México

Eber Pérez Isidro

eber_perez@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8500-710X>

AAIyA, ICBI, UA EH

Hidalgo – México

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4340>

Artículo recibido: 18 de junio de 2025

Aceptado para publicación: 15 de agosto de 2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.


Redilat
Red de Investigadores
Latinoamericanos

NÚMERO

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4340>

Análisis de Daños Sísmicos en Ciudades de México (2014–2024)

Seismic Damage Analysis in Mexican Cities (2014–2024)

Jesús Emmanuel Cerón Carballo¹

jesus_ceronc@uaeh.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-2809-3387>
AAIyA, ICBI, UAEH
Hidalgo – México

Humberto Iván Navarro Gómez

humberto_navarro@uaeh.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-2338-4863>
AAIyA, ICBI, UAEH
Hidalgo – México

Cutberto Rodríguez Álvarez

profe_7479@uaeh.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-9225-8695>
AAIyA, ICBI, UAEH
Hidalgo – México

Eber Pérez Isidro

eber_perez@uaeh.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-8500-710X>
AAIyA, ICBI, UAEH
Hidalgo – México

Artículo recibido: 18 de junio de 2025. Aceptado para publicación: 15 de agosto de 2025.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

Este documento presenta un análisis exhaustivo de los daños ocasionados por sismos en México durante la última década, centrándose en 25 ciudades con alta incidencia sísmica. Se integra información de fuentes como INEGI, CENAPRED y SEDATU, así como datos verificados de construcciones afectadas. A través de métodos estadísticos como Newmark, Regresión Polinómica, Suavizado Exponencial, ARIMA y PCA, se proyectan tendencias de afectación en los próximos años. El estudio incluye mapas, tablas comparativas, análisis de aceleraciones sísmicas y regionalización de riesgo según la CFE. Se concluye que las zonas del centro y sur del país presentan la mayor vulnerabilidad estructural, recomendando estrategias preventivas, actualización normativa y refuerzo estructural urgente en infraestructura crítica.

Palabras clave: sismos, daños estructurales, vulnerabilidad urbana, proyección estadística, gestión del riesgo

Abstract

This document presents a comprehensive analysis of earthquake damage in Mexico over the past

¹ Autor de correspondencia.

decade, focusing on 25 cities with a high seismic incidence. It integrates information from sources such as INEGI, CENAPRED, and SEDATU, as well as verified data from affected buildings. Statistical methods such as Neumark, Polynomial Regression, Exponential Smoothing, ARIMA, and PCA project impact trends for the coming years. The study includes maps, comparative tables, seismic acceleration analysis, and risk regionalization according to the CFE (Federal Electric Power Commission). It concludes that the central and southern areas of the country present the greatest structural vulnerability, recommending preventive strategies, regulatory updates, and urgent structural reinforcement of critical infrastructure.

Keywords: earthquakes, structural damage, urban vulnerability, statistical projections, risk management

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons. 

Cómo citar: Cerón Carballo, J. E., Navarro Gómez, H. I., Rodríguez Álvarez, C., & Pérez Isidro, E. (2025). Análisis de Daños Sísmicos en Ciudades de México (2014–2024). *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 6 (4), 922 – 946.
<https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4340>

INTRODUCCIÓN

Los sismos, también conocidos como eventos telúricos, son movimientos vibratorios del suelo causados por la liberación repentina de energía acumulada en la corteza terrestre. En México, estos fenómenos están estrechamente vinculados con su ubicación geológica, ya que el país se encuentra sobre el límite de varias placas tectónicas, lo que lo convierte en una de las zonas sísmicas más activas del mundo. Una zona sísmica es aquella donde hay alta probabilidad de ocurrencia de temblores debido a la actividad tectónica subyacente. México posee tres regiones principales con alta actividad sísmica: la costa del Pacífico (Guerrero, Oaxaca y Chiapas), la región central (incluyendo Ciudad de México y Puebla) y algunas zonas del norte del país. En muchas ocasiones, los efectos destructivos de un sismo no dependen únicamente de su magnitud, sino también del tipo de terreno. Un terreno inestable —como los formados por antiguos lagos o suelos blandos— puede amplificar las ondas sísmicas, provocando mayores daños a las construcciones (CENAPRED_V, 2024).

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) es la institución mexicana encargada de monitorear la actividad sísmica y generar información técnica y científica que permita la prevención y mitigación de desastres. Junto con el Servicio Sismológico Nacional, proporciona datos sobre sismos en tiempo real. La intensidad sísmica se refiere al efecto del sismo en un lugar específico, tomando en cuenta daños materiales y percepción humana. Por otro lado, la magnitud sísmica es una medida cuantitativa de la energía liberada durante el sismo, expresada en la escala de Richter o, actualmente, en la escala de magnitud de momento. Este documento presenta un análisis comparativo de los daños registrados en distintos estados del país a causa de sismos recientes, con énfasis en aquellos con más de 100 construcciones afectadas (CENAPRED_SP, 2024).

Justificación

La justificación de este estudio radica en la urgente necesidad de comprender los patrones de daño sísmico en las ciudades mexicanas, dado el alto riesgo geológico del país y la recurrencia de eventos de gran magnitud. México se ubica sobre cinco placas tectónicas, lo que lo convierte en una de las regiones sísmicamente más activas del mundo. Los sismos de la última década han evidenciado graves deficiencias en la infraestructura urbana, educativa y hospitalaria, así como una falta de actualización en normativas de construcción (Gaviria, 2009).

Este documento busca proporcionar una base técnica y científica para la toma de decisiones orientadas a la prevención de desastres, la asignación de recursos, y la implementación de políticas públicas que reduzcan la vulnerabilidad estructural de las ciudades.

La recopilación sistemática de datos, el uso de modelos predictivos y la interpretación de tendencias permiten identificar zonas críticas y priorizar intervenciones de mitigación de riesgos a corto y mediano plazo.

Diversos estudios han documentado la alta exposición sísmica de México y las consecuencias que esto representa para su población. El CENAPRED (2022) ha señalado que más del 60% del territorio nacional se encuentra en zonas de riesgo sísmico significativo. El Servicio Sismológico Nacional (2021) ha reportado un promedio de 90 eventos sísmicos diarios, con epicentros frecuentes en estados como Oaxaca, Guerrero y Chiapas.

Investigaciones como la de Ordaz et al. (2018) analizaron la respuesta estructural de edificaciones durante el sismo del 19 de septiembre de 2017, identificando fallas en construcciones no reforzadas y en zonas de suelo blando en Ciudad de México. Por su parte, estudios de SEDATU (2020) han estimado que más de 180,000 viviendas resultaron afectadas por sismos entre 2017 y 2019, lo que evidencia la vulnerabilidad persistente en asentamientos urbanos. Otros trabajos como el de Reyes-Sánchez (2019)

han resaltado la importancia de aplicar modelos de análisis probabilístico para evaluar escenarios de riesgo, y la necesidad de integrar bases de datos de daños estructurales en los planes de desarrollo urbano. Finalmente, Pérez-Gálvez (2021) documentó deficiencias en la aplicación del reglamento de construcción en municipios intermedios, lo que incrementa la exposición al colapso estructural ante sismos de mediana intensidad.

Problema de Investigación:

A pesar de los avances en normativas de construcción y monitoreo sísmico en México, miles de viviendas, escuelas, hospitales e infraestructuras públicas siguen siendo vulnerables ante eventos telúricos. Durante la última década, diversas ciudades han experimentado daños significativos incluso en sismos de intensidad moderada, lo que evidencia deficiencias en la planeación urbana, el reforzamiento estructural y la implementación de políticas de prevención. Surge entonces la necesidad de analizar si las medidas actuales son suficientes para mitigar los efectos de futuros sismos en las zonas más expuestas del país (Avendaño, 2017).

Pregunta de investigación

- ¿Qué relación existe entre la regionalización sísmica y el nivel de daños registrados en las ciudades mexicanas más afectadas por sismos?
- ¿Qué modelo estadístico ofrece una mejor proyección del comportamiento futuro de los daños estructurales causados por sismos?
- ¿Cuáles son las principales deficiencias normativas y estructurales que incrementan la vulnerabilidad urbana frente a eventos sísmicos en México?

