

Modelo matemático integrado para evaluar resiliencia municipal en gestión de riesgos ambientales en territorios vulnerables

Modelo matemático integrado para avaliar a resiliência municipal na gestão de
riscos ambientais em territórios vulneráveis

Integrated mathematical model for assessing municipal resilience in environmental
risk management in vulnerable territories

Juan Pablo Morales Corozo

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Manabí
Facultad de Ciencias Naturales
Manabí, Ecuador
jpmorales@pucesm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4538-4488>

Resumen

Este estudio desarrolla un modelo matemático original para estimar la capacidad operativa de los gobiernos autónomos descentralizados municipales en la gestión de riesgos de desastres en Ecuador. El modelo integra cinco factores institucionales esenciales: cumplimiento del marco legal, aplicación normativa, disponibilidad de infraestructura técnica, articulación y gobernanza territorial e inversión presupuestaria. Estos factores se combinan en una estructura multiplicativa, donde la ausencia de uno afecta significativamente la capacidad total. Se incorpora un coeficiente de contexto territorial para ponderar diferencias estructurales, considerando población, administración, exposición a amenazas naturales y vulnerabilidad socioeconómica. La metodología se basa en el análisis normativo de la Constitución, el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización y la Ley Orgánica de Gestión Integral de Riesgos, complementado con marcos internacionales como el *INFORM Risk Index* y el Marco de Sendai. El modelo fue validado en municipios de Manabí, resultando en una herramienta cuantitativa, replicable y ajustable, orientada a fortalecer la planificación y gestión institucional.

PALABRAS CLAVE: gestión de riesgos; gobiernos municipales; capacidad operativa; contexto territorial; resiliencia municipal.

Resumo

Este estudo desenvolve um modelo matemático original para estimar a capacidade operacional dos governos autônomos municipais descentralizados na gestão de riscos de desastres no Equador. O modelo integra cinco fatores institucionais essenciais: cumprimento do marco legal, aplicação normativa, disponibilidade de infraestrutura técnica, articulação e governança territorial e investimento orçamentário. Esses fatores são combinados em uma estrutura multiplicativa, onde a ausência de um deles afeta significativamente a capacidade total. É incorporado um coeficiente de contexto territorial para ponderar diferenças estruturais, considerando população, administração, exposição a ameaças naturais e vulnerabilidade socioeconômica. A metodologia baseia-se na análise normativa da Constituição, do Código Orgânico de Organização Territorial, Autonomia e Descentralização e da Lei Orgânica de Gestão Integral de Riscos, complementada por marcos internacionais como o Índice de Risco INFORM e o Marco de Sendai. O modelo foi validado em municípios de Manabí, resultando em uma ferramenta quantitativa, replicável e ajustável, orientada para fortalecer o planejamento e a gestão institucional.

PALAVRAS-CHAVE: gestão de risco; governos municipais; capacidade operacional; contexto territorial; resiliência municipal.

Abstract

This study develops an original mathematical model to estimate the operational capacity of decentralized municipal governments in disaster risk management in Ecuador. The model integrates five essential institutional factors: compliance with the legal framework, regulatory enforcement, availability of technical infrastructure, territorial coordination and governance, and budgetary investment. These factors are combined in a multiplicative structure, where the absence of one significantly affects the total capacity. A territorial context coefficient is incorporated to weight structural differences, considering population, administration, exposure to natural hazards, and socioeconomic vulnerability. The methodology is based on a regulatory analysis of the Constitution, the Organic Code of Territorial Organization, Autonomy, and Decentralization, and the Organic Law on Comprehensive Risk Management, complemented by international frameworks such as the *INFORM Risk Index* and the Sendai Framework. The model was validated in municipalities in Manabí, resulting in a quantitative, replicable, and adjustable tool aimed at strengthening institutional planning and management.

KEYWORDS: risk management; municipal governments; operational capacity; territorial context; municipal resilience.

1. Introducción

La gestión integral del riesgo constituye un proceso sistemático, multidimensional y transversal, orientado a la identificación, análisis, reducción y monitoreo de amenazas que comprometen la seguridad humana, los activos materiales y la estabilidad de los sistemas ambientales. Su finalidad es minimizar los impactos adversos de eventos naturales, tecnológicos o antrópicos mediante la formulación e implementación de estrategias preventivas, correctivas y reactivas, basadas en evidencia científica y sustentadas en análisis técnico riguroso. En este marco, la resiliencia de los ecosistemas clave para la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos emerge como un componente crítico para el desarrollo sostenible. Sin embargo, la efectividad de estos procesos no depende únicamente del diseño técnico, sino también de la robustez del entramado normativo e institucional que permite su articulación operativa. En consecuencia, el fortalecimiento de capacidades institucionales y marcos regulatorios coherentes resulta indispensable para garantizar intervenciones eficaces y sostenibles en escenarios de riesgo creciente y de complejidad territorial.

