

Los modelos de estimación de riesgo de desastres y la clasificación de sus niveles de riesgo

Disaster risk estimation models and the classification of their risk levels

Luis Holguin-Aranda^{1*} y Ángel Guillemes Peira²

1 Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores, Fondo Verde Internacional. Michoacán, México.

2 Guillemes Peira, Fondo Verde Internacional. Valencia, España.



Citar como: Holguin-Aranda, L. y Guillemes Peira, Á. (2022). «Los modelos de estimación de riesgo de desastres y la clasificación de sus niveles de riesgo». *South Sustainability*, e051.
DOI: 10.21142/SS-0301-2022-e051

Artículo recibido: 28/8/2021
Arbitrado por pares
Artículo aceptado: 7/3/2022



© Los autores, 2022. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

*E-mail de correspondencia:
luis.holguina@ciplima.org.pe

RESUMEN

Los desastres no son naturales ni son eventos que ocurran de manera fortuita, sino que se originan por una inadecuada o inexistente planificación en el ordenamiento del territorio. Asimismo, por efecto del calentamiento global, algunas amenazas de origen natural han aumentado en intensidad y en frecuencia, lo que, sumado a la vulnerabilidad de muchos asentamientos humanos, ha generado grandes pérdidas de vidas humanas, daños en la infraestructura y afectación en los medios de vida. Como consecuencia, se realizan reiteradas inversiones en reconstrucción por desastres, lo que genera un retraso en el desarrollo tanto a nivel local como regional, y dificulta el cumplimiento del objetivo 11 de los Objetivos del Desarrollo Sostenible: ciudades y comunidades sostenibles. Uno de los principales problemas de las estimaciones de riesgo de desastres es la gran variedad de metodologías existentes, las cuales no abordan el análisis completo ni conjunto de los componentes del riesgo de desastres y sus subvariables, debido a la orientación profesional de los diferentes investigadores que las propusieron. Asimismo, la mayoría de los métodos existentes realizan análisis de extensos territorios a baja escala; recomiendan un enfoque probabilístico con datos suficientes en cantidad y/o clasifican los niveles de riesgo de manera cualitativa, sin tomar en cuenta la definición cuantitativa del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Entonces, por esta razón, el presente artículo tiene por objetivo describir la situación actual de las metodologías de estimación de riesgo de desastres, así como las debilidades que deberían abordarse para mejorarlas o complementarlas.

Palabras clave: amenaza, vulnerabilidad, riesgo de desastre, desarrollo sostenible, estimación de riesgo

ABSTRACT

Disasters are not natural, nor are they events that occur by chance. Rather, they are caused by inadequate or non-existent land use planning. Furthermore, due to the effects of global warming, some threats of natural origin have grown in intensity and frequency and this, added to the vulnerability of many human population centers, has resulted in considerable loss of human life, damage to infrastructure and impacts upon sources of livelihood. As a consequence, in the wake of disasters, repeated investment is made in reconstruction, thereby slowing development at both local and regional levels and making it difficult to comply with Goal 11 of the Sustainable Development Goals: sustainable cities and communities. One of the main problems with disaster risk estimates is the wide array of existing methodologies, which fail to address the need for a complete or integrated analysis of the components of disaster risk and associated sub-variables; this is a consequence of the different professional backgrounds of the multitude of researchers involved. Furthermore, most existing methods conduct analyses of extensive territories on a small scale; they recommend a probabilistic approach with sufficient quantity of data, and/or they classify risk levels qualitatively, without taking into consideration the quantitative definition of the United Nations Development Program (UNDP). In this context, the aim of this article is to describe the current situation of disaster risk estimation methodologies, as well as the weaknesses that need to be addressed in order to improve or complement them.

Keywords: threat, vulnerability, disaster risk, sustainable development, risk estimation



Introducción

La variedad de métodos y modelos existentes relacionados con la estimación de riesgos de desastres supone grandes dificultades aplicativas, debido a la orientación profesional de los diferentes investigadores que propusieron sus metodologías. Estos métodos no abordan el análisis de todas las variables y factores realmente involucrados. Por ejemplo, los especialistas en las ciencias naturales se han enfocado en exponer que los fenómenos naturales son causa de los desastres de origen natural. Por otro lado, los especialistas en las ciencias aplicadas fundamentaron sus estudios en la vulnerabilidad física y la modelización de la amenaza, mientras que los especialistas en las ciencias sociales se centraron en evaluar los factores que componen la vulnerabilidad, la exposición y la construcción social del riesgo (Páucar, 2015). Esto nos indica que «los científicos de diferentes disciplinas observan la situación y realizan diversas investigaciones desde sus perspectivas cognitivas» (Martínez, 2015). De esta manera, ante la diversidad de métodos y conceptualizaciones, se «ha contribuido el percibir la vulnerabilidad solo como exposición o, en el mejor de los casos, como susceptibilidad a sufrir daños, sin hacer prácticamente ninguna referencia a la resiliencia, que está relacionada con las implicaciones que pueden tener los daños o pérdidas» (Cardona, 1997, citado en Sierra, 2008).