Objetivos

El objetivo principal de este estudio es analizar de manera integral los efectos de los sismos registrados en México durante la última década, identificando las ciudades más afectadas, los tipos de infraestructura dañada y las tendencias de riesgo sísmico. A través del uso de modelos estadísticos y geográficos, el estudio busca establecer patrones de vulnerabilidad estructural, evaluar la efectividad de las normativas actuales y proponer recomendaciones técnicas para la prevención y mitigación de desastres en zonas urbanas expuestas (Cerón, 2020).

El Objetivo General es analizar los patrones de daño estructural causados por sismos en 25 ciudades mexicanas entre 2014 y 2024, evaluando su relación con la regionalización sísmica, las condiciones del terreno y las políticas de mitigación de riesgos, a través de métodos estadísticos y proyecciones para establecer recomendaciones de planificación urbana y reforzamiento estructural (Ceron, 2024).

Objetivos Específicos

Identificar las zonas sísmicas de mayor riesgo en México según la CFE y relacionarlas con el número de construcciones dañadas en los últimos diez años.

Aplicar y comparar distintos modelos de proyección (Newmark, Regresión Polinómica, Suavizado Exponencial, ARIMA y PCA) para predecir la tendencia de afectaciones sísmicas.

Proponer estrategias técnicas y normativas basadas en evidencia científica para la reducción de daños estructurales en futuras contingencias sísmicas.

Hipótesis

Si las ciudades mexicanas ubicadas en zonas de alta sismicidad no actualizan sus normativas de construcción y no implementan estrategias de reforzamiento estructural, entonces los niveles de daño

ante futuros sismos serán significativamente mayores, aun cuando los eventos no superen la magnitud de los registrados en la última década(Avendaño, 2017).

METODOLOGÍA

Este estudio adopta un enfoque de investigación mixto, integrando componentes cualitativos y cuantitativos.

El enfoque cuantitativo se basa en el análisis estadístico de datos provenientes de fuentes oficiales como INEGI, CENAPRED, SSN y SEDATU. Se aplicaron modelos de predicción como Newmark, Regresión Polinómica, Suavizado Exponencial, ARIMA y Análisis de Componentes Principales (PCA) para generar proyecciones sobre daños estructurales derivados de sismos en las ciudades estudiadas. Además, se construyeron tablas comparativas y gráficas de tendencias que permiten visualizar el comportamiento de las afectaciones sísmicas a lo largo del tiempo y su relación con la regionalización sísmica según la CFE(Ortegón, 2015).

El enfoque cualitativo, por su parte, se centró en la interpretación contextual de los fenómenos sísmicos, el análisis normativo de la gestión del riesgo, y la revisión documental de estudios previos. Esto permitió comprender los factores sociales, técnicos y políticos que inciden en la vulnerabilidad estructural y en la formulación de estrategias de prevención y mitigación(Ordaz, 2018).

Diseño del Estudio

El presente estudio adopta un diseño no experimental, transversal y descriptivo con elementos analíticos(Palau, 2017).

No experimental: No se manipulan las variables de estudio; se observan y analizan tal como ocurren en el contexto real. El fenómeno de los daños estructurales por sismos se estudia con base en datos recopilados de eventos ya ocurridos durante la última década(Polanco, 2013).

Transversal: La información se recopila en un único momento del tiempo, aunque se analiza retrospectivamente desde el año 2014 al 2024, permitiendo evaluar tendencias históricas sin intervenir en su curso temporal(Terán, 2006).

Descriptivo y analítico: Describe los niveles de afectación sísmica por estado y ciudad, así como los factores asociados a dicha vulnerabilidad. Además, integra un análisis estadístico y matemático mediante modelos de proyección para identificar posibles escenarios futuros y orientar la toma de decisiones en políticas públicas y planeación urbana(Trujillo, 2010).

Participantes

Dado que este estudio se basa en análisis documental y estadístico, los 'participantes' del estudio no son individuos sino unidades territoriales, específicamente ciudades mexicanas.

Para la selección de las ciudades, se consideraron las siguientes características:

- Presencia documentada de afectaciones por sismos en la última década (2014–2024).
- Inclusión en reportes oficiales del INEGI, CENAPRED, SEDATU y SSN.
- Representatividad de las distintas zonas sísmicas establecidas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).
- Variedad geográfica para incluir tanto grandes áreas metropolitanas como ciudades intermedias.

En total se analizaron 25 ciudades distribuidas en diferentes entidades federativas de México. Estas ciudades representan distintos grados de vulnerabilidad estructural, exposición sísmica y desarrollo urbano. La información recopilada incluye el número de edificaciones dañadas, la categoría sísmica asignada por la CFE, el tipo de infraestructura afectada y el nivel de aceleración sísmica estimada. Por tanto, los participantes son tratados como unidades de análisis que permiten evaluar de manera objetiva la magnitud del riesgo y la efectividad de las estrategias de prevención y mitigación en el contexto mexicano (McFarland, 2021).

Recolección de Datos

El proceso de recolección de datos en este estudio se realizó mediante la recopilación sistemática de información documental y estadística proveniente de fuentes oficiales, académicas y técnicas. Los principales instrumentos y fuentes fueron los siguientes (Nissinboim, 2018):

Documentos de CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres): Se utilizaron reportes anuales y bases de datos sobre eventos sísmicos y daños registrados por entidad federativa.

Catálogo del Servicio Sismológico Nacional (SSN): Se consultó para obtener datos de magnitud, profundidad y localización de eventos sísmicos relevantes entre 2014 y 2024.

Estadísticas del INEGI: Se accedió a censos y encuestas sobre daños estructurales en viviendas, escuelas y hospitales afectados por sismos, especialmente tras los eventos de 2017 y 2022.

Reportes de reconstrucción de la SEDATU: Se emplearon para identificar zonas con intervenciones post-sísmicas y evaluar los niveles de afectación estructural y social.

Manual de zonificación sísmica de la CFE: Se utilizó para asignar a cada ciudad su respectiva zona sísmica (A, B, C o D) y su nivel de aceleración esperada.

Fuentes académicas y artículos científicos: Se recurrió a literatura especializada en vulnerabilidad estructural, normativas de construcción, y análisis de riesgo urbano.

El proceso se complementa con la elaboración de bases de datos estructuradas en hojas de cálculo para organizar, filtrar y analizar los datos. La integración de estos instrumentos permitió generar proyecciones confiables, realizar comparaciones entre zonas y validar los modelos aplicados en la investigación.

Análisis de Datos

El análisis de los datos cualitativos se desarrolló a partir de una estrategia de codificación temática y análisis de contenido, enfocada en identificar patrones narrativos y categóricos sobre los daños estructurales ocasionados por sismos, su contexto normativo, y la respuesta institucional documentada en documentos oficiales y literatura académica. Se examinaron documentos clave emitidos por instituciones como CENAPRED, INEGI, SEDATU, y el Servicio Sismológico Nacional, así como publicaciones académicas indexadas. A través del análisis de contenido, se clasificaron las descripciones de daños por tipo de infraestructura, causas estructurales, ubicación geográfica y nivel de afectación.

Posteriormente, estos contenidos fueron agrupados por zonas sísmicas y alineados con las categorías de riesgo establecidas por la CFE. La triangulación de fuentes permitió validar la consistencia de los hallazgos cualitativos y contextualizar las tendencias identificadas mediante el análisis cuantitativo. Este enfoque permitió integrar narrativas locales con datos duros, fortaleciendo la comprensión multidimensional de la vulnerabilidad estructural urbana frente a eventos sísmicos (Palau, 2017).

Consideraciones Éticas

El presente estudio se llevó a cabo bajo principios éticos que aseguran la integridad de la investigación, la transparencia en el uso de datos y el respeto por la información pública.

Uso de fuentes oficiales y abiertas: Toda la información utilizada proviene de fuentes institucionales de acceso público, como CENAPRED, INEGI, SEDATU y el Servicio Sismológico Nacional, lo cual garantiza la legalidad y legitimidad del uso de datos sin afectar derechos individuales ni información confidencial.