En las últimas décadas, el incremento sostenido en la frecuencia e intensidad de eventos extremos ha evidenciado la urgencia de consolidar marcos regulatorios integrales, coherentes y articulados, capaces de abordar de forma sistémica las múltiples dimensiones del riesgo ambiental y social. En el caso de Ecuador, previo al terremoto de 2016, la arquitectura jurídica en materia de gestión del riesgo presentaba un alto grado de fragmentación y carecía de una institucionalidad claramente definida, a pesar de la existencia de mandatos constitucionales específicos. Las normativas vigentes no contemplaban de manera suficiente todas las fases del ciclo de gestión del riesgo: prevención, preparación, respuesta y recuperación, mientras que las competencias asignadas a las entidades responsables se caracterizaban por ambigüedad normativa y solapamientos funcionales. Este vacío estructural

se vio agravado por la creación o modificación de organismos mediante decretos ejecutivos, en contravención al principio de legalidad, que exige una base legislativa formal para la conformación institucional (Cahueñas, 2018).

Rosero (2018) señala que las limitaciones en la implementación efectiva del enfoque de gestión del riesgo en Ecuador no solo responden a vacíos normativos, sino también a debilidades estructurales en los procesos de toma de decisiones durante situaciones de emergencia. En particular, la escasa capacidad técnica de los actores institucionales para sustentar intervenciones necesarias frente a amenazas y desastres pone en evidencia una desconexión crítica entre el conocimiento científico disponible y su aplicación operativa en contextos de riesgo (CEPAL, 2020). A ello se suma la ambigüedad en la definición de competencias y funciones entre los niveles de gobierno nacional, regional y local lo que obstaculiza la articulación con los procesos de planificación territorial, afectando tanto la coherencia espacial como la continuidad temporal de las estrategias de intervención (Cahueñas, 2018; Torres y Salguero, 2020). Esta fragmentación institucional y técnica compromete la incorporación efectiva de criterios de resiliencia ambiental y limita las capacidades adaptativas del sistema territorial.

Como respuesta a las deficiencias normativas e institucionales evidenciadas durante diversos eventos adversos, el Estado ecuatoriano promulgó la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres, mediante Registro Oficial Suplemento 488 del 30 de enero de 2024. Esta legislación establece un marco normativo integral para regular las fases de prevención, preparación, respuesta y recuperación ante desastres, incorporando un enfoque territorial, transversal y basado en derechos. No obstante, pese al avance que representa esta nueva arquitectura legal, la respuesta ambiental ante amenazas y desastres continúa evidenciando una alta vulnerabilidad estructural de los ecosistemas. La pérdida acelerada de cobertura vegetal reflejada en la deforestación de más de 1,1 millones de hectáreas entre 1985 y 2023,

incluyendo aproximadamente 981.000 hectáreas de bosque, ha incrementado la fragilidad ecológica del país (Arévalo, 2024). Asimismo, la ocupación de zonas de alto riesgo y la degradación de cuencas hidrográficas han intensificado los impactos de eventos extremos como incendios forestales, deslizamientos e inundaciones.

En 2024, Ecuador enfrentó la sequía más severa registrada en las últimas seis décadas, evento que desencadenó más de 5.000 incendios forestales y afectó aproximadamente 40.000 hectáreas de territorio nacional (Delcas, 2024). Las provincias de Azuay y Loja fueron las más gravemente impactadas, lo que motivó la declaración de emergencia nacional por un período de 60 días (Arévalo, 2024). Estos incendios, en su mayoría provocados por la combinación entre estrés hídrico extremo y actividades humanas, particularmente prácticas agropecuarias y cambios de uso de suelo, generaron la pérdida de cobertura vegetal estratégica, afectando gravemente la biodiversidad y disminuyendo la capacidad de provisión de servicios ecosistémicos esenciales (Maldonado y Simbaña, 2024). Paralelamente, los deslizamientos causados por lluvias intensas en diversas regiones provocaron pérdidas humanas, desapariciones y daños materiales considerables, lo que puso en evidencia la fragilidad de las estructuras organizativas ante perturbaciones recurrentes (Montilla *et al.*, 2024; Lalbay, 2024). Estos eventos reafirman la necesidad de fortalecer la resiliencia territorial y la gobernanza ambiental.

En este escenario, resulta imprescindible analizar la efectividad de la recientemente aprobada Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres, no solo desde una perspectiva jurídica o institucional, sino en función de su capacidad real para fortalecer la resiliencia ambiental y mitigar los impactos ecológicos derivados de eventos extremos, cada vez más frecuentes e intensos. Factores como el cambio climático, la urbanización descontrolada y la progresiva degradación de ecosistemas han intensificado la vulnerabilidad territorial, lo que subraya la necesidad de contar con un marco

normativo verdaderamente operativo, que promueva una gestión de riesgos basada en principios preventivos, adaptativos y con un enfoque ecosistémico (Amaratunga *et al.*, 2023). En el contexto latinoamericano, diversos estudios advierten que los marcos legales suelen presentar fortalezas formales, pero enfrentan dificultades en su implementación práctica debido a vacíos institucionales, limitados procesos de descentralización y escasa articulación intersectorial (Lavell y Maskrey, 2014; Troncoso, 2024).