«Un evento físico particular con potencialidad para causar daños y pérdidas adquiere la connotación de amenaza cuando los elementos socioeconómicos son expuestos en condiciones de vulnerabilidad en áreas de potencial afectación o presencia de los fenómenos físicos peligrosos» (Narváez, 2009). Con base en lo mencionado, los desastres constituyen un proceso de construcción social que se consolida por la ocupación de áreas expuestas a amenazas de origen natural, la inexistencia de medidas de control de riesgos, construcción de viviendas o infraestructura que no cumplen con las normativas de edificaciones, la ineficacia de los gobiernos locales para gestionar los riesgos de desastres, etc. Para reducir el riesgo de desastre, resulta difícil intervenir en la amenaza o factor de riesgo externo, mas donde sí podemos intervenir es en la vulnerabilidad o factor de riesgo interno, cuya dimensión social es la más relevante a intervenir.

Tal como se ha evidenciado en las tres conferencias mundiales de reducción de riesgo de desastres de 1994 en Yokohama, 2005 en Hyogo y 2015 en Sendai, los desastres generan preocupación a todos los gobiernos del mundo y a las diversas agencias internacionales, puesto que estos se han convertido en un problema que va en crecimiento. La búsqueda de la mitigación o reducción del riesgo del impacto, de la severidad y de la recurrencia, son el principal reto para el desarrollo en la actualidad (Suárez, 2008). La reducción de riesgo de desastres se ejerce como punto importante en las situaciones donde la población está

asentada en zonas de riesgo. De igual forma, el reducir sus vulnerabilidades y sus riesgos presentes ante un evento adverso de origen natural o por actividad antrópica permitirá su posterior recuperación. Cabe mencionar que la reducción del riesgo de desastres es parte de la gestión del riesgo de desastres, cuya base primordial parte de la estimación de los niveles de riesgo de desastres.

El escenario actual del calentamiento global, con la aceleración que esta presenta, conlleva a un aumento en intensidad y frecuencia en los fenómenos hidrometeorológicos (Useros, 2013; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018). Las principales zonas críticas ante el cambio climático, como las zonas costeras, zonas de alta montaña, zonas glaciares, zonas cercanas a bosques, zonas con escasa red hídrica, etc., están expuestas a dichas amenazas. Por ello, se han realizado modelamientos regionales climáticos acerca de las zonas que serán seriamente afectadas por el impacto de estos eventos (Boulanger *et al.*, 2007), que producirá la alteración de los medios de vida y del desarrollo social (Hoffmann, 2007; Cepal, 2017).

Entonces, ante la diversidad de metodologías con diferentes enfoques y ante la situación de mayor impacto de los fenómenos hidrometeorológicos, surge la necesidad de una metodología para la determinación del riesgo de desastre que permita lograr una síntesis integradora, sin plasmar un modelo de procedimientos específicos, sino que, a través de una interpretación investigativa, esta pueda ser adaptada según los propósitos planteados desde diferentes niveles o escalas interrelacionadas, para así finalmente explicar las condiciones locales del riesgo (Martínez, 2015).

Desastre y riesgo de desastre

Desde su origen conceptual, el concepto de desastre ha estado relacionado con el infortunio. Incluso se trató de explicar por varias disciplinas, pero ninguna científica. Recién en las últimas décadas se ha comenzado a tomar una visión interdisciplinaria con los propósitos de prevención o planificación territorial, donde es definido como una situación resultante de las amenazas y las vulnerabilidades (Martínez, 2015). Se considera desastre a la interacción entre la amenaza y la vulnerabilidad de una población expuesta, que, por la magnitud manifestada, crea una interrupción severa en el normal funcionamiento de una sociedad o un sistema, debido a la disparidad entre los recursos necesarios para afrontarla y aquellos recursos que están disponibles en la localidad impactada (PNUD, 2017). Asimismo, se considera como una «seria interrupción del funcionamiento de una comunidad que ocasiona una gran cantidad de muertes, así como pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad para hacerle frente mediante el uso de sus propios recursos» (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, UNISDR, 2009).

