

Artículo de investigación

Incidencia de la vulnerabilidad sísmica en la funcionalidad y economía de instituciones públicas del cantón El Empalme, Ecuador

Incidence of seismic vulnerability on the functionality and economy of public institutions in the canton of El Empalme, Ecuador



Gloria Piedad Iñiguez Jiménez ¹

✉ <https://orcid.org/0000-0002-7069-0620>

¹Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) | Lima - Perú | CP 15081

✉ gloppueblo@hotmail.com

<http://doi.org/10.26423/rctu.v12i1.776>
Páginas: 42- 52

Resumen

El estudio explora la vulnerabilidad sísmica en instituciones públicas del cantón El Empalme, Ecuador, enfocándose en el impacto en la operatividad y gestión económica ante desastres. Frente al desafío de una respuesta limitada a terremotos, se propone como objetivo el evaluar cómo la vulnerabilidad estructural y el deterioro de infraestructuras económicas comprometen la eficiencia en situaciones de emergencia, incluyendo el análisis económico de las pérdidas humanas causadas por esta problemática. Mediante una metodología mixta, que incluye encuestas basadas en recomendaciones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, se busca identificar áreas críticas para mejorar la capacidad de respuesta y evaluación ante desastres. Los resultados subrayan la necesidad urgente de fortalecer la preparación y resiliencia, promoviendo el desarrollo de políticas y estrategias para una gestión de riesgo más efectiva y la protección de la población e infraestructura frente a eventos sísmicos.

Palabras clave: Análisis sísmico, desastres naturales, evaluación riesgos, infraestructura crítica, resiliencia institucional,

Abstract

The study explores seismic vulnerability in public institutions in the canton El Empalme, Ecuador, focusing on its impact on the operability and economic management in the face of disasters. Faced with the challenge of a limited response to earthquakes, the objective is to evaluate how structural vulnerability and the deterioration of economic infrastructure compromise efficiency in emergency situations, including the economic analysis of the human losses caused by this problem. Through a mixed methodology, which includes surveys based on recommendations of the United Nations Development Program, it seeks to identify critical areas to improve disaster response and assessment capacity. The results underscore the urgent need to strengthen preparedness and resilience, promoting the development of policies and strategies for more effective risk management and the protection of the population and infrastructure against seismic events.

Keywords: Seismic Analysis, Natural Disasters, Critical Infrastructure, Institutional resilience risk Assessment.

Recepción: 11/03/2024 | Aprobación: 20/06/2024 | Publicación: 28/06/2024

1. Introducción

En regiones propensas a la actividad sísmica, la vulnerabilidad de las estructuras y sistemas es una preocupación constante para la seguridad pública y la continuidad de servicios esenciales [1]. Los terremotos tienen el potencial de causar pérdidas humanas y daños materiales significativos, desestabilizando la economía local y afectar profundamente el tejido social de las comunidades [2, 3]. En este contexto, las instituciones públicas juegan un papel importante, como garantes de la seguridad y el bienestar de la ciudadanía, siendo actores fundamentales en la gestión del riesgo de desastres [4, 5]. Sin embargo, para cumplir eficazmente con estas responsabilidades, es imperativo entender y mitigar su vulnerabilidad sísmica.

La gestión de riesgos sísmicos constituye un desafío para la seguridad y el desarrollo sostenible de regiones propensas a terremotos en todo el mundo [6]. A medida que la urbanización y la densidad poblacional continúan aumentando, la capacidad de prevenir, responder y recuperarse de eventos sísmicos se convierte en una prioridad institucional y social [7]. Los terremotos pueden causar devastación a gran escala, incluyendo pérdidas humanas, daños materiales significativos, y trastornos económicos [8]. En este contexto, la gestión eficaz de riesgos sísmicos implica la mitigación de los efectos adversos a través de la preparación y respuesta ante desastres, incorporando estrategias proactivas en la planificación urbana y las políticas públicas [9].

Ecuador, dada su ubicación geográfica cercana a la convergencia de la placa de Nazca y la placa Sudamericana, se halla en una zona de alta sismicidad [10]. A lo largo de los años, el país ha experimentado varios terremotos devastadores que han subrayado la necesidad de una gestión eficaz del riesgo sísmico [11]. Uno de los terremotos más impactantes en la historia reciente de Ecuador ocurrió el 16 de abril de 2016, con una magnitud de momento ($M_w=7,8$) [12, 13]. Este evento tuvo su epicentro cerca de la costa de la provincia de Esmeraldas, afectando severamente las zonas costeras del país, incluidas las provincias de Manabí y Esmeraldas [14, 15]. Como resultado, se reportaron más de 660 muertes, miles de heridos y decenas de miles de personas desplazadas. Además, hubo daños significativos en la infraestructura, incluidas instituciones públicas, hospitales, escuelas y viviendas, lo que dejó a muchas comunidades en una situación de vulnerabilidad crítica [16, 17]. Debido a la complejidad inherente de este fenómeno y a sus características particulares, resulta difícil registrar con precisión la cantidad de energía liberada durante un terremoto en el momento exacto de su ocurrencia. Por esta razón, se recurre a la magnitud del momento como un método confiable y sin saturaciones para medir dichos valores. Esta medida se calcula considerando el desplazamiento en la falla sísmica, la resistencia de la roca y el área de la superficie de la falla que se desplaza. Por lo tanto, la magnitud del momento es una escala que abarca todos los valores generados durante un fenómeno natural.

Este terremoto sirvió como un llamado de atención sobre la importancia de reforzar la resiliencia sísmica y mejorar las capacidades de respuesta y recuperación de las instituciones públicas como hospitales, escuelas, estaciones de policía, y

otros edificios gubernamentales [18, 19]. Para asegurar una rápida recuperación y continuidad de las operaciones tras un desastre, es imprescindible que estos sean diseñados para resistir los impactos de un sismo [20, 21]. La evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estas estructuras, así como la comprensión de cómo los desastres naturales afectan la funcionalidad y economía de las instituciones públicas, es fundamental para desarrollar estrategias de resiliencia efectivas [22, 23]. A pesar de la importancia de este tema, en muchas regiones aún falta una comprensión profunda y detallada de estas vulnerabilidades y de cómo abordarlas [24].