Una evaluación rigurosa de la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres en Ecuador es fundamental para identificar vacíos normativos, barreras operativas y oportunidades de mejora, particularmente en la articulación entre la normativa nacional, la planificación territorial y la gestión ambiental sostenible. La efectividad de esta legislación debe medirse por su capacidad para traducirse en políticas y acciones concretas en los territorios más vulnerables, incorporando mecanismos de gobernanza multinivel, participación comunitaria y protección de ecosistemas estratégicos (Corozo *et al.*, 2023; Moloney *et al.*, 2025). Asimismo, es necesario evaluar su desempeño ante escenarios de riesgo acumulativo y multiamenaza, considerando eventos recientes como incendios forestales, sequías prolongadas y deslizamientos que han afectado ecosistemas clave (Cabrera y Bolívar, 2022; Zappa Alvarado, 2022). Esta investigación propone desarrollar un modelo integrador para evaluar la capacidad operativa y la efectividad en la implementación de la Ley, cuantificando su impacto sobre la resiliencia ambiental y territorial, y la gestión sostenible de ecosistemas. El modelo buscó identificar y ponderar barreras operativas, vicios institucionales y factores críticos que condicionan la aplicación efectiva, especialmente en zonas con alta vulnerabilidad ecológica y limitada capacidad institucional local.

2. Materiales y métodos

Este estudio adoptó un enfoque metodológico cuantitativo, explicativo y analítico, orientado al desarrollo de un modelo matemático para

estimar la capacidad operativa de los gobiernos autónomos descentralizados municipales en la gestión de desastres. La formulación del modelo se sustentó en referencias internacionales reconocidas, como el *INFORM Risk Index* (UE, 2025) que evalúa la interacción entre exposición, vulnerabilidad y capacidad institucional (Bosher, 2023; Shafiq *et al.*, 2025). Se incorporaron además los principios de análisis sistémico de resiliencia propuestos por Haimés (2009), quien define la resiliencia como una propiedad emergente del sistema, resultado de la interdependencia funcional de sus componentes.

Se consideraron también los sistemas de indicadores integrados desarrollados por el Banco Interamericano de Desarrollo, orientados a facilitar comparaciones regionales y apoyar la toma de decisiones en políticas públicas de reducción del riesgo (Cardona, 2005). A nivel nacional, el modelo se fundamentó en el análisis normativo de tres cuerpos legales: la Constitución de la República del Ecuador, el Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización y la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres. Asimismo, se integraron insumos técnicos generados por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, los cuales identifican componentes esenciales para la gestión local, tales como institucionalidad, planificación territorial, inversión específica y análisis de vulnerabilidad.

El proceso metodológico contempló la construcción de un índice compuesto, construido a partir de cinco dimensiones clave como son el cumplimiento jurídico, implementación de políticas locales de gestión de riesgo, infraestructura operativa, articulación territorial e inversión presupuestaria. Cada dimensión fue organizada mediante indicadores normativos y técnicos extraídos de los marcos legales mencionados, validados a través de revisión documental y entrevistas técnicas a funcionarios municipales. La estructura de índices respondió a enfoques metodológicos ya aplicados de amenazas múltiples (Aitsi-Selmi *et al.*, 2015; Hussain *et al.*, 2021; Sharfi y Yamagata, 2016). La definición de variables e indicadores se realizó

mediante el análisis de los tres cuerpos normativos mencionados, agrupándolos en ejes de análisis institucional. Cada dimensión fue operacionalizada con base a experiencias internacionales como *Disaster Resilience Scorecard* de UNDRR (2021) y el *Local Government Self-Assessment Tool* (LG-SAT), y estudios recientes sobre gobernanza local y medición de desempeño institucional en América Latina y el Caribe (BID, 2024; Khazai *et al.*, 2018).

Además, se diseñó un coeficiente de contexto territorial integrado que permitió ajustar el índice de capacidad operativa en función de las condiciones estructurales de cada municipio. El coeficiente incorporó variables como el tamaño del gobierno municipal, el nivel de exposición a amenazas naturales y la vulnerabilidad socioeconómica, siguiendo criterios de probabilidad y diferenciación territorial. Su formulación respondió a propuestas metodológicas previas orientadas a capturar desigualdades estructurales en gestión del riesgo (Sudmeier *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2020). Esta estrategia permitió asegurar la compatibilidad entre municipios heterogéneos, sin distorsionar la centralidad de los componentes.