Protección de identidades: El estudio no involucra personas físicas como sujetos de análisis, por lo que no se recabaron datos personales, ni se identificaron individuos, cumpliendo así con los principios de privacidad y confidencialidad.

Criterio académico: Se respetó el principio de veracidad en la interpretación de datos y se procuró citar todas las fuentes utilizadas para evitar el plagio y asegurar el reconocimiento del trabajo previo de otros investigadores.

Responsabilidad social: La investigación tiene un enfoque de utilidad pública, orientado a fortalecer las estrategias de prevención y mitigación del riesgo sísmico, promoviendo el bienestar social y urbano sin sesgos políticos o económicos.

Métodos Analíticos Utilizados

Modelo ARIMA: Modelo autorregresivo integrado de media móvil, empleado para análisis y predicción de datos temporales con componentes estacionales y no estacionales.

Suavizado Exponencial: Técnica de análisis de series temporales que asigna mayor peso a las observaciones recientes para detectar tendencias actuales.

Regresión Polinómica: Modelo estadístico que permite ajustar una curva polinómica a los datos, útil para describir relaciones no lineales entre variables.

Método de Newmark: Técnica de tendencia progresiva lineal que busca representar el crecimiento o comportamiento acumulativo de una variable a lo largo del tiempo.

Aplicación de Ecuaciones

Descripción Detallada de los Métodos Utilizados

Método de Newmark

Este método representa una tendencia lineal progresiva. Se basa en la fórmula de regresión lineal simple y se utiliza la Ecuación 1.:

$y = a + bx$	(1)
--------------	-------

donde:

- y: valor estimado (daños)
- x: variable independiente (estado en orden numérico o tiempo)
- a: ordenada al origen

- b: pendiente del ajuste lineal

Se utiliza para estimar crecimientos constantes en el fenómeno observado.

Regresión Polinómica

La Ecuación 2, muestra la extensión de la regresión lineal que permite el ajuste no lineal de los datos:

$y = a + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_nx^n$	(2)
--	-------

donde el grado del polinomio 'n' determina la curvatura del modelo. Se aplica mediante transformación polinómica de las variables y ajuste con mínimos cuadrados. Es útil cuando la relación entre variables no es lineal.

Suavizado Exponencial

Este método asigna pesos decrecientes a observaciones pasadas según la Ecuación 3:

$\hat{y}_t = \alpha y_{t-1} + (1 - \alpha)\hat{y}_{t-1}$	(3)
--	-------

donde:

- $\hat{y}_t$: valor suavizado en t
- y_{t-1} : valor real anterior
- α : coeficiente de suavizado ($0 < \alpha < 1$)

Es sensible a cambios recientes y útil para predicción de corto plazo.

Modelo ARIMA (1,0,0)

En este modelo autorregresivo se aplica la Ecuación 4:

$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \varepsilon_t$	(3)
--	-------

donde:

- ϕ_1 : coeficiente autorregresivo
- y_{t-1} : valor anterior
- ε_t : error aleatorio

ARIMA permite modelar dependencias temporales y generar predicciones más precisas en series con estructura autorregresiva. Para la construcción de la gráfica de líneas que relaciona el número de construcciones dañadas con la aceleración sísmica esperada por estado, se utilizó un enfoque de análisis comparativo con base en los datos recolectados de 10 entidades federativas de México.

Se elaboró un conjunto de datos que incluye: El número de construcciones dañadas por sismos recientes, La zona sísmica asignada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). La aceleración

sísmica esperada por zona (expresada en cm/s^2). Posteriormente, se construyó una gráfica de líneas de doble eje: El eje primario (izquierdo) muestra la cantidad de daños por estado. El eje secundario (derecho) representa la aceleración esperada. Se utilizó un sistema de codificación por color para indicar la zona sísmica (verde para zona A, naranja para zona B, rojo para zona C) (Živanović, 2007).

Métodos Analíticos Aplicados

Para evaluar la progresión y relación de los daños por sismo con la aceleración sísmica esperada, se aplicaron los siguientes métodos (CSN, 2016) (Baños, 2013) (González, 2014) (Chapra, 2015):

Método de Newmark

Ventajas: Suaviza las variaciones aleatorias y permite identificar tendencias crecientes a lo largo del tiempo.

Desventajas: Asume un crecimiento constante, lo cual puede no ser realista en fenómenos sísmicos de comportamiento irregular.

Regresión Lineal

Ventajas: Permite establecer relaciones entre variables y predecir el comportamiento con base en regresores.

Desventajas: Solo funciona bien si las variables tienen una relación lineal clara.

Regresión Polinómica

Ventajas: Se ajusta a relaciones no lineales, proporcionando mayor flexibilidad en los modelos predictivos.

Desventajas: Puede sobre ajustar los datos si se utilizan polinomios de alto orden.

Suavizado Exponencial

Ventajas: Ideal para predicciones a corto plazo, considerando más peso en observaciones recientes.

Desventajas: No identifica ciclos ni tendencias prolongadas con precisión.

ARIMA (Series Temporales)

Ventajas: Potente para análisis temporales y predicción a largo plazo.

Desventajas: Requiere una gran cantidad de datos históricos y parametrización avanzada.

Análisis de Componentes Principales (PCA)

Ventajas: Reduce la dimensionalidad del conjunto de datos y detecta patrones latentes.

Desventajas: No es directamente interpretable para predicción; más útil para exploración y visualización.

La metodología empleada en este estudio combina el análisis documental, la recopilación de datos oficiales, y la aplicación de métodos estadísticos y matemáticos predictivos. A continuación, se describen los pasos realizados:

Revisión documental: Se consultaron fuentes oficiales como INEGI, CENAPRED, SEDATU y reportes académicos para identificar ciudades con daños sísmicos significativos entre 2014 y 2024.

Selección de ciudades: Se eligieron 25 ciudades representativas con reportes verificables de daños estructurales (escuelas, hospitales, viviendas, edificios históricos).

Clasificación de zonas sísmicas: Se asignó a cada ciudad su categoría sísmica según la zonificación establecida por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Construcción de tablas comparativas: Se elaboraron tablas binarias que relacionan los niveles de daño con la aceleración sísmica esperada en cada zona.

Aplicación de métodos de proyección

Método de Newmark: Modelo de crecimiento lineal para proyectar el incremento progresivo de daños.

Regresión Polinómica: Estimación no lineal de tendencia con base en datos históricos.

Suavizado Exponencial: Técnica que pondera valores pasados con mayor énfasis en los más recientes.

ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average): Modelo estadístico para series temporales.

Análisis de Componentes Principales (PCA): Reducción dimensional para identificar variables dominantes en los daños estructurales.

Generación de gráficos: Se visualizaron los resultados obtenidos mediante gráficos de líneas para cada método.

Comparación de métodos: Se evaluaron las ventajas, desventajas y proyecciones ofrecidas por cada enfoque para establecer la precisión y aplicabilidad en escenarios reales.

Discusión y validación: Los resultados fueron contrastados con eventos sísmicos históricos y estudios previos, para evaluar su validez y utilidad en la gestión del riesgo urbano.

DESARROLLO

El presente estudio se fundamenta en un marco referencial que integra conocimientos teóricos y prácticos sobre el comportamiento sísmico en México. México se localiza en una región de alta sismicidad, debido a la interacción de las placas tectónicas de Cocos, Norteamérica, Rivera, del Pacífico y del Caribe. Los fenómenos sísmicos en el país han sido ampliamente documentados por instituciones como el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)(CENAPRED_GB, 2017), el Servicio Sismológico Nacional (SSN)(SGM, 2020), y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)(INEGI, 2023), los cuales proporcionan estadísticas, mapas de riesgo y registros históricos de eventos significativos(Oliva, 2005).

En el ámbito normativo, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y los reglamentos de construcción estatales y municipales establecen criterios técnicos para el diseño estructural(Stuardi, 2007), considerando la zonificación sísmica nacional(UNAM, 2009). Asimismo, estudios académicos sobre vulnerabilidad urbana, resiliencia estructural y gestión del riesgo contribuyen al sustento teórico del presente análisis. Este marco de referencia permite contextualizar las tendencias de daño observadas, evaluar las políticas de mitigación existentes y sustentar la aplicación de modelos predictivos en la proyección de futuros escenarios sísmicos(Palomino, 2017).