Este estudio tiene como propósito principal analizar la vulnerabilidad sísmica y su repercusión en las instituciones públicas del cantón El Empalme, Ecuador, en el año 2022. Se enfoca en identificar cómo la infraestructura crítica, la resiliencia institucional y la evaluación de riesgos son esenciales para la gestión efectiva del riesgo de desastres. Este análisis busca determinar la influencia de la vulnerabilidad física y estructural en la capacidad operativa y de servicio de dichas instituciones frente a sismos, así como su impacto en la gestión económica del riesgo de desastres.

El fin de esta investigación es proporcionar información valiosa sobre el estado de vulnerabilidad de las instituciones públicas, facilitando así la mejora de sus estrategias de preparación y respuesta ante terremotos. Con ello, se espera minimizar las consecuencias adversas sobre la población y la infraestructura, contribuyendo de esta manera a la seguridad y bienestar de la comunidad. La hipótesis general que guía este trabajo postula que la adecuada determinación de la vulnerabilidad sísmica influye significativamente en la gestión económica del riesgo de desastres en las instituciones públicas del cantón El Empalme. Además, se plantean hipótesis específicas que sugieren que las condiciones de vulnerabilidad física y estructural, el deterioro de la infraestructura, y la vulnerabilidad sísmica afectan directamente tanto el funcionamiento como el costo asociado a las pérdidas humanas prematuras en estas instituciones.

2. Materiales y Métodos

El presente estudio, realizado en el transcurso del año 2022 en el cantón El Empalme-Ecuador, se definió como una investigación cuantitativa y cualitativa, siguiendo un diseño metodológico no experimental y de campo, bajo un paradigma exploratorio, descriptivo y explicativo. La investigación se sustentó en la "Guía para el análisis de vulnerabilidades a nivel cantonal" elaborada por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) [25] además del método FEMA 154 con su formulario de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones ambos enfocándose en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de 21 entidades públicas clave dentro del cantón. Estas entidades fueron meticulosamente seleccionadas en función de su papel en el mantenimiento de la infraestructura social y de servicios esenciales, abarcando un espectro que incluye centros de salud, instituciones educativas y edificios gubernamentales. Desde una perspectiva cuantitativa, se emplearon técnicas estadísticas y modelado de datos para cuantificar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras evaluadas, lo cual permitió la elaboración de índices numéricos de vulnerabilidad, facilitando una

comparación objetiva entre las diferentes entidades públicas analizadas. Paralelamente, el enfoque cualitativo se centró en la interpretación de las características específicas del entorno construido y la dinámica social que influyen en la vulnerabilidad sísmica, como la percepción de riesgo de la comunidad y las prácticas de construcción locales. La elección de este enfoque mixto permitió una comprensión integral de la situación, al identificar y analizar variables críticas como el tipo de sistema estructural, los materiales de construcción, la topografía del terreno, entre otros factores determinantes en la resistencia estructural ante sismos.

Para la adquisición de datos, se emplearon metodologías de recolección mediante encuestas y cuestionarios estructurados, dirigidos a las autoridades gestoras de las instituciones seleccionadas, dichos instrumentos de recolección ya habían sido empleados eficazmente en investigaciones previas, lo que garantiza su validez y relevancia para el análisis de la temática abordada. Este procedimiento permitió obtener datos específicos y detallados sobre los componentes estructurales y funcionales esenciales para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica. Para asegurar la fiabilidad de los datos, el análisis e interpretación de los datos recopilados se efectuó mediante la aplicación de la prueba de Chi-cuadrado comparar las frecuencias observadas con las esperadas, adheridas a los indicadores y escalas de ponderación establecidos en la guía metodológica del PNUD y FEMA 154, facilitando la determinación precisa de los niveles de vulnerabilidad sísmica de las infraestructuras analizadas. Como resultado,

se estableció una fundamentación para el diagnóstico integral de riesgos y la elaboración de estrategias de mitigación, enfocadas en incrementar la resiliencia de las instituciones públicas del cantón El Empalme ante la eventualidad de sismos.

3. Resultados y Discusión

El estudio de caso se centra en Velasco Ibarra conocida como El Empalme, ubicado en la provincia de Guayas, parte de la región costa de Ecuador. Este cantón destaca por su significativa importancia territorial y administrativa, siendo Velasco Ibarra su cabecera cantonal. La administración local recae en la Municipalidad de El Empalme, entidad que opera de manera autónoma respecto al gobierno central, en conformidad con la Constitución del Ecuador. El Empalme abarca una superficie total de 711 km², situándose a una altitud media de 71 metros sobre el nivel del mar, con puntos que varían desde los 27 metros en su cota mínima hasta los 115 metros en su máxima elevación. La población del cantón, según datos del año 2020, asciende a 86 073 habitantes, lo que resulta en una densidad poblacional de aproximadamente 104,02 habitantes por kilómetro cuadrado. Este estudio se propone evaluar la incidencia de la vulnerabilidad sísmica en la funcionalidad y economía de las instituciones públicas del cantón, considerando su relevancia tanto geográfica como administrativa. La delimitación específica de la zona de estudio se ilustra en la Figura 1, proporcionando una visión clara de la extensión territorial sujeta a análisis en este trabajo de investigación.