La muestra estuvo compuesta por 22 municipios de la provincia de Manabí, seleccionados mediante muestreo intencional, considerando su diversidad territorial, historial de exposición a amenazas y nivel de información disponible. Los datos fueron recolectados a través de revisión documental de planes de desarrollo y ordenamiento territorial, presupuestos municipales, entrevistas a técnicos locales. El procesamiento y análisis de datos se realizó mediante hojas de cálculo en Excel y el programa SPSS, permitiendo calcular el índice final, clasificar los municipios según su nivel de capacidad operativa y analizar la sensibilidad del modelo ante variaciones de cada componente.

3. Construcción de un índice compuesto de manejo de riesgos

La construcción del modelo matemático del Índice Compuesto de Manejo de Riesgos surge de la necesidad de representar de forma cuantitativa la capacidad real de los territorios

para responder y recuperarse frente a desastres de origen natural o antrópico. Este esfuerzo busca integrar en una sola estructura las dimensiones técnicas, operativas y territoriales, así como los factores estructurales y normativos que determinan el comportamiento del sistema municipal ante eventos adversos. Para garantizar la solidez metodológica y el anclaje jurídico del modelo, se realizó un análisis sistemático del marco legal ecuatoriano vigente, centrado en tres instrumentos clave: la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres, la Constitución de la República del Ecuador y el Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización. La lectura estructural y funcional de estos cuerpos legales permitió identificar los elementos esenciales que rigen el deber, alcance y responsabilidad de los gobiernos locales en la gestión del riesgo.

La formulación del Índice Compuesto de Gestión del Riesgo (ICGR) se fundamenta en la premisa de que la capacidad municipal para anticipar, responder y recuperarse ante desastres depende de la concurrencia simultánea de condiciones institucionales, normativas, técnicas y territoriales. Estas condiciones fueron identificadas mediante un análisis exhaustivo del marco jurídico ecuatoriano y se sintetizan en los cinco componentes críticos presentados en la TABLA 1, la cual constituye el sustento legal y funcional del modelo. La estructura normativa de la Constitución, el Código Orgánico de

Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) y la Ley Orgánica de Gestión Integral del Riesgo de Desastres (LOGIRD) permitió delimitar con claridad el alcance de cada dimensión, y justificar su incorporación como elementos indispensables del sistema municipal de gestión del riesgo.

Los cinco factores: cumplimiento legal, implementación normativa, infraestructura técnica, gobernanza y articulación institucional, e inversión preventiva representan dimensiones estructurales cuya ausencia compromete la funcionalidad del sistema. Su pertinencia se corroboró mediante un análisis estructural comparativo, el cual evidenció que estos componentes constituyen las condiciones mínimas requeridas para que un municipio opere de manera eficaz ante amenazas naturales o antrópicas. Este proceso de identificación conceptual y jurídica se describe detalladamente en la TABLA 1, donde se muestran las correspondencias normativas específicas que respaldan cada factor del modelo. En esta etapa se confirmó, además, que los cinco componentes no son independientes en un sentido funcional, sino interdependientes, lo que impone la necesidad de una estructura matemática que capture dicha interdependencia sin permitir compensaciones artificiales.

TABLA 1. Factores críticos y su relación con los instrumentos legales.

Fuente: elaboración propia

Factor C_i	Descripción	Constitución del Ecuador	Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)	Ley Orgánica de Gestión Integral de Riesgo de Desastres (LOGIRD)
Capacidad institucional y operativa C_1	Se refiere a la existencia de unidades de gestión de riesgos, protocolos, personal técnico y articulación interinstitucional	Art. 264, Art. 389	Art. 140	Art. 9, Art. 10, Art. 11, Art. 12, Art. 21

Continuación tabla 1

Nivel de exposición territorial C_2	Considera la ubicación geográfica, condiciones ambientales, y concentración de población o infraestructura en zonas de riesgos	Art. 389, Art. 390	Art. 140	Art. 9, Art. 10, Art. 11, Art. 12, Art. 15, Art. 16, Art. 22
Grado de vulnerabilidad estructural y social C_3	Evalúa las condiciones socioeconómicas, hábitat, servicios básicos, fragilidad de la infraestructura y desigualdad social	Art. 389,	Art. 54, Art. 140	Art. 11, Art. 12, Art. 13
Planificación territorial con enfoque de riesgos C_4	Incluye la existencia y actualización de planes de desarrollo y ordenamiento territorial y su alineación con la gestión de riesgos	Art. 389, Art. 390	Art. 140	Art 10, Art. 21, Art. 22
Inversión preventiva C_5	Se refiere a la asignación presupuestaria específica y sostenida para acciones de prevención, mitigación y preparación	Art. 389, Art. 390	Art. 60, Art. 140	Art. 19

A partir de estos fundamentos, se evaluaron diversas alternativas de agregación para los cinco componentes normalizados. Se descartaron los modelos aditivos, incluidos los lineales ponderados, debido a su incapacidad para representar adecuadamente la lógica de condiciones necesarias propia de los sistemas de gestión del riesgo: mejoras en una dimensión no compensan la ausencia crítica en otra. En consecuencia, se adoptó una estructura multiplicativa ponderada, consistente con modelos internacionales de medición de resiliencia, riesgo y desempeño institucional. La formulación matemática final del índice se expresa como:

$$ICGR = \left(\prod_{i=1}^5 C_i^{w_i} \right) CTI, \quad \sum_{i=1}^5 w_i = 1, \quad w_i \geq 0$$

Donde los componentes $C_i \in [0, 1]$ representan las dimensiones definidas en la TABLA 1, y los

pesos w_i modulan su contribución relativa. Para este estudio se adoptó el criterio de neutralidad metodológica, asignando pesos iguales ($w_i = 0,20$), lo cual asegura que cada dimensión tenga la misma influencia base en el índice.