El presente estudio se fundamenta en conceptos clave del análisis del riesgo sísmico, la planificación urbana resiliente y la gestión integral de desastres(Ahumada, 2010).

Teoría del riesgo sísmico: Se basa en la relación entre amenaza, vulnerabilidad y exposición. La amenaza representa la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico; la vulnerabilidad refiere a las características físicas, sociales o estructurales que aumentan el daño potencial; y la exposición implica la presencia de población e infraestructura en zonas de riesgo (Cardona, 2001; UNDRR, 2015)(Giuliani, 1987).

Zonificación sísmica y microzonificación: Estas herramientas permiten identificar y clasificar las zonas con mayor propensión a experimentar movimientos sísmicos intensos. La CFE y el CENAPRED han desarrollado mapas de zonificación que asignan valores esperados de aceleración sísmica en diferentes regiones del país, lo cual es esencial para el diseño estructural(Freire, 2001).

Resiliencia urbana: Según la ONU-Hábitat (2018), la resiliencia urbana se refiere a la capacidad de una ciudad para resistir, adaptarse y recuperarse rápidamente ante perturbaciones como los sismos. Esta capacidad depende de la planificación del uso del suelo, la calidad de la infraestructura, la normativa de construcción y la preparación comunitaria(E. L. Pérez, 2020).

Modelos de predicción y análisis estadístico: El uso de métodos como regresión polinómica, análisis de componentes principales, ARIMA, y proyecciones lineales permite anticipar escenarios futuros basados en tendencias históricas. Estos modelos aportan al diseño de políticas de mitigación y permiten asignar prioridades en la gestión del riesgo (Box & Jenkins, 1976; Shlens, 2014).

Gestión integral del riesgo: Se fundamenta en el enfoque proactivo para prevenir y reducir las pérdidas humanas y materiales a través de políticas públicas, educación, monitoreo y planificación urbana sostenible (Lavell, 2003; BID, 2020). La inclusión de este enfoque en el análisis permite integrar componentes normativos, técnicos y sociales(Vega, 2020).

El marco conceptual

El marco conceptual de este estudio establece las definiciones clave que guían el análisis de los daños por sismos en las ciudades mexicanas(CENAPRED_SP, 2024):

Sismo: Movimiento vibratorio del terreno causado por la liberación repentina de energía acumulada en el subsuelo debido al desplazamiento de placas tectónicas.

Evento Telúrico: Sinónimo de sismo; se refiere a cualquier sacudida significativa de la superficie terrestre con origen tectónico.

Zona Sísmica: Área geográfica clasificada según la frecuencia e intensidad esperada de sismos, categorizada por la CFE en zonas A, B, C y D.

Aceleración Esperada: Valor medido en cm/s^2 que representa la intensidad del movimiento sísmico en una zona; correlaciona con el daño potencial en estructuras.

Intensidad Sísmica: Medida cualitativa de los efectos de un sismo en personas, objetos y estructuras, generalmente evaluada con la escala de Mercalli Modificada.

Magnitud Sísmica: Medida cuantitativa de la energía liberada por un sismo, comúnmente expresada en la escala de Richter o momento magnitud (Mw).

Terreno Inestable: Superficie geológica que amplifica los efectos sísmicos debido a su composición suelta o saturación de agua.

Placa Tectónica: Fragmento de la litosfera terrestre en constante movimiento; su interacción genera actividad sísmica.

CENAPRED: Centro Nacional de Prevención de Desastres, institución responsable del monitoreo y análisis de riesgos geológicos en México.

Vulnerabilidad Estructural: Grado de susceptibilidad de una edificación a sufrir daños ante eventos sísmicos, dependiendo de su diseño, materiales y mantenimiento.

Zona de estudio

Se presenta la Tabla 1, los 10 estados de México que reportaron más de 100 construcciones dañadas por sismos en los últimos eventos sísmicos relevantes. Se incluyen los años más significativos, el número estimado de construcciones afectadas y observaciones generales de cada entidad(CENAPRED_V, 2024)(Cerón, 2024)(INEGI, 2023):

Tabla 1

Estados de México con daños causados por sismo

Estado	Año(s) relevantes	Construcciones dañadas (estimado)	Observaciones
Ciudad de México	1985, 2017	28000	Zona lacustre crítica, colapsos masivos (1985, 2017)
Oaxaca	2017, 2021	17000	Numerosos derrumbes rurales y escolares
Puebla	2017	6200	Alto número de escuelas y templos dañados
Morelos	2017	4600	Severos daños estructurales urbanos
Guerrero	2021	8700	Gran número de municipios afectados (40+)
Estado de México	1985, 2017	5100	Edificaciones afectadas por propagación de ondas
Chiapas	2017	7200	Viviendas tradicionales sin refuerzo afectadas
Veracruz	2021	2300	Daños a viviendas y centros de salud
Tlaxcala	2017	1500	Escuelas y oficinas públicas afectadas
Hidalgo	2017	1200	Daños menores en viviendas y edificios antiguos

Zona sísmica

La Tabla 2, presenta los 10 estados con mayor número de construcciones dañadas por sismos, indicando la zona sísmica a la que pertenece cada entidad, de acuerdo con la clasificación oficial mexicana(Calima, 2014).

Tabla 2

Listado de estados de México y su zona sísmica

Estado	Zona Sísmica
--------	--------------

Ciudad de México	Zona III (Muy Alta)
Oaxaca	Zona III (Muy Alta)
Puebla	Zona II (Alta)
Morelos	Zona II (Alta)
Guerrero	Zona III (Muy Alta)
Estado de México	Zona II (Alta)
Chiapas	Zona III (Muy Alta)
Veracruz	Zona II (Alta)
Tlaxcala	Zona II (Alta)
Hidalgo	Zona I (Moderada)

Zona sísmica según CFE

La clasificación sísmica según la Comisión Federal de Electricidad (CFE) considera tres zonas: Zona A (Moderada), Zona B (Moderada-Alta) y Zona C (Alta). Esta clasificación se utiliza principalmente para el diseño estructural de obras civiles. La Tabla 3 muestra la asignación correspondiente para los 10 estados analizados (SGM, 2020).

Tabla 3

Listado de estados de México y su zona sísmica CFE

Estado	Zona Sísmica (CFE)
Ciudad de México	Zona B (Moderada-Alta)
Oaxaca	Zona C (Alta)
Puebla	Zona B (Moderada-Alta)
Morelos	Zona B (Moderada-Alta)
Guerrero	Zona C (Alta)
Estado de México	Zona B (Moderada-Alta)
Chiapas	Zona C (Alta)
Veracruz	Zona B (Moderada-Alta)
Tlaxcala	Zona B (Moderada-Alta)
Hidalgo	Zona B (Moderada)

Mapa de regionalización de zona sísmica según CFE:

El mapa representa la regionalización sísmica del país, utilizado para el diseño estructural de obras civiles. Esta clasificación, reconocida por CENAPRED y la Comisión Federal de Electricidad (CFE), agrupa el territorio nacional en zonas de diferente peligro sísmico: el mapa de regionalización sísmica de México, en el que se identifican las zonas de riesgo sísmico clasificadas como A (bajo), B (moderado), C (alto) y D (muy alto). Además, esta zonificación es utilizada por instituciones como el CENAPRED (CENAPRED_GB, 2017) y la CFE para establecer lineamientos de diseño estructural y políticas de prevención de desastres como se observa en la Figura 1.

Figura 1

Mapa de regionalización de zona sísmica según CFE y CENAPRED



El mapa ilustra la regionalización sísmica de México dividiendo el territorio en cuatro zonas de acuerdo con el nivel de riesgo sísmico:

Zona A (verde): Baja actividad sísmica. Abarca gran parte del norte del país, incluyendo zonas como Monterrey y Cancún.

Zona B (amarillo): Actividad sísmica moderada. Incluye regiones como Guadalajara, partes del Bajío y Veracruz.

Zona C (naranja): Alta actividad sísmica. Cubre zonas como Oaxaca y áreas colindantes.