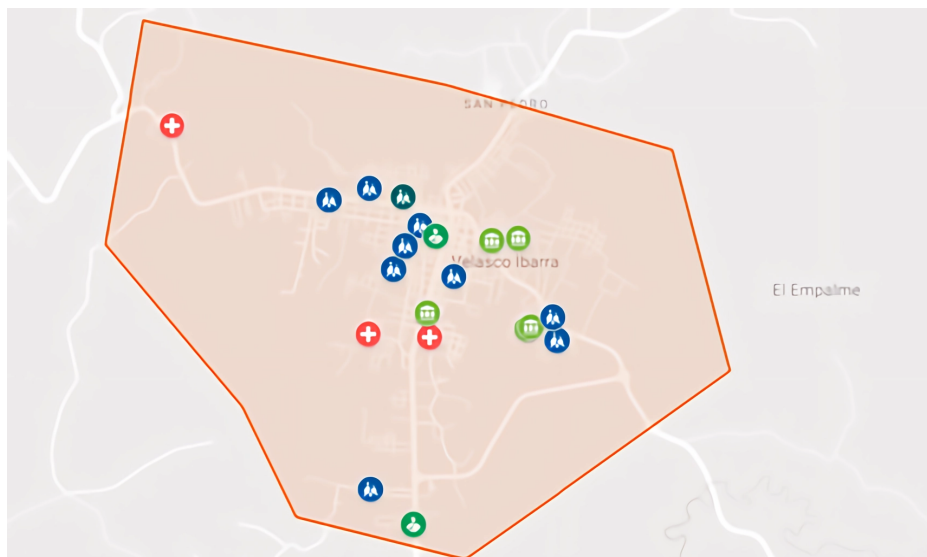


Figura 1. Delimitación territorial y demográfica del cantón El Empalme para el estudio de vulnerabilidad sísmica.

Es pertinente destacar que la investigación se aplicó a una serie de instituciones clave dentro del cantón. Estas instituciones, seleccionadas por su relevancia en la prestación de servicios públicos y su ubicación estratégica dentro del área de estudio, se detallan en las Tabla 1. La selección de las edificaciones de dominio público en el cantón El Empalme para este estudio no estuvo sujeta a un conjunto de criterios

preestablecidos; más bien, se escogieron de manera que representaran un amplio espectro de la infraestructura pública del cantón. Esto incluye desde instalaciones educativas hasta complejos administrativos gubernamentales, todos ellos evaluados para comprender su nivel de vulnerabilidad y capacidad de respuesta en caso de desastres sísmicos.

Tabla 1: Listado de principales instituciones públicas en El Empalme evaluadas para resiliencia sísmica.

N°	Instituciones Públicas
1	Centro de Salud El Empalme
2	Hospital Básico El Empalme
3	Centro de Salud El Limón
4	Dirección Distrital de Salud El Empalme
5	Escuela de Educación Básica 29 de septiembre
6	Escuela de Educación Básica Caspicara
7	Escuela de Educación Básica César Borja Lavayen
8	Unidad Educativa José María Velasco Ibarra
9	Escuela de Educación Básica 23 de noviembre
10	Unidad educativa el Empalme
11	Escuela de Educación Básica Oriente Ecuatoriano
12	Escuela de Educación Básica Segundo AU-HING
13	Unidad Educativa Melvin Jones
14	Escuela de Educación Básica Juan Montalvo
15	Dirección Distrital de Educación
16	Complejo Judicial El Empalme
17	Policía Judicial
18	Gobierno Autónomo Descentralizado
19	El Empalme Concejo Cantonal El Empalme
20	Registro Civil El Empalme
21	Centro de Rehabilitación Integral y Educación Especial Municipal - CERIEM

El estudio evaluó la vulnerabilidad estructural de edificaciones frente a amenazas mediante el análisis de características físicas como materiales de construcción, diseño y ubicación, utilizando registros municipales. Se determinó la susceptibilidad de las estructuras a daños, clasificando su vulnerabilidad cualitativamente y desarrollando un índice de vulnerabilidad por edificación. Este índice facilitó la identificación de edificaciones de alto riesgo, permitiendo priorizar medidas de mitigación para aumentar su resiliencia. Este método sirvió de base para orientar políticas públicas y estrategias de planificación para reducir la vulnerabilidad estructural ante futuras amenazas.

El estudio llevó a cabo una evaluación de la vulnerabilidad estructural de edificaciones que se define como el grado de daño esperado en una estructura en el caso de ser sometida a la acción de un fenómeno, como un sismo, donde se establecen tres niveles de evaluación: BS1, BS2 y BS3. La metodología presentada corresponde a un nivel BS1, que se caracteriza por tener un alto nivel de incertidumbre, basándose en el método propuesto por el PNUD, pero adaptando su enfoque al contexto específico de las estructuras y edificaciones locales. Analizando variables como el sistema estructural,

los materiales de construcción, el número de pisos, el año de construcción, el estado de conservación, las características del suelo y la topografía del sitio, utilizando registros municipales. Mediante la clasificación cualitativa de la vulnerabilidad y el desarrollo de un índice de vulnerabilidad por edificación, se identificaron las edificaciones de alto riesgo, lo que permitió priorizar acciones de mitigación. Es importante destacar que el método de la PNUD no considera aspectos como los tipos de suelo definidos en la NEC, ni las irregularidades del terreno, factores que pueden influir de manera determinante en la vulnerabilidad estructural, por lo que complementa la evaluación con el método FEMA 154 contrastando los datos obtenidos y mejorando la precisión de la evaluación de vulnerabilidad. Esta metodología adaptada facilitó la definición de políticas públicas y estrategias de planificación urbana para aumentar la resiliencia ante amenazas, especialmente sísmicas, detallando el grado de vulnerabilidad en una escala de 0 a 100. Los detalles específicos de esta adaptación y sus resultados están disponibles en la Tabla 2 del informe, reflejando cómo se ajustó el enfoque a las necesidades y características del cantón El Empalme.

Tabla 2: Evaluación de vulnerabilidad sísmica por tipo de estructura en El Empalme.