Los desastres suponen consecuencias perjudiciales en las condiciones normales de vida de la comunidad, y en el desarrollo económico de las regiones o países donde suceden. Además, pueden menoscabar los servicios ambientales en el área de influencia. Es decir, las consecuencias de los desastres van más allá del futuro inmediato y pueden provocar cambios irremediables en las estructuras económicas, sociales y en el medioambiente. De acuerdo con las estadísticas, es una tendencia que en países desarrollados los desastres causan grandes pérdidas de capital acumulado, con mínimas pérdidas de vidas humanas. Ello se debe a la disponibilidad de sistemas de alerta temprana y evacuación, así como a una mejor planificación del desarrollo urbano y aplicación de estándares y códigos de construcción estrictos (Cannon y Schipper, 2014). Contrariamente, en países en vías de desarrollo el número de muertes es elevado a causa de su mayor vulnerabilidad, especialmente por la ausencia de los sistemas de pronóstico y evacuación. No obstante, las pérdidas de capital son menores en términos absolutos, por la menor capacidad adquisitiva de la población (Cannon y Schipper, 2014; UNDRR, 2017).

En la construcción de la definición de riesgo de desastres se suscitaron diversas dificultades, por las tendencias de sus primeros estudios. Dichas definiciones hacían referencia a los desastres naturales, y era tomado como definiciones vinculadas estrechamente al origen de las amenazas o peligros para explicar estas situaciones. Uno de los conceptos de riesgo de desastre lo define como «una interrelación entre las amenazas y las condiciones de vulnerabilidad, para lograr identificar las condiciones de un riesgo de desastre en un escenario específico según las dinámicas internas y externas» (Martínez, 2015). También se define como la «probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas, en muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental, resultado de interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad» (Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres, EIRD, 2004). Asimismo, «el riesgo es entendido como un evento probable o potencial que puede afectar a un territorio, mientras que el desastre se concibe como al hecho o acto concreto que se materializa el riesgo en el territorio» (Páucar, 2015).

Metodologías de evaluación de amenazas

Una de las metodologías para determinar el nivel de amenaza es a través de las curvas de intensidad, duración y frecuencia, conocidas como curvas IDF. «Son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno» (Témez, 1978). De esta manera, Muñoz y Zamudio (2018) propusieron un modelo de regionalización de ecuaciones para el cálculo de curvas IDF de la precipitación mediante mapas de isolíneas. El

objetivo se basaba en desarrollar ecuaciones para calcular estas curvas IDF mediante mapas de isolíneas, en el departamento de Boyacá (Colombia). La metodología consiste en desarrollar un modelo práctico y preciso que genere una ecuación que relacione las variables IDF para cualquier punto en el ámbito de estudio, a fin de posteriormente aplicar este método a otras áreas del país. Este estudio concluye que la aplicabilidad del método de isolíneas es efectiva en la regionalización de curvas IDF, con alto nivel de certeza, por lo que es aplicable a cualquier punto dentro del área de estudio.

Según otras metodologías, la amenaza está conformada por factores, los cuales son los factores desencadenantes o detonantes y los factores condicionantes; de igual forma, para el cálculo del nivel de peligro o amenaza se toman en cuenta parámetros de evaluación. Los factores desencadenantes son factores externos que originan la inestabilidad (González de Vallejo, 2002); son aquellos que funcionan como eventos disparadores en el desarrollo de un peligro. Por ejemplo, las precipitaciones intensas son el factor desencadenante de los aluviones de baja intensidad o también de desbordes de cuerpos de agua. Los factores condicionantes son aquellos factores internos que dependen del propio entorno y forma del terreno (González de Vallejo, 2002). Son aquellas características inherentes al área donde se desarrollan y que influyen en la evolución de la amenaza o peligro. Por ejemplo, en un flujo de detritos los factores condicionantes son la pendiente y el tipo de suelo. Los parámetros de evaluación son indicadores o variables que determinan las características de la amenaza o peligro y que además son medibles o cuantificables; por ejemplo, un parámetro de evaluación de la precipitación intensa sería los milímetros de precipitación por hora.

Entre las técnicas con base probabilista tenemos la técnica del escenario combinado con el uso del árbol de probabilidades, pero con un enfoque bayesiano, reevaluando los datos probabilísticos en función de datos nuevos (Marzocchi *et al.*, 2012). Este enfoque parte del supuesto de la existencia de una base de datos actualizada y amplia para caracterizar estadísticamente el comportamiento de los eventos naturales en estudio. La aplicabilidad de este método permite tomar en cuenta la ocurrencia de más de un evento en forma simultánea, cuando estos son desencadenados por otros eventos.

Los métodos de estandarización proponen que se realice a través de la clasificación de las amenazas (cualitativo o heurístico) o a través del desarrollo de índices (semicuantitativo). Esta estandarización por clasificación establece que las clases de las diferentes amenazas son comparables donde una misma clase representa similar severidad, pero diferente afectación; entonces, a los índices se les asignan valores continuos a los parámetros, lo que posibilita una comparación semicuantitativa (Kappes *et al.*, 2012).