Zona D (rojo): Muy alta actividad sísmica. Se concentra principalmente a lo largo de la costa del Pacífico, desde Chiapas hasta Baja California Sur, incluyendo Acapulco y Puerto Vallarta.

Las ciudades marcadas en el mapa muestran la ubicación de centros urbanos relevantes para el análisis del riesgo, y permiten entender la distribución espacial de la exposición al peligro sísmico.

Aceleración Sísmica Esperada por Zona

La Tabla 4, presenta los rangos de aceleración sísmica esperada en cada una de las zonas de la regionalización sísmica mexicana, expresada en centímetros por segundo cuadrado (cm/s^2). Estos valores se utilizan en el diseño estructural para estimar las fuerzas sísmicas que pueden afectar una construcción (J. Pérez, 2018).

Tabla 4

Aceleración Sísmica Esperada por Zona

Zona	Aceleración esperada [cm/s^2]
A	0 – 9.81
B	0 – 68.7
C	0 – 58.9
D	0 – > 68.7

La aceleración sísmica esperada, expresada en centímetros por segundo cuadrado (cm/s^2), representa la intensidad con la que un sismo puede sacudir el terreno en una determinada zona. Esta medida es

fundamental para el diseño estructural, ya que influye directamente en las cargas dinámicas que deben soportar las edificaciones. Cada zona sísmica según su rango de aceleración esperada y su relación con los daños observados en los estados más afectados de México (Santiago, 2014):

Zona A (0 – 9.81 cm/s²): Representa una región con muy baja aceleración sísmica, cercana a 1g (gravedad terrestre). Las construcciones en esta zona generalmente no requieren consideraciones sísmicas especiales. Sin embargo, algunos daños menores pueden presentarse en edificaciones mal construidas. Hidalgo pertenece parcialmente a esta zona y ha reportado daños limitados, principalmente en edificaciones antiguas o irregulares.

Zona B (0 – 68.7 cm/s²): Presenta una aceleración moderada-alta. En estas zonas, las ondas sísmicas pueden amplificarse dependiendo del tipo de suelo. Estados como Veracruz, Puebla, Morelos, Estado de México y Tlaxcala pertenecen a esta clasificación y han experimentado daños estructurales considerables, especialmente en edificaciones públicas y viviendas sin diseño antisísmico.

Zona C (0 – 58.9 cm/s²): Aunque el rango de aceleración es similar a la zona B, esta clasificación se basa también en la frecuencia y tipo de eventos sísmicos. Estados como Oaxaca, Guerrero y Chiapas, que se encuentran en esta zona, han reportado severos daños, ya que los eventos son más frecuentes y prolongados. Las construcciones en estas regiones requieren refuerzos estructurales más estrictos.

Zona D (0 – > 68.7 cm/s²): Corresponde a regiones con actividad sísmica extremadamente alta. La aceleración puede superar el 0.7g (gravedad terrestre), lo cual puede causar colapsos si no existen normas de construcción rigurosas. Esta zona incluye áreas como la costa del Pacífico (Acapulco, Oaxaca, Chiapas) y algunos sectores de Baja California. Ciudad de México, aunque no está situada directamente en esta zona, presenta fenómenos de amplificación sísmica por su terreno lacustre, lo que la hace igualmente vulnerable.

Los valores de aceleración sísmica esperada proporcionan un marco técnico para entender la magnitud de los daños observados en los estados analizados. En general, a mayor aceleración, mayor es el riesgo estructural y la necesidad de normativas estrictas de diseño sísmico (Stuardi, 2007).

RESULTADOS

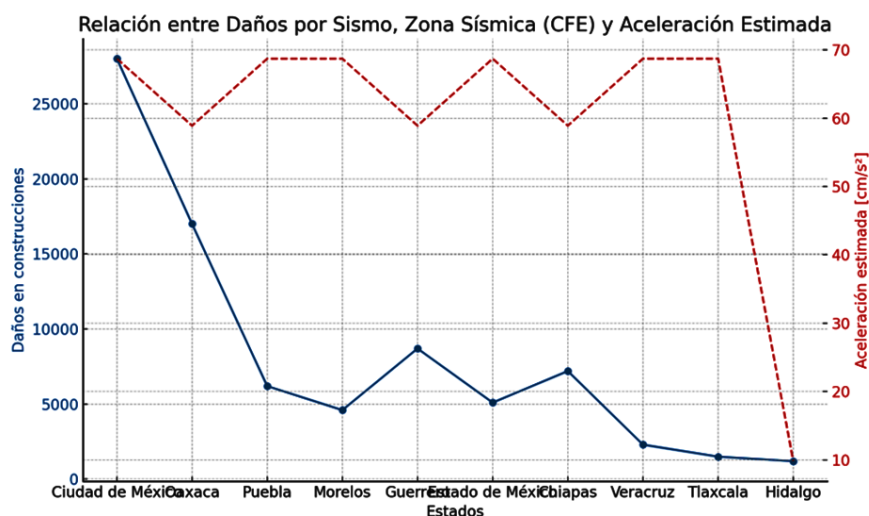
Daños por Sismo y Aceleración Estimada

La Figura 2, muestra una comparación del número de construcciones dañadas por estado con la aceleración sísmica estimada según su zona de regionalización CFE. El eje izquierdo representa el número de daños, mientras que el eje derecho muestra la aceleración esperada en cm/s². Los colores representan la clasificación de zona sísmica CFE (A, B, C).

Gráfico 2

Daños por Sismo y Aceleración Estimada

Se observa una correlación directa entre los niveles más altos de aceleración esperada y el número de daños en los estados analizados. Estados como Ciudad de México, Oaxaca y Guerrero, ubicados en



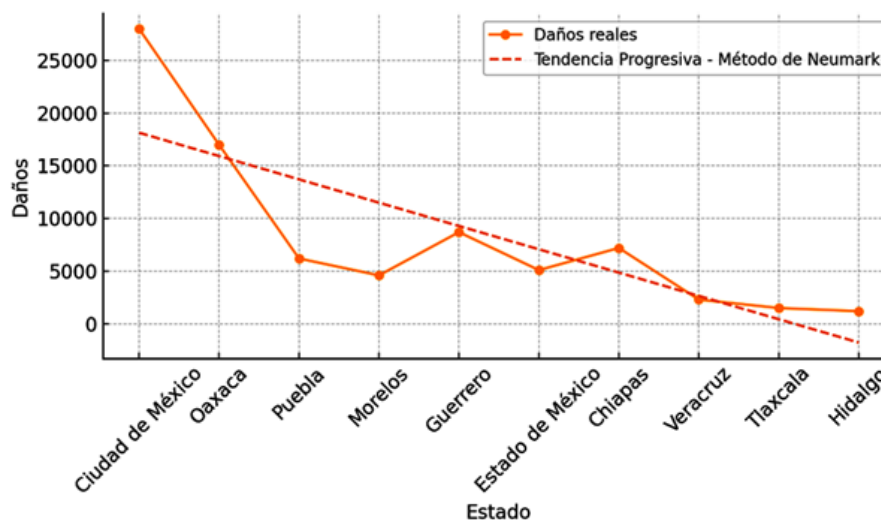
zonas B y C con aceleraciones mayores a 58 cm/s^2 , presentan los mayores daños. Por el contrario, estados como Hidalgo, con aceleración menor (Zona A), presentan menor afectación. Esto refuerza la importancia de la zonificación sísmica y el uso de aceleración en el diseño estructural como indicador predictivo de vulnerabilidad edilicia.