Cada componente C_i se construyó a partir de indicadores institucionales y territoriales, normalizados mediante técnicas min-max, proporciones directas, escalas ordinales o transformaciones previas en función de su naturaleza estadística. Con el fin de evitar nulificaciones artificiales del producto por limitaciones en la medición, se aplicó un umbral mínimo técnico $\varepsilon = 10^{-4}$, de modo que $C_i = \max(C_i, \varepsilon)$. Esta decisión metodológica permite distinguir entre ausencia funcional real (valor 0 conceptual) y ausencia por ruido o resolución de datos, mejorando la estabilidad del índice sin alterar su lógica interna.

La estructura multiplicativa garantiza que el modelo exprese la lógica sistémica de condiciones necesarias: si un municipio presenta un valor $C_i = 0$ en alguna de las dimensiones esenciales, el índice completo $ICGR = 0$. Este comportamiento, lejos de ser un efecto técnico

indeseado, es un reflejo directo de la realidad institucional: la ausencia total de planificación, infraestructura mínima, marco normativo operativo o inversión preventiva anula la capacidad real de gestión del riesgo. En términos interpretativos, un valor cero indica fallas estructurales insalvables, independientemente de los avances parciales en otros componentes.

Sin embargo, evaluar exclusivamente con base en los cinco componentes institucionales podría introducir sesgos comparativos al analizar municipios con condiciones territoriales heterogéneas. Por ello, se incorporó un coeficiente de corrección exógeno denominado Constante Técnica Inicial (CTI), cuya función es ajustar el índice de acuerdo con la estructura territorial, demográfica y socioeconómica de cada municipio. Esta variable opera como un modulador externo que reconoce diferencias inherentes que no dependen del desempeño institucional. Su formulación se expresa como:

$$CTI = 0,75 + 0,5 \frac{F_{\text{tamaño}} + F_{\text{exposición}} + F_{\text{vulnerabilidad}}}{3}$$

donde cada factor estructural se normalizó en el rango [0,1]. El rango resultante $CTI \in [0,75, 1,25]$ asegura que el contexto territorial influya en el índice sin dominarlo ni distorsionar las comparaciones intermunicipales. Esta decisión metodológica, coherente con los principios de índices globales como INFORM y ND-GAIN, permite integrar de forma transparente la heterogeneidad estructural entre municipios con escalas, amenazas y vulnerabilidades muy distintas.

Finalmente, la integración del componente multiplicativo y el ajuste contextual permitió construir un modelo matemático robusto, coherente con la teoría de sistemas complejos, metodológicamente defendible y jurídicamente fundamentado. La TABLA 1 vuelve a ser clave en esta fase, pues proporciona la estructura normativa que justifica la selección de variables y

su organización interna dentro del índice. El resultado es un indicador capaz de diferenciar con precisión entre municipios que carecen de condiciones estructurales básicas y aquellos que, aun en contextos adversos, muestran avances institucionales significativos.

La formulación final del ICGR refleja la probabilidad conjunta ajustada de que un municipio disponga simultáneamente de las condiciones necesarias para una gestión adecuada del riesgo, integrando desempeño institucional, estructura normativa y contexto territorial en una métrica sintética comparable, reproducible y empíricamente sólida.

LA FIGURA 1 evidencia patrones diferenciados en el desempeño municipal de gestión del riesgo dentro de la provincia de Manabí, revelando una distribución heterogénea del ICGR entre los 22 cantones analizados. Los valores obtenidos muestran una clara jerarquización territorial, donde municipios con mayor capacidad institucional, infraestructura técnica consolidada e inversión preventiva sostenida alcanzan niveles superiores del índice, mientras que aquellos con debilidades normativas y alta vulnerabilidad estructural presentan valores significativamente más bajos. Este comportamiento es consistente con la estructura multiplicativa del modelo, en la cual la falta de una dimensión crítica, especialmente planificación territorial o inversión, limita el crecimiento del índice incluso cuando otros componentes muestran avances. Asimismo, la dispersión observada sugiere que el contexto territorial ajustado mediante la CTI influye de manera moderada pero perceptible, favoreciendo a cantones con menor exposición relativa y penalizando a aquellos con vulnerabilidades persistentes. La figura confirma, en suma, que el desempeño institucional en la gestión del riesgo en Manabí responde tanto a capacidades técnicas instaladas como a condiciones estructurales del territorio, lo que subraya la necesidad de intervenciones diferenciadas según los perfiles de riesgo identificados.