Lo más recurrente en los diferentes estudios de análisis de amenaza es evaluar cada amenaza de manera individual, a fin de hacer un cálculo de las pérdidas estimadas para diferentes peligros y escenarios. Como consecuencia han surgido metodologías que evalúan las amenazas múltiples, las cuales se resumen en una combinación de varios factores de la amenaza, que se manifiestan de manera individual, colectiva o por reacción en cadena, para conllevar a la manifestación del desastre. Estas metodologías propuestas se ajustan mejor a la realidad futura ante el cambio climático. Por este motivo, la UNISDR declaró que, para afrontar la tendencia de incremento en intensidad y recurrencia de los desastres en los últimos años, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 hace un llamado a reforzar los modelos de reducción del riesgo de desastres, las estimaciones, los monitoreos, los mapas de riesgos y los sistemas de alerta temprana de amenaza múltiple, así como a fomentar la ejecución de estudios integrales u holísticos multiamenaza. El enfoque multiamenaza considera varios tipos de amenazas en un determinado territorio, lo que permite considerar todas las amenazas presentes en dicha zona o área de estudio (Komendantova *et al.*, 2014). La multiamenaza es el conjunto de posibles eventos peligrosos con potencial de causar daño sobre los mismos elementos expuestos, que no necesariamente suceden al mismo tiempo (Gallina, 2015).

Entre las metodologías que proponen modelos de multiamenaza natural, se encuentra una con enfoque para países en vías de desarrollo. Esta metodología se basa en desarrollar un modelo de valoración de amenazas múltiples, e indica que para valorar las amenazas naturales es recomendable utilizar un enfoque probabilista, considerando que la cantidad de datos y la calidad de los disponibles es insuficiente; es decir, se recurre a métodos cualitativos para realizar una valoración individual por amenaza natural. Dicha metodología presenta un enfoque mixto en el cual se aplica la cualificación de los datos cuantitativos para su posterior análisis, nuevamente con métodos cualitativos; posteriormente, se realiza una superposición de las amenazas presentes y se relacionan sus interacciones; al ser ajustadas estas interacciones espaciales, puede lograrse una transferibilidad a otros casos de estudios (Barrantes, 2015). Para corroborar el modelo se recurre al principio de triangulación de datos, contraponiendo los resultados obtenidos a informes, data, narraciones, etc. Este tipo de metodología propone un modelo multiamenaza apropiado ante escasez de datos y presencia de amenazas múltiples, asimismo, con aplicabilidad para sustentar la toma de decisiones en planificación territorial respecto a la gestión del riesgo.

Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad es la «incapacidad de una comunidad para absorber mediante el autoajuste los efectos de un determinado cambio en su medioambiente. Inflexibilidad

ante el cambio. Incapacidad de adaptarse al cambio, que para la comunidad constituye, por las razones expuestas, un riesgo» (Wilches-Chaux, 1989). Además, la sociedad puede enfrentar distintas vulnerabilidades clasificándolas de la siguiente manera: natural, física, económica, social, política, técnica, ideológica, educativa, cultural, ecológica e institucional.

Existen metodologías de análisis de la vulnerabilidad enfocadas en tres componentes: la exposición, la fragilidad y la resiliencia; algunas otras metodologías toman en cuenta a la exposición como la intersección entre la amenaza y la vulnerabilidad. Otras metodologías toman la resiliencia como un factor más del riesgo, al mismo nivel de la amenaza y la vulnerabilidad.

En el manual para la elaboración de riesgos originados por fenómenos naturales, elaborado por el Centro Nacional de Estimación y Prevención de Desastres (Cenepred) en el Perú, se utiliza el método multicriterio, el proceso de análisis jerárquico y/o matriz de Saaty. Esto se aplica para la ponderación de los factores de la vulnerabilidad, que son la fragilidad, la resiliencia y la exposición; de igual modo, se aplica para las dimensiones de la vulnerabilidad, que son la social, la económica y la ambiental; a través de los parámetros de análisis y sus descriptores (Masana, 2015). El proceso de análisis jerárquico muestra la importancia o ponderación de cada parámetro en el cálculo de la vulnerabilidad, lo que permite la clasificación de los niveles de vulnerabilidad. Esta metodología tiene una base matemática, lo que permite añadir información cuantitativa (mediciones de campo) y cualitativa (inclusión de los instrumentos de gestión del riesgo, grados de organización social, etc.), obtenida a través de un equipo de profesionales de carácter multidisciplinario.