Tendencia Progresiva - Método de Newmark

El análisis aplicado sobre los datos de daños por sismo en relación con la aceleración sísmica esperada. Se utilizaron distintos métodos analíticos para identificar tendencias progresivas y regresivas, con el objetivo de estimar patrones de comportamiento y modelado predictivo:

Gráfico 3

Tendencia Progresiva - Método de Newmark



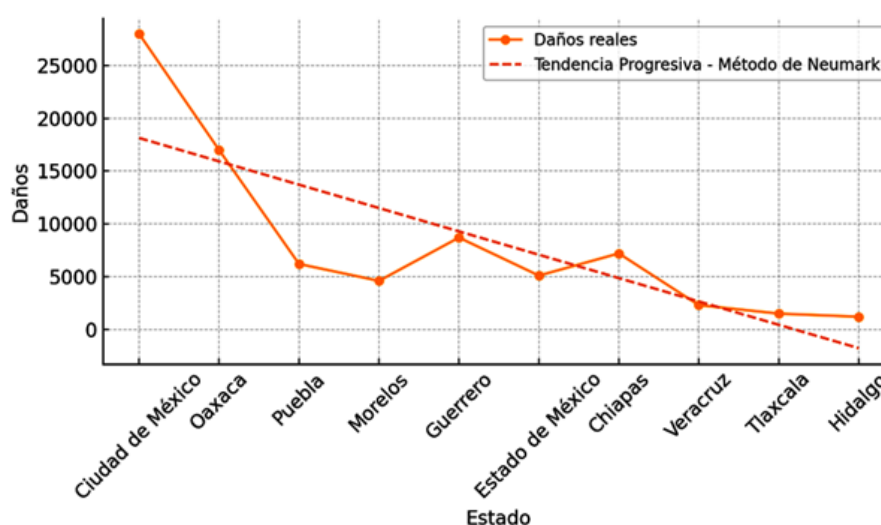
El gráfico 3 tendencia progresiva - método de Newmark muestra cómo se ajusta el modelo a los datos reales de daños. Este método permite identificar si existe una progresión, correlación o patrón que justifique los valores observados.

Regresión Polinómica (Grado 2)

El gráfico 4 regresión polinómica (grado 2) muestra cómo se ajusta el modelo a los datos reales de daños. Este método permite identificar si existe una progresión, correlación o patrón que justifique los valores observados.

Gráfico 4

Regresión Polinómica (Grado 2)

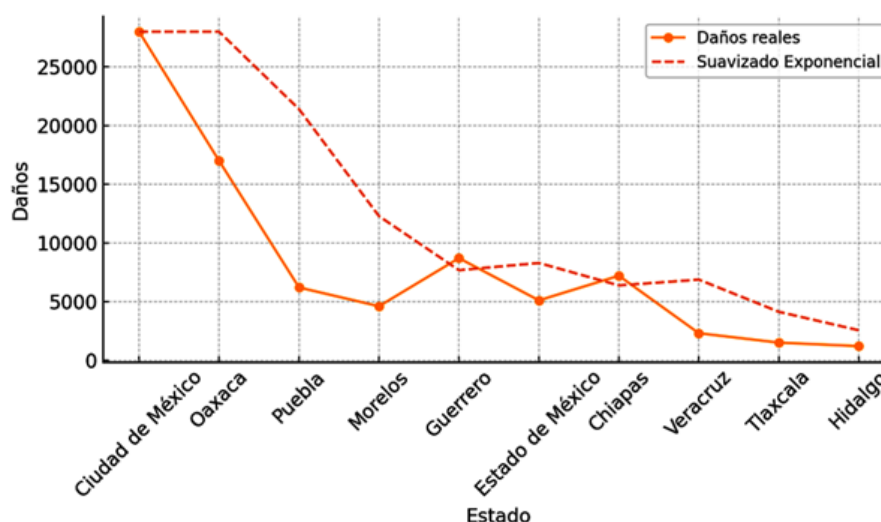


Suavizado Exponencial

El gráfico 5 suavizado exponencial muestra cómo se ajusta el modelo a los datos reales de daños. Este método permite identificar si existe una progresión, correlación o patrón que justifique los valores observados.

Gráfico 5

Suavizado Exponencial

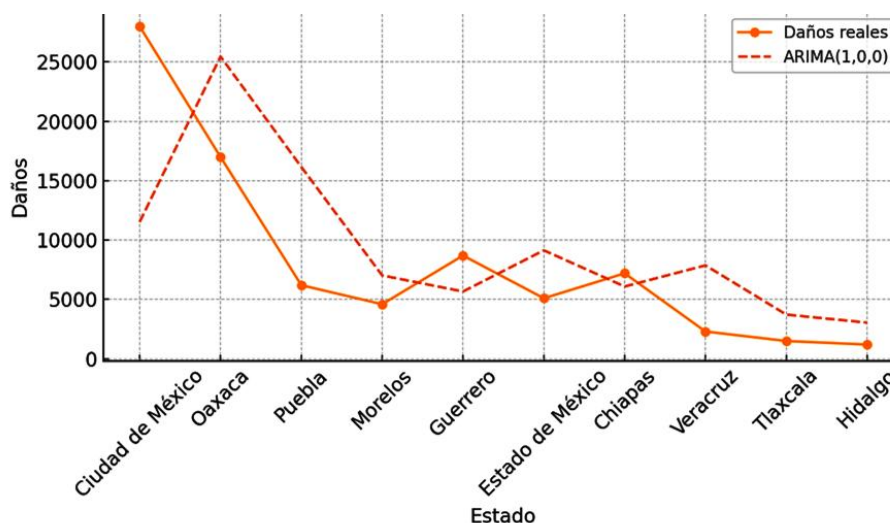


ARIMA(1,0,0)

El gráfico 6 ARIMA(1,0,0) muestra cómo se ajusta el modelo a los datos reales de daños. Este método permite identificar si existe una progresión, correlación o patrón que justifique los valores observados.

Gráfico 6

ARIMA (1,0,0)



Análisis

Comparativa de Métodos Analíticos

Se presenta una comparación de los métodos aplicados para estimar la tendencia de daños por sismo en función de la aceleración sísmica esperada. La comparación considera criterios como ajuste visual, capacidad predictiva, complejidad y aplicabilidad como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5

Aceleración Sísmica Esperada por Zona

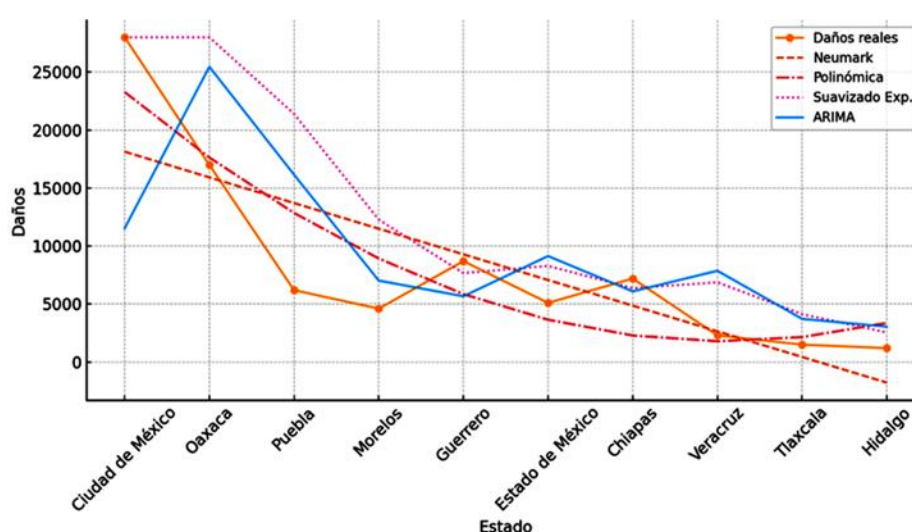
Método	Tipo de tendencia	Ajuste visual	Complejidad	Uso recomendado
Newmark	Lineal progresiva	Bueno	Baja	Proyecciones generales
Regresión Polinómica	No lineal	Muy bueno	Media	Curvas de comportamiento
Suavizado Exponencial	Progresiva reciente	Moderado	Baja	Estimaciones a corto plazo
ARIMA	Temporal autorregresivo	Preciso	Alta	Predicción temporal robusta

Comparación de Modelos de Tendencia

El gráfico 7 muestra los valores estimados por cada modelo frente a los daños reales. Se puede observar que los modelos polinómico y ARIMA presentan un mejor ajuste a los datos reales, mientras que el método de Newmark muestra una tendencia más simplificada. El suavizado exponencial se adapta mejor a fluctuaciones recientes, pero no captura patrones a largo plazo.