Variable	Indicador	Amenaza de Sismo
Sistema Estructural	Hormigón Armado	5
	Estructura metálica	5
	Estructura de madera	10
	Estructura de caña	10
	Estructura de Pared portante	10
	Mixta madera (hormigón)	10
	Mixta Metálica hormigón	10
Tipos de material en paredes	Pared de ladrillo	5
	Pared de bloque	5
	Pared de piedra	10
	Pared de adobe	10
	Pared de tapial/ bahareque/madera	10
Número de Pisos	1 piso	10
	2 pisos	5
	3 pisos	1
	4 pisos	1
	5 pisos o mas	1
Año Construcción	antes de 1970	10
	entre 1971 y 1980	5
	entre 1981 y 1990	1
	entre 1991 y 2010	1

Las variables consideradas en el análisis, junto con los valores asignados a cada indicador, derivan de estudios de campo que evalúan la vulnerabilidad sísmica de las estructuras desde una perspectiva física. Mediante la implementación de observaciones directas y la aplicación de la metodología del PNUD junto con sistemas de valores

de ponderación, se prioriza cada variable e indicador, permitiendo una comprensión detallada de cómo diferentes factores contribuyen a la vulnerabilidad de las edificaciones ante terremotos. Esta evaluación detalla y clasifica las estructuras según su riesgo sísmico detalladas en la Tabla 3.

Tabla 3: Sistema de ponderación para evaluación de riesgos sísmicos en estructuras de El Empalme.

Variable	Valores posibles del indicador	Ponderación	Valor máximo
Sistema estructural	1, 5, 10	1.2	12
Material de paredes	1, 5, 10	1.2	12
Tipo de cubierta	1, 5, 10	1	10
Tipo de entrepiso	1, 5, 10	1	10
Número de pisos	1, 5, 10	0.8	8
Año de construcción	1, 5, 10	1	10
Estado de conservación	1, 5, 10	1	10
Característica suelo bajo edificado	1, 5, 10	0.8	8
Topografía del sitio	1, 5, 10	0.8	8
Forma de la construcción	1, 5, 10	1.2	12
Total			100

En la Tabla 4 y Figura 2 se presentan las puntuaciones correspondientes a las instituciones analizadas, junto con el total acumulado al considerar los factores de ponderación establecidos. Alineándose con la escala del PNUD, permitiendo una visión comparativa del nivel de riesgo sísmico que cada entidad podría enfrentar.

Tabla 4: Puntuación de Riesgo Sísmico Acumulada por Institución.

Variable	N°	Puntuación																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Sistema Estructural	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	5	5	10	5	10	5	5
Tipos de material en paredes	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Número de Pisos	5	1	5	1	5	5	5	5	1	5	5	5	1	5	5	5	10	5	5	1	5	
Año Construcción	5	1	1	5	1	5	1	1	5	10	1	1	5	1	1	10	5	5	1	5	5	
Estado de conservación	1	1	5	1	5	1	5	1	5	5	1	1	1	5	1	5	5	1	5	5	1	
Características del suelo bajo la edificación	5	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	5	1	1	1	5	1	1	5	1	1	
Topografía del sitio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1	1	1	1	1	1	1	10	1	1	1	
Total con factor de ponderaciones		28.2	17	25	21	25	25	28.2	21	25	44.8	21	24.2	28.2	17	25	21	25	25	28.2	21	25

Evaluación para el análisis de vulnerabilidades de la PNUD

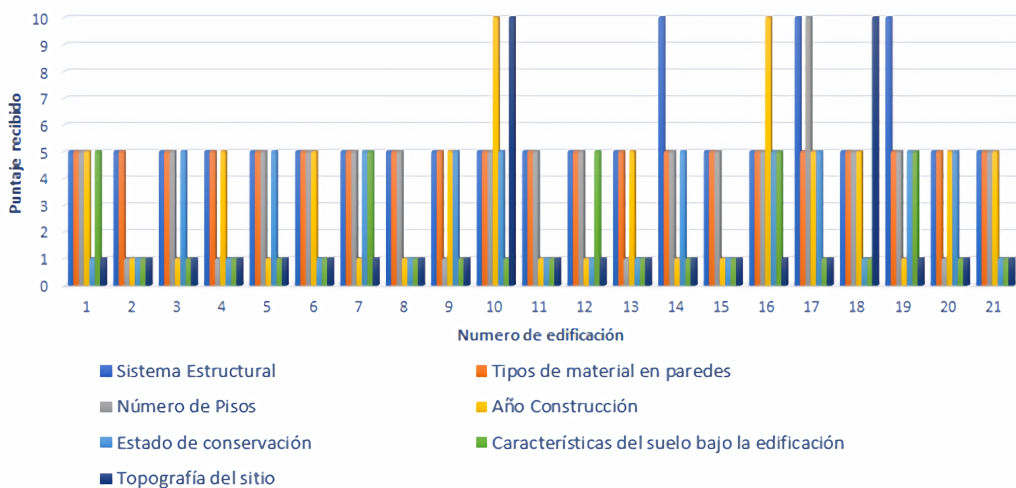


Figura 2. Puntuación de riesgo sísmico acumulada por institución.

La Unidad Educativa El Empalme registra una puntuación de vulnerabilidad sísmica de 44.8, la más elevada entre las instituciones evaluadas, lo que la posiciona en un

umbral superior al promedio de 27.40 y sugiere una mayor propensión a sufrir daños ante sismos. Dicha puntuación, situada en la escala de riesgo del PNUD de 0 a 100, requiere

geológicos, otro aspecto relevante que no fue abordado por la metodología anterior. En cuanto al sistema estructural, se determinó que la edificación se basa en un Pórtico de Acero con paredes de mampostería de bloque, lo que llevó a un puntaje de 1.7 en el formulario. Sin embargo, considerando las irregularidades, el código de construcción y el tipo de suelo, el puntaje final fue de 0.9. Según la metodología, un puntaje igual o menor que dos (≤ 2) indica la necesidad de utilizar un método más detallado que involucre un análisis más exhaustivo de la edificación.