Otros métodos, como el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas, se basan en un sistema de indicadores que identifica los factores de la vulnerabilidad, los cuales presentan diversos componentes con valoraciones preestablecidas, mientras que la vulnerabilidad global se estima con relaciones aritméticas sencillas (Vera y Albarracín, 2017). Los resultados de esta metodología determinaron diversas fuentes de incertidumbre referentes a los márgenes de error, a las ponderaciones y cómputo de las variables. Sin embargo, puesto que el objetivo general era la metodología, el cálculo de incertidumbre está fuera de su alcance, por lo que se concluye que la metodología propuesta permite trascender la visión tradicional de la gestión del riesgo para llegar a una visión holística. Además, el establecimiento de indicadores enriquece el proceso de ordenación de cuencas hidrográficas.

La metodología multivariante para medición de la vulnerabilidad global se enmarca dentro del grupo de modelos propuestos por investigadores y sociólogos

que reafirman la viabilidad y pertinencia de la medición de la vulnerabilidad, así como en investigaciones sobre la transformación cualitativa de la vulnerabilidad y en el método multivariante para la medición de la vulnerabilidad global (Bolívar, 2017). Esta investigación se centra en demostrar la viabilidad de la medición de la vulnerabilidad en su concepción global y, a la vez, verificar sus propósitos de uso prospectivo, para mejorar el ejercicio de la planificación urbana a largo plazo con reducción de la vulnerabilidad.

Evaluación de riesgo de desastres

Muchas metodologías han variado la fórmula del desastre en cuanto van consolidándose los conceptos y tendencias. Entre ellas tenemos las siguientes:

$$R = f(A, V)$$

$$R = A * V$$

$$R = A * V / c$$

$$R = A * V * e / c$$

$$R_t = E * R_s = E * A * V$$

Donde:

R = riesgo
 Rt = riesgo total
 Rs = riesgo específico
 f = en función
 A = amenaza
 V = vulnerabilidad de un elemento expuesto
 E = elementos en riesgo
 e = exposición
 c = capacidad de respuesta (resiliencia)

La estimación del riesgo de desastres ha sido abordada de manera expresa desde 1990 en la promulgación del Decenio Internacional para la Reducción del Riesgo de Desastres Naturales, en el Marco de Acción de Hyogo 2005-2015 y en el nuevo Marco de Acción de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030 (Rodríguez, 2016). Actualmente, existen una gran variedad de métodos para valorar el riesgo de desastres. La mayoría de estos tienen una base metodológica simplificada con regresiones numéricas, o con combinación o traslape de diferentes capas en el procesamiento de la data obtenida de los sistemas de información geográfica. De esta manera se expresan finalmente las amenazas y vulnerabilidades y, al realizar su convolución, se puede obtener indicadores con los niveles de riesgo (Peduzzi *et al.*, 2010).

Una investigación de cuantificación de pérdidas ante un potencial evento natural adverso y con disposición de datos para evaluar el riesgo de inundación, en Suecia, nos indica que los modelos existentes no generan datos cuantitativos fiables que soporten las decisiones de los responsables directos de la gestión, por lo que el objetivo es identificar y estimar las relaciones causales entre los peligros, la vulnerabilidad y la exposición, y evaluar su aplicabilidad de los datos recopilados sistemáticamente

para producir información cuantitativa confiable y generalizable para el soporte de decisiones (Grahn, 2017). En los resultados de esta investigación se demostró que los datos disponibles en Suecia para las amenazas de inundación y deslizamiento hasta cierto punto son cuantitativos, por lo que el análisis conlleva a problemas, es decir, los datos son incompatibles. Por lo tanto, la opción tomada fue la de adoptar funciones de estimación de daño de otros países con características similares. En conclusión, la disponibilidad de data, para una evaluación cuantitativa en pérdida de vidas y daño a la propiedad, es baja; sin embargo, respecto a las características espaciales del modelo, si los datos aumentaran, dicho modelo tendría el potencial de ser altamente aplicable a análisis de riesgo de inundación.

En la ciudad de Huancayo, en el centro del Perú, se aplicó una estimación del riesgo de desastres basada en determinar el nivel de riesgo de una sección del río Shullcas, ya que en dicha zona hay gran cantidad de familias vulnerables expuestas a diversos peligros. Para ello se realizó una evaluación *in situ* y modelamientos digitales, mientras que para la subvariable vulnerabilidad se realizaron entrevistas. El procesamiento se realizó en *software* GIS, y las técnicas utilizadas fueron modelamiento virtual, listas de cotejo y ponderaciones (Cano, 2019). Los resultados categorizaron cada uno de los predios de acuerdo con los niveles de riesgo procesados, y determinaron la severidad de los impactos ante un evento adverso.