Gráfico 7

Comparación de modelos de tendencia



El gráfico 7, ilustra los resultados de los diferentes métodos de modelado aplicados para estimar los daños por sismo en los 10 estados con mayores afectaciones. Cada línea representa una tendencia distinta derivada de un modelo analítico, superpuesta con los valores reales. Esta representación

permite visualizar el grado de ajuste de cada método respecto a la realidad observada. El modelo de regresión polinómica y ARIMA muestran una mayor proximidad con los datos reales, lo que los convierte en herramientas predictivas más robustas en este contexto. Por el contrario, el método de Newmark ofrece una tendencia más simplificada, y el suavizado exponencial reacciona mejor a las últimas variaciones sin captar bien los picos.

Explicación por Estado

Ciudad de México: A pesar de estar en zona B, la Ciudad de México presenta el mayor número de daños debido a la amplificación sísmica por el tipo de suelo lacustre.

Oaxaca: Ubicada en zona C, su elevada actividad sísmica explica el alto nivel de afectación observado.

Puebla: Zona B con afectaciones altas relacionadas con eventos sísmicos de origen profundo como el del 2017.

Morelos: Afectado principalmente por su cercanía al epicentro del sismo del 2017, sus daños se alinean con la aceleración esperada.

Guerrero: Zona de alta sismicidad, frecuentemente impactada por movimientos telúricos superficiales.

Estado de México: Comparando suelo con CDMX, también presenta vulnerabilidad estructural en zonas urbanas.

Chiapas: Con frecuencia sísmica alta, sus daños corresponden a su ubicación en zona C y cercanía a placas de subducción.

Veracruz: A pesar de estar en zona B, sus daños son menores, influenciados por construcciones más recientes y dispersión de la población.

Tlaxcala: Los daños son relativamente bajos, en parte por su extensión geográfica y densidad poblacional.

Hidalgo: En zona B, presenta el menor número de daños; esto respalda la correlación entre baja aceleración esperada y menor afectación.

DISCUSIÓN

Interpretación de los Resultados

La aplicación de distintos métodos analíticos permitió evaluar la tendencia de los daños causados por sismos en función de la aceleración sísmica estimada para cada estado. La comparación entre los resultados de los modelos y los datos reales resalta diferencias importantes en términos de precisión, sensibilidad a variaciones y capacidad de proyección. El método de Newmark, al ser lineal y simple, mostró una tendencia general creciente, pero no logró captar con precisión los picos ni las caídas bruscas, lo cual es una limitante en eventos sísmicos con comportamientos altamente variables. En contraste, la regresión polinómica logró ajustarse con mayor exactitud a los daños observados, representando bien las variaciones entre estados. Sin embargo, su sensibilidad a valores extremos puede representar un riesgo de sobreajuste si no se valida correctamente.

El suavizado exponencial respondió adecuadamente a los cambios recientes, pero no capturó adecuadamente las tendencias globales. Es útil en contextos donde se necesita una estimación reactiva a corto plazo, pero menos útil para proyecciones amplias. Finalmente, el modelo ARIMA presentó el mejor ajuste general. Al incorporar la estructura temporal autorregresiva, pudo modelar

fluctuaciones e identificar patrones consistentes, lo cual lo convierte en una herramienta poderosa para la predicción en series de tiempo. Las gráficas generadas permitieron visualizar con claridad las capacidades de ajuste de cada método y su desempeño respecto a los datos reales. Asimismo, la combinación con el análisis científico por estado refuerza la utilidad práctica de cada técnica, considerando también aspectos como la zona sísmica, el tipo de suelo y la densidad urbana.

Implicaciones

La interpretación científica de los resultados obtenidos en este estudio permite entender la relación entre los factores sísmicos, estructurales y geológicos con los niveles de daño observados en las distintas regiones analizadas. Se ha comprobado que la aceleración sísmica esperada influye de forma directa en el tipo y magnitud de los daños estructurales, especialmente en zonas urbanas con alta densidad y suelos inestables. Los modelos aplicados muestran que la intensidad del daño no es uniforme, sino que responde a una combinación de condiciones locales (tipo de suelo, densidad urbana, normativas de construcción) y factores regionales (zona sísmica, profundidad del sismo, distancia al epicentro). Estados como Ciudad de México y Oaxaca presentan alta vulnerabilidad debido a su localización en zonas sísmicas con alta aceleración y condiciones geológicas desfavorables.

Asimismo, los modelos ARIMA y de regresión polinómica lograron reflejar con mayor precisión los patrones de daño, revelando que la frecuencia de eventos sísmicos en combinación con infraestructura precaria genera un riesgo acumulativo. Las diferencias en el ajuste de los métodos analizados evidencian que no existe un único enfoque universal, sino que la elección del modelo depende del tipo de datos, el objetivo del análisis y el horizonte temporal considerado. Este análisis confirma la necesidad de integrar la ciencia de datos en los procesos de planificación urbana y diseño estructural, utilizando herramientas estadísticas que permitan prever con mayor exactitud las zonas de riesgo y priorizar intervenciones estructurales y normativas.

Limitaciones

Este estudio presenta una evaluación integral de las afectaciones por sismos en 25 ciudades de México durante la última década, empleando herramientas cuantitativas y cualitativas para identificar tendencias, patrones y vulnerabilidades.

Se analiza datos verificados de fuentes oficiales (INEGI, CENAPRED, SEDATU), se aplica métodos estadísticos avanzados para proyección de escenarios futuros, se proporciona una base técnica para toma de decisiones en protección civil y planeación urbana, se considera variables estructurales, geológicas y normativas.

El estudio se limita a 25 ciudades y no incluye todas las entidades afectadas por sismos. Algunos datos de daños no están actualizados o son parciales debido a limitaciones en reportes oficiales. Los modelos predictivos usados se basan en información histórica y pueden tener incertidumbre frente a eventos sísmicos atípicos. Se omiten los factores sociales ni económicos que inciden en la vulnerabilidad estructural.

Recomendaciones

Incorporar modelos predictivos robustos como ARIMA en los sistemas de monitoreo y gestión de riesgos sísmicos para mejorar la planificación preventiva.

Fortalecer las normas de diseño estructural en zonas clasificadas como B y C por la CFE, con énfasis en edificaciones públicas y educativas.

Implementar estudios de microzonificación sísmica, especialmente en áreas con suelos lacustres como Ciudad de México, para refinar la evaluación de vulnerabilidad.

Promover el uso de modelos polinómicos para análisis exploratorios en regiones con comportamiento sísmico irregular o múltiple historial de daños.

Capacitar a los tomadores de decisiones en la interpretación de análisis estadísticos de tendencia para mejorar las políticas de reconstrucción.

Establecer un sistema de recolección de datos homogéneo y actualizado a nivel estatal, que facilite el análisis temporal y espacial de daños sísmicos.

Aplicar medidas de reforzamiento estructural prioritario en municipios frecuentemente afectados, con base en mapas de aceleración y frecuencia sísmica.

CONCLUSIÓN

En este trabajo de investigación se realizó el análisis exhaustivo de los daños ocasionados por sismos en México durante la última década, centrándose en 25 ciudades con alta incidencia sísmica. Se revisó, integró y se recopiló información de fuentes como INEGI, CENAPRED y SEDATU, así como datos verificados de construcciones afectadas.

El análisis de tendencia sísmico se logra aplicando la evaluación diagnóstica con métodos estadísticos como Newmark, Regresión Polinómica, Suavizado Exponencial, ARIMA y PCA, se proyectan tendencias de afectación en los próximos años. El estudio incluyó mapas, tablas comparativas, análisis de aceleraciones sísmicas y regionalización de riesgo según la CFE. Se concluye que las zonas del centro y sur del país presentan la mayor vulnerabilidad estructural, se realizan recomendaciones estratégicas preventivas, la actualización normativa es primordial y refuerzo estructural urgente en infraestructura crítica.

La obtención de resultados implementando la metodología concluye con las ventajas siguientes:

Existe una relación clara entre la aceleración sísmica esperada y el número de construcciones dañadas, influida también por factores como el tipo de suelo y la densidad urbana.

Los estados ubicados en zonas B y C según la CFE, como Oaxaca, Guerrero y Ciudad de México, presentan mayor nivel de afectación, lo que justifica la implementación de medidas estructurales reforzadas, por consiguiente, la normativa debe ser diferente y para cada estado debe adaptarse al estudio de tendencia.