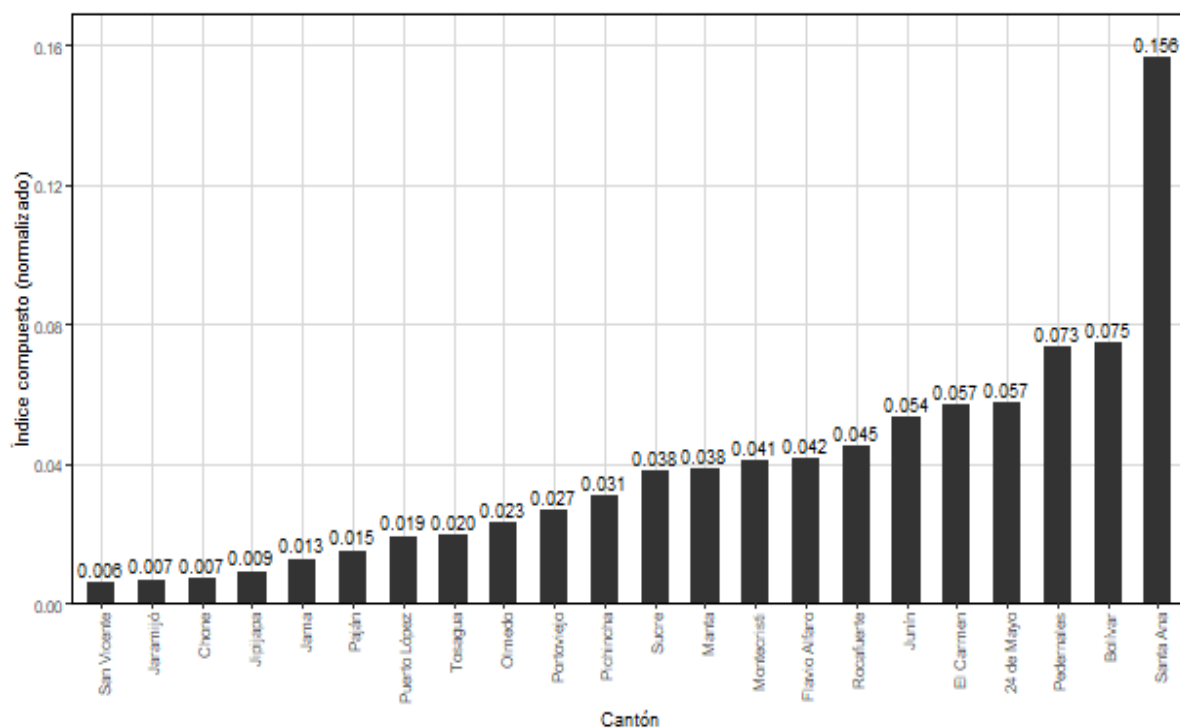


FIGURA 1. Índice Compuesto de Gestión del Riesgo en los cantones de Manabí.

Fuente: elaboración propia

Además de las diferencias territoriales observadas, la interpretación del índice requiere considerar la naturaleza de los indicadores que componen cada dimensión del modelo. El cumplimiento legal se evaluó a partir de la existencia, vigencia y nivel de actualización de ordenanzas, protocolos de actuación y reportes oficiales vinculados a la gestión del riesgo. La infraestructura técnica integró variables como disponibilidad de unidades operativas, sistemas de monitoreo, equipamientos básicos y personal especializado. La dimensión de inversión preventiva se construyó mediante la proporción del presupuesto municipal destinada a prevención, mantenimiento de obras y fortalecimiento institucional. Finalmente, la gobernanza y articulación interinstitucional incluyó mecanismos de coordinación, participación en comités, interoperabilidad administrativa y capacidad de ejecución. Cada uno de estos componentes explica parte de la heterogeneidad observada entre cantones.

4. Conclusiones

El modelo matemático desarrollado en esta investigación constituye una herramienta analítica robusta para estimar la capacidad operativa de los gobiernos autónomos descentralizados municipales en la gestión de riesgos de desastres, integrando componentes institucionales, normativos, técnicos y presupuestarios mediante una estructura multiplicativa que penaliza la ausencia de cualquier dimensión clave. La incorporación del Coeficiente de Contexto Territorial Integrado introduce un ajuste equitativo que permite valorar la influencia del tamaño poblacional, la exposición a amenazas y la vulnerabilidad socioeconómica, promoviendo comparaciones más justas entre municipios heterogéneos (Cardona *et al.*, 2012; Comiskey, 2024). Esta formulación, basada en marcos como el *INFORM Risk Index* y el *Sendai Framework Monitor*, adapta estándares internacionales a la realidad ecuatoriana y ofrece un instrumento práctico para evaluar desempeño institucional, orientar