El modelamiento o método para evaluar riesgos en ciudades con interés histórico, tomando en cuenta la adaptación al cambio climático, la mitigación del riesgo de desastres, la conservación del patrimonio y un modelo de datos multiescala para la priorización de intervenciones, se valida a través del modelo integrado de valor para una evaluación sostenible, lo que hace posible calcular la sensibilidad, la capacidad de adaptación y el índice de vulnerabilidad, que fue extrapolado a los edificios que pertenecen a la misma categoría (Gandini, 2017). En esta investigación se concluye que el método ofrece el equilibrio óptimo entre la facilidad de adquisición de datos y los resultados. Además, las categorías son generadas según seis parámetros que son accesibles, fáciles de obtener y son importantes para el proceso de agrupación.

Otra propuesta metodológica para elaborar matrices y mapas de riesgos naturales toma en cuenta que el riesgo es el producto de la amenaza por la vulnerabilidad, y como unidades espaciales usa los radios censales. Posteriormente se diseñan las matrices, en donde la amenaza se trabaja con variables en función de la exposición y del grado de peligrosidad; la vulnerabilidad se trabaja con datos proporcionados por el censo nacional, del cual se obtienen indicadores; de esta manera, esta matriz representa una herramienta que ayuda a determinar las áreas de riesgo (Torres, 2019).



Las diversas metodologías para estimar el riesgo de desastre deben considerar los márgenes de incertidumbre asociada a sus componentes. Las pérdidas que se generarían ante la materialización de una amenaza en los elementos expuestos es incierta, por lo que hay incertidumbre. Las bases de datos de información referente a amenazas son recientes y, por lo tanto, son incompletas, tomando en cuenta los tiempos de retorno de dichos eventos. Cualquier modelamiento depende de la certeza de los datos que se ingresan, por lo que se recomienda que solo los especialistas experimentados realicen el modelamiento para poder analizar y evaluar los resultados y contrastarlos con la realidad. Lo primordial en un análisis es definir la escala geográfica a trabajar, lo cual depende directamente de la base de datos disponible y de la aplicación que se desea otorgar a dicho análisis (Yamín, 2013). Estas son las principales consideraciones para los modelos o metodologías a generarse.

Los modelos de estimación de riesgo de desastres descritos clasifican los niveles de riesgo de forma arbitraria o subjetiva, basados en la decisión del equipo evaluador, o, en otros casos de una ponderación a través del proceso de análisis jerárquico de Saaty en los niveles de vulnerabilidad y amenaza, los cuales también parten de una subjetividad del equipo evaluador; y no de la base de la capacidad de respuesta local, desde la perspectiva económica, para afrontar los efectos perjudiciales de la materialización de un evento adverso.

Conclusiones y recomendaciones

En la actualidad, existe una gran variedad de metodologías para realizar la estimación de riesgo de desastres; esto es, porque la realidad absoluta no existe, pues todo depende del punto de vista del observador, lo cual conlleva a que los componentes del riesgo, que son la amenaza y la vulnerabilidad, se desarrollen en muchas investigaciones por separado. Asimismo, las metodologías de estimación del riesgo de desastres no toman en cuenta indicadores relacionados con el desarrollo sostenible, el ordenamiento territorial o el cambio climático. A futuro, ante las tendencias de estas investigaciones ambientales mencionadas, al realizarlas de manera aisladas, quedarán obsoletas. El considerarlas propiciaría una visión más

holística y evitaría la duplicidad de generación de indicadores.

Entonces, lo adecuado sería contar con una metodología que integre indicadores de otras ramas relacionadas directamente con la gestión del riesgo. De no hacerlo, como consecuencia de los inadecuados modelamientos, se obtendrían grandes pérdidas a nivel socioeconómico ante el nuevo escenario climático mundial. Por ello se hace necesario ofrecer una opción metodológica para la investigación de riesgos de desastre, que permita lograr una síntesis integradora, sin plasmar un modelo de procedimientos específicos. El resultado esperado es que los tomadores de decisiones cuenten con una herramienta que favorezca un análisis continuo y a multinivel de proceso. Esto conllevaría a decisiones y proyectos más concretos y específicos para una adecuada gestión del riesgo de desastres, lo cual posibilitaría también un adecuado y efectivo planeamiento del territorio. Asimismo, se debe conformar un modelo de cálculo del riesgo, en el que los rangos de los niveles no sean predeterminados de forma arbitraria, sino que esos rangos se establezcan con base en la realidad de los costes económicos de los daños y pérdidas probables. Así se obtendría un resultado más preciso, y que esté de acuerdo con la concepción del riesgo de desastre por parte del PNUD.

Agradecimientos

Agradecemos a manera especial a la Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores y al Fondo Verde Internacional por su apoyo.

Fuente de financiamiento

Este trabajo fue autofinanciado.

Contribución de autoría

L H-A fue el encargado de la concepción, y L H-A y A G-P participaron en la búsqueda de datos y la redacción del artículo.