Además de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, la investigación en las instituciones de El Empalme también se abarcó un análisis detallado de aspectos laborales y estructurales, incluyendo el número de empleados, rangos de edad de los trabajadores, presencia de personas con discapacidad, frecuencia de pago salarial, cumplimiento de la jornada laboral de ocho horas, propiedad de las edificaciones, estado de las mismas, amenaza y causas de sismos, y preparación ante estos eventos. Los resultados subrayaron una fuerza laboral predominante entre los 26 y 45 años, destacando una estabilidad en el pago de salarios y una mayoritaria propiedad estatal de las infraestructuras. Además, se identificó una considerable percepción del riesgo sísmico, junto con una marcada necesidad de fortalecer la preparación frente a estos desastres. Este análisis contribuye de manera significativa al reconocimiento de áreas susceptibles de mejora, tanto en infraestructura como en la preparación para desastres, reforzando la resiliencia institucional frente a vulnerabilidades físicas y estructurales.

La estimación de la Vulnerabilidad Socioeconómica se basa en una síntesis de la metodología propuesta por el Sistema de Gestión de Riesgos y la adaptación del método PNUD. Esta fusión metodológica permite una evaluación integral que abarca diversas subvariables, incluyendo la gestión de riesgos socioculturales y socio organizacionales, las dinámicas comunitarias, el nivel educativo, los parámetros económicos, las condiciones habitacionales, así como la accesibilidad y la calidad de los servicios básicos tales como suministro de agua, saneamiento, gestión de residuos y electricidad, tal como se recoge en los estudios de Samadian y Khanmohammadi [26, 27]. Los datos recabados mediante este instrumento se procesan para determinar el grado de vulnerabilidad socioeconómica de la población objetivo. Esta información es esencial para el desarrollo de estrategias de intervención focalizadas y para la formulación de políticas públicas que busquen mitigar los riesgos y fortalecer la resiliencia de las comunidades educativas frente a adversidades socioeconómicas potenciales.

Se profundizó en la infraestructura económica de las 21 instituciones públicas analizadas, examinando la calidad y funcionalidad de los servicios esenciales como el suministro eléctrico, el agua y el alcantarillado. Los hallazgos revelaron una infraestructura eléctrica eficiente, con un 100% de las instituciones evaluadas reportando un servicio eléctrico óptimo. No obstante, el análisis del suministro de agua y alcantarillado mostró variabilidad, con un 62% calificando el servicio de agua como bueno, pero con un notable porcentaje identificando áreas para mejora en los servicios de agua y alcantarillado. Estos resultados subrayan la importancia de desarrollar estrategias de intervención que no solo aborden

las necesidades inmediatas, sino que también se enfoquen en el fortalecimiento de la infraestructura crítica para asegurar la sostenibilidad y resiliencia de las instituciones frente a desafíos socioeconómicos.

Por último, el estudio extendió su análisis al impacto económico de los fallecimientos anticipados por vulnerabilidad sísmica en las instituciones públicas de El Empalme, Ecuador, en 2022. Este enfoque reveló que la mayoría de las instituciones poseen una capacidad de respuesta efectiva ante emergencias sísmicas, con un 86% calificando estos periodos de respuesta como buenos. La participación activa del personal en actividades de preparación y simulacros de sismos fue notable, donde un 76% y un 81% respectivamente, indicaron siempre su involucramiento. Además, un 95% del personal estaba informado sobre las organizaciones encargadas de gestionar emergencias, y un 67% participaba regularmente en capacitaciones sobre gestión de riesgos.

La simulación realizada para determinar el costo social por muertes prematuras debido a la vulnerabilidad sísmica en las instituciones públicas de El Empalme, Ecuador, en 2022, arrojó resultados significativos. Basándose en el número total de empleados por institución y considerando un 40% de afectación, se estimó un total de 246 vidas humanas en riesgo, lo que representa una pérdida económica proyectada de 1 178 880 dólares en un año por pérdidas de vidas humanas. Adicionalmente, el análisis del impacto económico de los seguros de vida elevó la cifra a 12 228 000 dólares anuales destinados a los familiares de los fallecidos. Este estudio pone de relieve la grave implicación financiera de no abordar adecuadamente los riesgos sísmicos, especialmente cuando se compara con las devastadoras consecuencias del terremoto del 16 de abril de 2016 y proyecciones de pérdidas aún mayores en eventos catastróficos futuros. Al analizar el costo de vida por rangos de edad, se destacó que el grupo de 36 a 45 años enfrenta la mayor pérdida económica, estimada en más de 500 000 dólares anuales, subrayando la necesidad de enfocarse en la preparación y mitigación específica para este segmento de la población laboral.

El análisis mediante el método Chi-cuadrado en el estudio sobre las instituciones públicas de El Empalme, Ecuador, reveló que la vulnerabilidad físico-estructural, el deterioro de la infraestructura, y la vulnerabilidad sísmica tienen efectos significativos sobre su funcionamiento y seguridad. Este método estadístico comparó las frecuencias observadas con las esperadas en las encuestas, mostrando que el valor de Chi-cuadrado calculado para cada hipótesis superó el valor crítico: 18.79 vs. 16.749 para la vulnerabilidad físico-estructural, 16.54 vs. 14.860 para el deterioro de la infraestructura, y 18.73 vs. 14.860 para la vulnerabilidad sísmica, con un nivel de confianza del 95%. Estos resultados validan las preocupaciones sobre la influencia de dichas vulnerabilidades en las operaciones y seguridad de las instituciones, enfatizando la importancia de políticas y acciones dirigidas a mitigar estos riesgos. La necesidad de mejorar la infraestructura y la preparación ante sismos es crítica, apuntando hacia la implementación de estrategias que fortalezcan la resiliencia y capacidad de respuesta de las instituciones frente a desafíos estructurales y desastres naturales.