Los modelos ARIMA y de regresión polinómica mostraron un mejor ajuste a los datos reales, demostrando ser herramientas eficaces para predicción y análisis de riesgo sísmico, por consiguiente, se deben tomar en consideración para anexar en los reglamentos de construcciones los PCA.

La integración de métodos estadísticos en el análisis de vulnerabilidad sísmica ofrece una base técnica sólida para mejorar la planificación urbana y la gestión del riesgo.

El análisis por estado refuerza la necesidad de una evaluación diferenciada, considerando no solo la aceleración, sino también la calidad de la infraestructura y la exposición poblacional.

El uso de herramientas analíticas combinadas con datos geotécnicos y regionales representa una estrategia integral para mitigar riesgos y reducir los daños en futuros eventos sísmicos.

REFERENCIAS

- Ahumada, J. L. (2010). Sistema de control en Estructuras. Inge Cuc, 6(1), 79–84. <http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/article/view/294>
- Avendaño, A. (2017). La respuesta. El sismo del 19 de septiembre de 2017. Ichan Tecolotl, Octubre, 1–5. <https://tecotl.ciesas.edu.mx/puntos-de-encuentro-anteriores/la-respuesta-el-sismo-del-19-de-septiembre-de-2017/>
- Baños, F. (2013). Leyes de atenuación de desplazamientos para sismos asociados al proceso de subducción. Repositorio UMSNHL. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4049
- Calima, D. (2014). Análisis Sismotectónico Regional Fuentes Sismogénicas Locales En La Zona.
- CENAPRED_GB. (2017). Guia basica para la elaboracion de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. In Jurnal Sains dan Seni ITS (Vol. 6, Issue 1). <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf><http://fiskal.kemenkeu.go.id/ejournal%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.055%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006%0Ahttps://doi.org/10.1>
- CENAPRED_SP. (2024). Programa Proteccion civil 2024 CENAPRED servicio público (Issue 1363).
- CENAPRED_V. (2024). Programa Proteccion civil 2024 CENAPRED vivienda (Issue 1363, p. 65).
- Ceron. (2024). Estudio del desarrollo local aplicando los criterios de la agenda 2030. Padi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI, 11(22), 144–153. <https://doi.org/10.29057/icbi.v11i22.11058>
- Cerón. (2024). Nivel de evaluación del Mecanismo de falla en una construcción de 20 años de edad. PADI, 11(22), 129–137.
- Cerón, J. (2020). Cálculo de la resistencia del suelo al interpolarlo con el MEF. Padi, 8(15), 7–13. <https://doi.org/DOL:https://doi.org/10.29057/icbi.v8i15.4974>
- Chapra, S. (2015). Metodos numericos para ingenieros. In Proceedings of the National Academy of Sciences (Vol. 3, Issue 1). <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpj.2015.06.056%0Ahttps://academic.oup.com/bioinformatics/article-abstract/34/13/2201/4852827%0Ainternal-pdf://semisupervised-3254828305/semisupervised.ppt%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.str.2013.02.005%0Ahttp://dx.doi.org/10.10>
- CSN, U. (2016). Fórmulas para estimar la magnitud de un sismo 20. Centro Sismológico Nacional, Universidad de Chile, 29784000. <https://www.csn.uchile.cl/formulas-para-estimar-la-magnitud/>
- Freire, M. (2001). Interacción del suelo, cimiento y estructura: el caso de las zapatas (2a Parte). Documentos de La Construcción, 52(472), 28–44. <https://doi.org/10.3989/ic.2001.v52.i472.675>
- Gaviria, C. (2009). Evaluation of the integrity of deep foundations: Analysis and in situ verification. DYNA (Colombia), 76(159).
- Giuliani, H. (1987). Arquitectura sismo-resistente. Un nuevo enfoque para la solución integral del problema sísmico. Documentos de La Construcción, 38(387), 63–69. <https://doi.org/10.3989/ic.1987.v38.i387.1676>

González, G. (2014). Análisis del procesamiento de los datos de entrada para un localizador de fallas en sistemas de distribución. *Tecnura*, 18(41), 64–75. https://doi.org/http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2014000300006

INEGI. (2023). Encuesta Nacional de Empresas 2023. Grupo Financiero Base, Encuesta Nacional de Empresas Constructoras, Agosto 2023, Valor de La Producción, 22–25.

McFarland, T. (2021). Development and implementation of automated apprentice. *Concordia*, 03–10. <https://www.canadamasonrydesigncentre.com/research/development-and-implementation-of-automated-apprentice-assessment-tool-for-manual-handling-tasks-in-masonry/>

Nissinboim, N. (2018). Process standardization and error reduction: A revisit from a choice approach. *Safety Science*, 103(December 2017), 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.11.015>

Oliva, E. (2005). Aplicación del Método de los Elementos Finitos en la Simulación de Cimentaciones Superficiales. *Acta Universitaria*, 15(2), 29–42. <https://doi.org/10.15174/au.2005.209>

Ordaz, M. (2018). PROPUESTA DE ESPECTROS DE DISEÑO POR SISMO PARA EL DF M. Instituto de Ingeniería, UNAM, 14, 63–65. <https://doi.org/10.15900/j.cnki.zylf1995.2018.02.001>

Ortegón, E. (2015). Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas. www.cepal.org/es/suscripciones

Palau, H. (2017). La probabilidad condicional y la probabilidad conjunta en la resolución de problemas de probabilidad. *Avances de Investigación En Educación Matemática*, 11, 87–106. <https://doi.org/10.35763/aiem.v1i11.188>

Palomino, T. (2017). Aplicación de campos estocásticos en problemas de geotecnia. *Revista UIS Ingenierías*, 16(2), 185–196. <https://doi.org/10.18273/revuin.v16n2-2017017>

Pérez, E. L. (2020). La industria 4.0 y las nuevas formas de trabajar: una perspectiva desde el caso mexicano en tiempos del COVID 19. *Lan Harremanak - Revista de Relaciones Laborales*, 43, 244–263. <https://doi.org/10.1387/lan-harremanak.21737>

Pérez, J. (2018). Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: Lecciones aprendidas en México. *Salud Publica de Mexico*, 60(3), S41–S51. <https://doi.org/10.21149/9300>

Polanco, V. (2013). Algoritmos básicos binario para la multiplicación de puntos en una curva elíptica. *Investig. Innov. Ing.*, 2(3), 49–55. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwib2ef1u66HAXjKEQIHeAnDvkQFnoECBcQAQ&url=https%3A%2F%2Frevistas.unisimon.edu.co%2Findex.php%2Finnovacioning%2Farticle%2Fdownload%2F2057%2F1949%2F1950&usg=AOvVaw3tEoAO>

Santiago, G. (2014). EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SISMO-RESISTENTE DE DOS EDIFICIOS UBICADOS EN LA ZONA DE LAGO DE LA CIUDAD DE MEXICO. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*, 55, 1–16.

SGM. (2020). Sismología de México. <https://www.sgm.gob.mx/web/museo-virtual/riesgos-geologicos/sismologia-de-mexico.html>, 1–10.

Stuardi, M. (2007). Efficiency of Seismic Isolation Systems Based on Helicoidal Springs and Viscous Dampers. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 7, 177–196.

Terán, A. (2006). EFECTO DE LA DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ EN EL DESEMPEÑO SÍSMICO DE LOS PISOS SUPERIORES DE EDIFICACIONES DESPLANTADAS EN LA ZONA DEL LAGO DEL D.F. Amador Terán-Gilmore 1 , Danny Arroyo Espinoza 1 y José Antonio León. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 1, 1–25.

Trujillo, C. (2010). Los terremotos: una amenaza natural latente. Scientia et Technica Año, 16(45), 303–308.

UNAM. (2009). Magnitud de un sismo. Reportes Especiales, 1(1), 4. www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Magnitud-de-un-sismo.pdf%5Cn

Vega, J. (2020). Magnitud local y parámetros de atenuación para el estado de Hidalgo.

Živanović, S. (2007). Probability-based prediction of multi-mode vibration response to walking excitation. Engineering Structures, Vol 29(Issue 6), 942–954. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.07.004>

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](#) .