Potenciales conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Referencias bibliográficas

- Barrantes, G. (2015).** *Modelo de multi-amenaza natural para países en vías de desarrollo: caso de aplicación cantón de Poás, Costa Rica.* Tesis de doctorado. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Universidad Nacional Universidad Estatal a Distancia.
- Beccari, B. (2016).** «A comparative analysis of disaster risk, vulnerability and resilience composite indicators». *PLoS currents*, 8.
- Bernal, G., Salgado, M., Zuloaga, D. et al. (2017).** «Integration of probabilistic and multi-hazard risk assessment within urban development planning and emergency preparedness and response: Application to Manizales, Colombia». *International Journal of Disaster Risk Science*, 8, pp. 270-283.
- Bolívar Vallejo, H. (2017).** «Metodología multivariante para medición de la vulnerabilidad global: contextos urbanos menores-zona de Esquilán-Cochabamba». IX Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Bogotá, junio 2017.
- Boulanger, J. P., Martinez, F. y Segura, E. C. (2007).** «Projection of future climate change conditions using IPCC simulations, neural networks and Bayesian statistics: precipitation mean state and seasonal cycle in South America». *Climate Dynamics*, 28(2), pp. 255-271.
- Cannon, T. y Schipper, L. (Eds.) (2014).** *World Disasters Report 2014. Focus on Culture and Risk*, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies.
- Cano, T. (2019).** *Estimación del riesgo de desastres en la subcuenca baja del río Shullcas zona urbana de la ciudad de Huancayo.* Tesis de doctorado. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Cardona, M. (2018).** *Construcción social del riesgo de desastres caso Salgar, Antioquia.* Tesis de doctorado. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Centro Nacional de Estimación y Prevención de Desastres, CENEPRED. (2015).** *Manual para la evaluación de riesgos inducidos por acción humana.* Disponible en: http://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/manual%20evar%20induc%20accion%20humana.pdf
- Centro Nacional de Estimación y Prevención de Desastres, CENEPRED. (2015).** *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales.* Disponible en: http://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/MANUAL-EVAR.INUNDACIONES.pdf
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Cepal. (2003).** *Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los Desastres.* Ciudad de México: Cepal. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2781/5/S2003652_es.pdf
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Cepal. (2017).** «Protección social de la infancia frente a los desastres». Disponible en: <https://www.cepal.org/es/enfoques/proteccion-social-la-infancia-frente-desastres>
- Crawford, M., Crowley, K., Potter, S., Saunders, W. y Johnston, D. (2018).** «Risk modelling as a tool to support natural hazard risk management in New Zealand local government». *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 10.
- Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres, EIRD. (2004).** *Vivir con el riesgo: Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres.* Ginebra: Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. Disponible en: <https://www.eird.org/cd/building-codes/pdf/spa/doc16481/doc16481.htm>
- Gallina, V. (2015).** *An advanced methodology for the multi-risk assessment. An application for climate change impacts in the North Adriatic case study, Italy.* Disertación de Ph. D. Università Ca' Foscari Venezia.
- Gallina, V., Torresan, S., Critto, A., Sperotto, A., Glade, T. y Marcomini, A. (2015).** «A review of multi-risk methodologies for natural hazards: Consequences and challenges for a climate change impact assessment». *Journal of Environmental Management*, 168, pp. 123-132.
- Gandini, A. (2017).** *Climate change risk management for the sustainable development of the historic city: from the material to the territory.* Disertación de Ph. D. Euskal Herriko Unibertsitatea.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, GIZ. (2018).** *Evaluación de riesgo climático para la adaptación basada en ecosistemas. Una guía para planificadores y practicantes.* Bonn: GIZ.
- González de Vallejo, L. (2002).** *Ingeniería geológica.* Barcelona: Pearson Educación.
- Grahn, T. (2017).** *Risk assessment of natural hazards: Data availability and applicability for loss quantification.* Disertación de Ph. D. Karlstads universitet.
- Hoffmann, D. (2007).** Introducción sobre el impacto del retroceso de los glaciares y los recursos hídricos. En: Instituto Boliviano de la Montaña (Ed.), *Retroceso de los glaciares y recursos hídricos en Bolivia - De la Investigación a la Acción.* La Paz.
- Kappes, M., Keiler, M., von Elverfeldt, K. y Glade, T. (2012).** «Challenges of analyzing multihazard risk: A review». *Natural Hazards*, (64), pp. 1925-1958.
- Komendantova, N., Mrzyglocki, R., Mignan, A., Khazai, B., Wenzel, F., Patt, A. y Fleming, K. (2014).** «Multi-hazard and multi-risk decision support tools as a part of participatory risk governance: Feedback from civil protection stakeholders». *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (8), pp. 50-67.
- Kumar, S. (2018).** *Assessing vulnerability and multi-hazard risk in the Nepal Himalaya.* Disertación de Ph. D. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Lallemant, D. (2015).** *Modeling the future disaster risk of cities to envision paths towards their future resilience.* Disertación de Ph. D. Stanford University.
- López, F. (2019).** *Análisis y diagnóstico de la vulnerabilidad general al riesgo derivado de los procesos de inundación fluvial en el litoral mediterráneo Peninsular.* Tesis de doctorado. Universidad de Murcia.
- Martínez, M. (2015).** *La construcción del conocimiento científico del riesgo de desastre: epistemología, teorías y metodología de los estudios desde una perspectiva geográfica.* Tesis de doctorado. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Marzocchi, W., Garcia, A., Gasparini, P., Mastellone, M. L. y Di Ruocco, A. (2012).** «Basic principles of multi-risk assessment: a case study in Italy». *Natural Hazards*, (62), pp. 551- 57e.
- Maskrey, A. (1993).** «Los desastres no son naturales». *La Red.* Disponible en: <https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/>
- Mechler, R. (2016).** «Reviewing estimates of the economic efficiency of disaster risk management: opportunities and limitations of using risk-based cost-benefit analysis». *Natural Hazards*, 81.
- Muñoz, J. y Zamudio, E. (2018).** «Regionalización de ecuaciones para el cálculo de curvas de intensidad, duración y frecuencia mediante mapas de isolíneas en el departamento de Boyacá». *Tecnura*, 22(58), pp. 53-64.
- Narváez, L., Lavell, A. y Ortega, G. (2009).** *La gestión del riesgo de desastres. Un enfoque basado en procesos.* Disponible en: <https://www.eird.org/cd/herramientas-recursos-educacion-gestion-riesgo/pdf/spa/doc17733/doc17733-contenido.pdf>