El Empalme, con su diversidad topográfica desde zonas costeras hasta elevaciones moderadas, plantea desafíos específicos para la aplicación de metodologías estándar de evaluación de la vulnerabilidad sísmica. Los estudios como el de Moposita *et al.* (2019) en la Universidad Estatal de Bolívar y el análisis de Palomino Bendezú y Tamayo, sobre hospitales en Lima sugieren que, aunque existen marcos metodológicos consolidados, su aplicación directa en entornos con variaciones significativas puede no capturar completamente las dinámicas locales de riesgo [28, 29]. Esto plantea la pregunta: ¿Cómo influyen las características específicas de El Empalme en la aplicación y resultados de estas metodologías? La respuesta yace en la necesidad de adaptar y, en algunos casos, desarrollar metodologías híbridas que combinen la evaluación cualitativa con análisis cuantitativos, asegurando así una representación precisa de la vulnerabilidad local.

Además, se plantea la cuestión de si estas herramientas poseen la flexibilidad necesaria para adaptarse a las variadas necesidades de evaluación en distintos entornos. La efectividad de las metodologías utilizadas en estudios comparados, como el análisis probabilista del riesgo en Lima, destaca la importancia de incorporar enfoques cuantitativos para complementar las evaluaciones cualitativas [30]. Sin embargo, la adaptabilidad de estas herramientas requiere un profundo conocimiento local para ajustar los parámetros de evaluación y ponderación de riesgos, subrayando la necesidad de enfoques metodológicos flexibles y sensibles al contexto.

En relación con la identificación de vulnerabilidades específicas, los estudios examinados aportan valiosas lecciones para El Empalme. La detección de elementos estructurales críticos, como se destaca en el Estudio (Mas Camacho *et al.*), sugiere que una comprensión detallada de las vulnerabilidades específicas puede orientar de manera efectiva las prácticas de evaluación y mitigación [31]. Esta aproximación precisa puede informar la selección de intervenciones prioritarias en El Empalme, enfocándose en los componentes más susceptibles de la infraestructura y asegurando así una asignación eficiente de recursos para la mitigación de riesgos.

Finalmente, la discusión sobre cómo la integración de análisis cuantitativos podría mejorar la comprensión del riesgo sísmico en El Empalme, teniendo en cuenta tanto la vulnerabilidad estructural como las posibles consecuencias económicas, resalta un aspecto crítico de la evaluación de riesgos. Los resultados del Estudio (Palomino Bendezú & Tamayo) demuestran el valor añadido de los análisis cuantitativos en la estimación de pérdidas económicas potenciales [30]. La adaptación de estos enfoques en El Empalme enriquecería la comprensión de la vulnerabilidad sísmica desde una perspectiva estructural, facilitando la planificación de intervenciones basadas en análisis costo-beneficio, priorizando aquellas que maximicen la reducción de riesgos y la resiliencia económica.

4. Conclusiones

La situación actual en Ecuador revela una urgente necesidad de abordar la vulnerabilidad sísmica de las instituciones públicas mediante estrategias integrales. Estas deben

considerar la mejora de la infraestructura física, fortaleciendo las capacidades socioeconómicas. La cooperación entre el gobierno, el sector privado y las ONGs resulta importante para canalizar inversiones hacia la robustez estructural y la preparación comunitaria ante emergencias. Este enfoque colaborativo promete transformar la manera en que el país enfrenta los riesgos sísmicos, asegurando una mayor protección y resiliencia para su población. Las investigaciones futuras juegan un papel fundamental en este esfuerzo, centrando su atención en el desarrollo de metodologías que integren aspectos estructurales y socioeconómicos. Al evaluar la efectividad de diferentes estrategias de mitigación en variados contextos regionales, se pueden identificar políticas públicas adaptativas que respondan eficazmente a las necesidades de cada comunidad. Este enfoque permite una preparación más efectiva y una respuesta más rápida y eficiente ante desastres, lo cual es esencial para minimizar impactos y acelerar la recuperación.

La evaluación comparativa entre las metodologías del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) y el Formulario de Detección Visual Rápida de Vulnerabilidad Sísmica para Edificaciones ha permitido una comprensión más holística y precisa de la vulnerabilidad sísmica en la localidad de El Empalme, Ecuador. Al integrar los enfoques de estas metodologías, se logró abordar una gama amplia de variables críticas para la evaluación de la vulnerabilidad, incluyendo aspectos estructurales, geotécnicos y de construcción. La metodología del PNUD proporcionó un marco inicial valioso, destacando variables estructurales y de construcción, mientras que la metodología de FEMA, al considerar factores adicionales como el tipo de suelo y las irregularidades del terreno, enriqueció la evaluación al proporcionar una perspectiva más completa. La combinación de estas metodologías con el Formulario de Detección Visual Rápida de Vulnerabilidad Sísmica para Edificaciones permitió una evaluación más detallada y precisa, identificando aspectos estructurales críticos y proporcionando una base sólida para la formulación de políticas y estrategias de mitigación de riesgos adaptadas a las necesidades locales. Este enfoque integrado resalta la importancia de considerar múltiples variables y perspectivas en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica.

En concreto, la aplicación de estas metodologías condujo a una identificación detallada de las vulnerabilidades en las instituciones públicas de El Empalme. Por ejemplo, la Unidad Educativa El Empalme registró una puntuación de vulnerabilidad sísmica de 44.8, la más alta entre las instituciones evaluadas. Esta puntuación refleja una mayor propensión a sufrir daños ante sismos y exige una atención prioritaria. Además, la comparación entre los puntajes obtenidos con el método del PNUD y del FEMA reveló diferencias significativas, especialmente en la consideración del tipo de suelo y las irregularidades del terreno. Mientras que el método del PNUD enfatizó variables estructurales y de construcción, el FEMA incorporó factores geotécnicos que contribuyeron a una evaluación más completa de la vulnerabilidad sísmica.

Este análisis integral de la vulnerabilidad sísmica en El Empalme ofrece una base sólida para el desarrollo

de políticas y estrategias de mitigación de riesgos. Al considerar, tanto aspectos estructurales como geotécnicos, se pueden diseñar intervenciones específicas que fortalezcan la resiliencia de las infraestructuras y reduzcan el impacto de futuros eventos sísmicos. Asimismo, estos hallazgos destacan la importancia de una colaboración continua entre instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y la comunidad científica para mejorar la preparación y respuesta ante desastres naturales.