políticas públicas y fortalecer la resiliencia territorial

El análisis comparativo con modelos desarrollados en Ecuador evidencia que, si bien existen aproximaciones institucionales y metodológicas que abordan la gestión desde una perspectiva multifactorial como índices elaborados por Planifica Ecuador, la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias o estudios territoriales municipales, la ecuación obtenida en esta investigación representa una innovación metodológica sustantiva. Su aporte radica en operacionalizar una lógica multiplicativa que penaliza fuertemente cualquier debilidad estructural, visibilizando la

dependencia sistémica entre dimensiones clave como normativa, infraestructura y gobernanza. A su vez el CTI introduce una corrección contextual que hace justo el análisis entre municipios estructuralmente desiguales, algo que los modelos tradicionales no han logrado representar con suficiente precisión. En este sentido, el modelo no solo se enmarca en la tradición ecuatoriana de análisis institucional del riesgo, sino que la expande hacia una propuesta matemática replicable y validable empíricamente para orientar políticas de gestión diferencial del riesgo en territorios vulnerables.

5. Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Manabí, por el respaldo institucional brindado durante el desarrollo de esta investigación. Asimismo, reconoce el valioso aporte de los técnicos municipales que participaron en las entrevistas, quienes compartieron información clave sobre la gestión local del riesgo de desastre. Este trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración activa de los gobiernos autónomos descentralizados municipales de la provincia de Manabí, cuya apertura y compromiso fortalecieron la validez empírica del modelo propuesto. Finalmente, agradece a los evaluadores anónimos por sus observaciones críticas que construyeron significativamente al mejoramiento del manuscrito.

6. Referencias citadas

- AITSI-SELM, A.; EGAWA, S.; SASAKI, H.; WANNOUS, C. & V. MURRAY. 2015. "The Sendai framework for disaster risk reduction: Renewing the global commitment to people's resilience, health, and well-being". *International Journal of Disaster Risk Science*, 6(2): 164-176. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13753-015-0050-9>
- AMARATUNGA, D.; ANZELLINI, V.; GUADAGNO, L.; HAGEN, J. S.; KOMAC, B.; KRAUSMANN, E.; ... & M. WOOD. 2023. *United Nations Office for Disaster Risk Reduction Regional Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2023: Europe and Central Asia* [Report]. UN Office for Disaster Risk Reduction. Disponible en: <https://www.undrr.org/report/rar-2023-europe-and-central-asia>
- AREVALO, A. 2024. "Balance ambiental de Ecuador: Sequías y la amenaza de la minería ilegal marcaron el 2024". *Noticias ambientales*. Disponible en: <https://es.mongabay.com/2024/12/balance-ambiental-ecuador-sequias-amenaza-mineria-ilegal-marcaron-2024/>
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID). 2024. *Asociaciones público-privadas resilientes*. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/>
- BOSHER, L. 2023. "Disaster risk management terms and concepts". En: *Routledge Handbook on Cultural Heritage and Disaster Risk Management*. Routledge.

- CABRERA, P. y E. BOLÍVAR. 2022. *Comportamiento histórico de los incendios forestales en el cantón Loja, provincia Loja, Ecuador, en el periodo 2011-2020*. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. Trabajo de Pregrado, Disponible en: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4043>
- CAHUEÑAS, H. 2018. "Sin ley ni organismo técnico: La institucionalidad de la gestión de riesgo de desastres en la respuesta al terremoto de 2016 en Ecuador". *Foro: Revista de Derecho*, 30: 51-66.
- CARDONA, O. D. 2005. *Sistema de indicadores para la gestión del riesgo de desastre: Programa para América Latina y el Caribe: Informe técnico principal*. Disponible en: <http://www.crid.or.cr/>
- CARDONA, O. D.; VAN AALST, M. K.; BIRKMANN, J.; FORDHAM, M.; GREGOR, G. M.; ROSA, P.; ... & F. THOMALLA. 2012. "Determinants of risk: Exposure and vulnerability". En: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 65-108. Cambridge University Press. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245.005>
- CEPAL. 2020. *La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿Seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?* Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/>
- COMISKEY, C. 2024. "Disaster preparedness, rapid assessment, response, recovery, and foresight: Responding to unplanned events and emerging threats". En: C. COMISKEY (Ed.), *Addiction Research and Evaluation: Addressing Key Challenges for Policy and Practice*, pp. 85-101. Springer Nature. Switzerland. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-031-65917-1_6
- COROZO, J. P. M.; CAMPOS, A. & M. F. C. MARTÍNEZ. 2023. "Gobernanza de la gestión de riesgos de desastres en el cantón Gonzalo Pizarro, Ecuador". *AXIOMA*, 1(28). Disponible en: <https://doi.org/10.26621/ra.v1i28.860>
- DELCAS, M. 2024. "En Ecuador, la peor sequía en 60 años provoca incendios y escasez de electricidad". *Le Monde*. Disponible en: https://www.lemonde.fr/planete/article/2024/11/20/en-equateur-la-pire-secheresse-depuis-soixante-ans-entraine-incendies-et-penuries-d-electricite_6405125_3244.html
- HAIMES, Y. Y. 2009. "On the definition of resilience in systems". *Risk Analysis*, 29(4): 498-501. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2009.01216.x>
- HUSSAIN, M. T.; JAVAID, M.; ALI, U.; RAZA, A. & M. N. ALAM. 2021. "Comparing Zinc Oxide-and Zinc Silicate-Related Metal-Organic Networks via Connection-Based Zagreb Indices". *Journal of Chemistry*, 2021, 1-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2021/5066394>
- KHAZAI, B.; ANHORN, J. & C. G. BURTON. 2018. "Resilience performance scorecard: Measuring urban disaster resilience at multiple levels of geography with case study application to Lalitpur, Nepal". *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31: 604-616. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.06.012>