El establecimiento de un marco multidisciplinario y políticas públicas innovadoras es esencial para revolucionar la gestión de desastres en Ecuador. Invertir en infraestructuras resilientes y en el empoderamiento socioeconómico permitirá salvar vidas manteniendo la operatividad de servicios fundamentales. Esta estrategia proactiva enfatiza la prevención, minimizando el impacto de los terremotos. La colaboración multisectorial es clave para dirigir inversiones hacia estructuras sólidas y preparación comunitaria, prometiendo una transformación en la protección y resiliencia nacional. La investigación desempeña un rol vital, buscando metodologías que armonicen lo estructural y socioeconómico para adaptar estrategias de mitigación a necesidades locales, optimizando la respuesta ante desastres.

Financiamiento

El desarrollo y escrito de este artículo no tiene ninguna fuente de financiamiento ya sea interna o externa.

Conflicto de intereses

Para el presente artículo no existe ningún tipo de conflicto de interés.

5. Referencias

1. K. OVEN Y G. BANKOFF. The neglected country (side): earthquake risk perceptions and disaster risk reduction in post-Soviet rural Kazakhstan. *J Rural Stud* [online]. 2020, vol. 80, págs. 171-184. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.08.048>.
2. M. Z. ABU BAKAR Y Z. F. BINTI MOHAMAD. Local government capacity for earthquake disaster risk reduction in Malaysia: case studies in Bentong and Selayang areas. *International journal of disaster risk reduction* [online]. 2023, vol. 97, pág. 103987. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103987>.
3. S. LEE. Sevucas: A novel gis-based machine learning software for seismic vulnerability assessment. *Applied Sciences* [online]. 2019, vol. 9, n.º 17, pág. 3495. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app9173495>.
4. M. W. MIELER Y J. MITRANI-REISER. Review of the state of the art in assessing earthquake-induced loss of functionality in buildings. *Journal of Structural Engineering* [online]. 2018, vol. 144, n.º 3, pág. 04017218. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001959](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001959).
5. V. CERCHIELLO; P. CERESA; R. MONTEIRO Y N. KOMENDANTOVA. Assessment of social vulnerability to seismic hazard in Nablus, Palestine. *International journal of disaster risk reduction* [online]. 2018, vol. 28, págs. 491-506. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.12.012>.
6. M. BOUKRI. Seismic vulnerability assessment at urban scale: Case of Algerian buildings. *International journal of disaster risk reduction* [online]. 2018, vol. 31, págs. 555-575. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.06.014>.
7. P. YARIYAN; H. ZABIHI; I. D. WOLF; M. KARAMI Y S. AMIRIYAN. Earthquake risk assessment using an integrated Fuzzy Analytic Hierarchy Process with Artificial Neural Networks based on GIS: A case study of Sanandaj in Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction* [online]. 2020, vol. 50, pág. 101705. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101705>.
8. M. M. KASSEM; F. M. NAZRI Y E. N. FARSANGI. The seismic vulnerability assessment methodologies: A state-of-the-art review. *Ain Shams Engineering Journal* [online]. 2020, vol. 11, n.º 4, págs. 849-864. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.001>.
9. G. P. CAMPOSTRINI; S. TAFFAREL; G. BETTIOL; M. R. VALLUZZI; F. DA PORTO Y C. MODENA. A Bayesian approach to rapid seismic vulnerability assessment at urban scale. *International Journal of Architectural Heritage* [online]. 2018, vol. 12, n.º 1, págs. 36-46. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1370506>.
10. C. A. MENDOZA Y B. JARA. Natural Disasters and Informality: Are local labor markets impacted after an earthquake?. *Regional Science Policy Practice* [online]. 2020, vol. 12, n.º 1, págs. 125-157. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/rsp3.12258>.
11. L. NAVAS; P. CAIZA Y T. TOULKERIDIS. An evaluated comparison between the molecule and steel framing construction systems—Implications for the seismic vulnerable Ecuador. *Malays. Constr. Res. J* [online]. 2018, vol. 26, n.º 3, págs. 87-109. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Theofilos-Toulkeridis/publication/330365637_AN_EVALUATED_

- COMPARISON _ BETWEEN _ THE _ MOLECULE _ AND _ STEEL _ FRAMING _ CONSTRUCTION _ SYSTEMS - IMPLICATIONS _ FOR _ THE _ SEISMIC _ VULNERABLE _ ECUADOR / links / 5c3c921f92851c22a373c740 / AN - EVALUATED - COMPARISON - BETWEEN - THE - MOLECULE - AND - STEEL - FRAMING - CONSTRUCTION - SYSTEMS - IMPLICATIONS - FOR - THE - SEISMIC - VULNERABLE - ECUADOR . pdf.
12. E. VILLALOBOS; C. SIM; J. P. SMITH-PARDO; P. ROJAS; S. PUJOL Y M. E. KREGER. The 16 April 2016 Ecuador earthquake damage assessment survey. *Earthquake Spectra* [online]. 2018, vol. 34, n.º 3, págs. 1201-1217. Disponible en: <https://doi.org/10.1193/060217EQS106M>.
 13. R. E. CHASE; K. S. JAISWAL; A. CALDERON; H. YEPES; L. GODDARD Y C. YEPES □ ESTRADA. Earthquake Scenarios for Quito, Ecuador; Cali, Colombia; and Santiago De Los Caballeros, Dominican Republic. *Seismological Research Letters* [online]. 2023, vol. 94, n.º 5, págs. 2360-2372. Disponible en: <https://doi.org/10.1785/0220220249>.
 14. K. S. BALLESTEROS-SALAZAR; D. G. CAIZAGUANO-MONTERO; A. G. HARO-BÁEZ Y T. TOULKERIDIS. Case Study of the Application of an Innovative Guide for the Seismic Vulnerability Evaluation of Schools Located in Sangolquí, Interandean Valley in Ecuador. *Buildings* [online]. 2022, vol. 12, n.º 9, pág. 1471. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/buildings12091471>.
 15. T. VERA SAN MARTÍN; G. RODRIGUEZ ROSADO; P. ARREAGA VARGAS Y L. GUTIERREZ. Population and building vulnerability assessment by possible worst-case tsunami scenarios in Salinas, Ecuador. *Natural hazards* [online]. 2018, vol. 93, págs. 275-297. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3300-5>.
 16. L. A. PINZÓN; L. G. PUJADES; I. MEDRANDA Y R. E. ALVA. Case Study of a Heavily Damaged Building during the 2016 MW 7.8 Ecuador Earthquake: Directionality Effects in Seismic Actions and Damage Assessment. *Geosciences (Basel)* [online]. 2021, vol. 11, n.º 2, pág. 74. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/geosciences11020074>.
 17. A. S. MATHEUS-MEDINA; T. TOULKERIDIS; O. PADILLA-ALMEIDA; M. CRUZ-D'HOWITT Y K. CHUNGA. Evaluation of the tsunami vulnerability in the coastal ecuadorian tourist centers of the peninsulas of Bahia de Caráquez and Salinas. *Science of Tsunami Hazards* [online]. 2018, vol. 37, n.º 3. Disponible en: <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A11%3A1122811/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A134832524&crl=c>.
 18. S. ELKADY; J. HERNANTES; E. GÓMEZ Y L. LABAKA. Revealing resilience features: Analyzing informal solutions adopted in emergency situations. *International Journal of Disaster Risk Reduction* [online]. 2024, vol. 101, pág. 104267. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104267>.
 19. S. MARASCO; A. CARDONI; A. Z. NOORI; O. KAMMOUH; M. DOMANESCHI Y G. P. CIMELLARO. Integrated platform to assess seismic resilience at the community level. *Sustain Cities Soc* [online]. 2021, vol. 64, pág. 102506. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102506>.
 20. W. W. CAROFILIS GALLO; N. CLEMETT; G. GABBIANELLI; G. O'REILLY Y R. MONTEIRO. Seismic resilience assessment in optimally integrated retrofitting of existing school buildings in Italy. *Buildings* [online]. 2022, vol. 12, n.º 6, pág. 845. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/buildings12060845>.
 21. S. C. CHIAN. Lessons learnt from the 2009 Padang Indonesia, 2011 Tōhoku Japan and 2016 misne Ecuador earthquakes. *Front Built Environ* [online]. 2019, vol. 5, pág. 73. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00073>.
 22. J. HAN; A. S. NUR; M. SYIFA; M. HA; C.-W. LEE Y K.-Y. LEE. Improvement of earthquake risk awareness and seismic literacy of Korean citizens through earthquake vulnerability map from the 2017 pohang earthquake, South Korea. *Remote Sens (Basel)* [online]. 2021, vol. 13, n.º 7, pág. 1365. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs13071365>.
 23. F. FREDDI. Innovations in earthquake risk reduction for resilience: Recent advances and challenges. *International Journal of Disaster Risk Reduction* [online]. 2021, vol. 60, pág. 102267. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102267>.
 24. P. KALAKONAS; V. SILVA Y A. MOUYIANNOS; A. RAO. Exploring the impact of epistemic uncertainty on a regional probabilistic seismic risk assessment model. *Natural Hazards* [online]. 2020, vol. 104, págs. 997-1020. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04201-7>.

25. SNGR Y PNUD. Propuesta Metodológica para el análisis de vulnerabilidades en función de amenazas a nivel municipal. *Quito: AH/Editorial* [online]. 2012. Disponible en: <https://biblioteca.gestionderiesgos.gob.ec:8443/files/original/c4620f0705eae9f57bd96f6928e83a20.pdf>.
26. D. SAMADIAN; M. GHAFORY-ASHTIANY; H. NADERPOUR Y M. EGHBALI. Seismic resilience evaluation based on vulnerability curves for existing and retrofitted typical RC school buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* [online]. 2019, vol. 127, pág. 105844. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105844>.
27. S. KHANMOHAMMADI; H. FARAHMAND Y H. KASHANI. A system dynamics approach to the seismic resilience enhancement of hospitals. *International journal of disaster risk reduction* [online]. 2018, vol. 31, págs. 220-233. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.05.006>.
28. E. MOPOSITA; C. GUARANGA; M. MAS Y G. NOBOA. Vulnerabilidad sísmica del edificio ciencias de la salud y del ser humano. Universidad estatal de bolívar. 2019. *Revista de investigación Talentos* [online]. 2021, vol. 8, n.º 1, págs. 27-35. Disponible en: <https://doi.org/10.33789/talentos.8.1.141>.
29. H. J. SILUPU TELLO. Evaluación del riesgo sísmico de las viviendas del Sector Playa Sur de Aguas Verdes-Tumbes 2021. [Online]. 2022. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91102>.
30. J. S. PALOMINO BENDEZÚ Y R. E. TAMAYO LY. Evaluación probabilista del riesgo sísmico de hospitales en Lima con plataforma Capra. [Online]. 2016. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7262>.
31. M. R. MAS CAMACHO, E. J. MOPOSITA ROMERO, Y C. L. GUARANDA BAYAS. Estado actual de Vulnerabilidad Sísmica del edificio Ciencias de la Salud y del Ser Humano del Campus Alpachaca de Universidad Estatal de Bolívar. *Universidad Estatal de Bolívar, Bolívar* [online]. 2019. Disponible en: <https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/3174>.



Artículo de **libre acceso** bajo los términos de una **Licencia Creative Commons Reconocimiento – NoComercial – CompartirIgual 4.0 Internacional**. Se permite que otros remezclem, adapten y construyan a partir de su obra sin fines comerciales, siempre y cuando se otorgue la oportuna autoría y además licencien sus nuevas creaciones bajo los mismos términos.