- LALBAY, D. F. 2024. *Impacto de las precipitaciones en la estabilidad de taludes en los Andes del Sur del Ecuador*. Trabajo de Pregrado. Ecuador. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27096>
- LAVELL, A. & A. MASKREY. 2014. "The future of disaster risk management". *Environmental Hazards*, 13(4): 267-280. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/17477891.2014.935282>
- MALDONADO, A. y J. S. SIMBAÑA. 2024. *Evaluación de la resiliencia del sistema de transmisión de Ecuador ante incendios forestales*. Universidad Técnica de Cotopaxi. Trabajo de Pregrado. Ecuador. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/12258>
- MOLONEY, K.; BILLINGSLEY, G. J.; JEONG, B. G.; SANABRIA-PULIDO, P.; THORNTON, T. E. & E. ZEEMERING. 2025. *The Routledge Handbook on Crisis, Polycrisis, and Public Administration*. Taylor & Francis.
- MONTILLA, A. DE J.; MORA PISCO, C. I.; DURÁN VASCO, M. E. y F. R. PASTRÁN CALLES. 2024. "Contribución al estudio de la geografía climática del Ecuador continental". *Revista Ciencia UNEMI*, 17(44): 237-248.
- ROSETO, Á. R. 2018. *Inclusión de la Gestión del Riesgo de Desastres en los diferentes niveles de GAD del Ecuador considerando la relación entre el marco legal existente y prácticas populares tradicionales*. Universidad Andina Simón Bolívar. Trabajo de Grado (Maestría). Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/6238>
- SHAFIQ, Y.; MUHAMMAD, A.; NOOR, S.; KUMAR, K.; CHHIPA, U. A.; VALENTE, M.; ... & P. PHAM. 2025. "The modification of risk assessment ranking when considering the female population and children in the INFORM risk index for selected countries". *Scientific Reports*, 15(1): 26527. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10490-4>
- SHARFI, A. & Y. YAMAGATA. 2016. "Principles and criteria for assessing urban energy resilience: A literature review". *Renewable and sustainable energy reviews*, 60: 1654-1677. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.028>
- SUDMEIER, K.; FRA, U.; GARSCHAGEN, M.; ESTRELLA, M.; RENAUD, F. G. & M. JABOYEDOFF. 2015. "Opportunities, incentives and challenges to risk sensitive land use planning: Lessons from Nepal, Spain and Vietnam". *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14: 205-224. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2014.09.009>
- TORRES, L. E. S. y R. E. R. SALGUERO. 2020. "Evaluación social de las competencias de gestión de riesgos de un municipio en Ecuador". *RECIMUNDO*, 4(4): 411-433. Disponible en: [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).octubre.2020.411-433](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.411-433)
- TRONCOSO, H. F. 2024. *Gobernanza y resiliencia en desastres siconaturales: Estudio comparativo en América Latina y el Caribe (1906-2022)*. Trabajo de Grado (Maestría). Oviedo, España. Disponible en: <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/75659>
- UNIÓN EUROPEA (UE). 2025. *INFORM - Global, open-source risk assessment for humanitarian crises and disasters*. Disponible en: <https://drmkc.jrc.ec.europa.eu/inform-index>

- UNDRR. 2021. *Disaster resilience scorecard for cities | Making cities resilient*. Disponible en: <https://mcr2030.undrr.org/disaster-resilience-scorecard-cities>
- WANG, P.; QIAO, W.; WANG, Y.; CAO, S. & Y. ZHANG. 2020. "Urban drought vulnerability assessment – A framework to integrate socio-economic, physical, and policy index in a vulnerability contribution analysis". *Sustainable Cities and Society*, 54: 102004. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.102004>
- ZAPPA ALVARADO, C. A. 2022. *Análisis de la severidad de incendios forestales en la Reserva Ecológica Los Ilinizas*. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil. Trabajo de titulación de Ingeniería Ambiental. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/>

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Manabí, Ecuador; julio de 2025