- Navarro, D., Vallejo, I. y Navarro, M. (2017).** Resiliencia a desastres y capital social. Análisis de redes sociales en barrios periféricos de la ciudad de Cusco, Perú. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 74, pp. 463-481.
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. (2018).** Comunicado de prensa del IPCC 2018/24/PR. IPCC, pp.1-5.
- Páucar, R. (2016).** *Modelo para la articulación de la Gestión del Riesgo en el proceso de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Guaranda / Ecuador*. Tesis de doctorado. Universidad de Valencia.
- Peduzzi, P., Chatenoux, B., Dao, H., De Bono, A., Deichmann, U., Giuliani, G., Herold, C., Kalsnes, B., Kluser, S., Lovhoty, F., Lyon, B., Maskrey, A., Mouton, F., Nadim, F. y Smebye, H. (2010).** *The Global Risk Analysis for the 2009 GAR. Conference Proceedings*. Davos: International Disaster and Risk Conference (IDRC).
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. (2015).** *Cuba: Metodologías para la determinación de riesgos de desastres a nivel territorial*. Disponible en: <https://reliefweb.int/report/cuba/cuba-metodolog-para-la-determinaci-n-de-riesgos-de-desastres-nivel-territorial-parte-i>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD Argentina. (2017).** *Manual para la elaboración de mapas de riesgo*. Buenos Aires: PNUD. Disponible en: <https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/Manual-elaboracion-mapas-riesgo.pdf>
- Rivera, C. (2016).** *Disaster risk management and climate change adaptation in urban contexts: Integration and challenges*. Disertación de Ph. D. Lund University.
- Rodríguez, E. (2016).** *Diseño metodológico para la evaluación del riesgo por inundación a nivel local con información escasa*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Rubio, J. (2017).** *Modelo para la gestión del riesgo en desastres meteorológicos. Análisis y gestión de sus efectos en edificación*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Sevilla.
- Sierra, S. y Gómez, D. (2008).** «Propuesta de evaluación de riesgos y desastres. Un enfoque integral». *Teoría y Praxis Investigativa*, 3(1). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3701059.pdf>
- Skilodimou, H., Bathrellos, G., Chousianitis, K., Yousef, A. y Pradhan, B. (2019).** «Multi-hazard assessment modeling via multi-criteria analysis and GIS: a case study». *Environmental Earth Sciences*, 78.
- Suárez, D. C. (2008).** *Desarrollo de indicadores de riesgo y gestión del riesgo a nivel urbano para el diagnóstico y la planificación en Manizales*. Tesis de magíster. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2636/doracatalinasuarezolave.2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Témez, J. (1978).** *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Madrid: Dirección General de Carreteras.
- Torres, J. (2019).** *Matrices y mapas de riesgos naturales en el Departamento Santa Lucía (San Juan, Argentina)*. XXI Jornadas de Geografía de la UNLP. Disponible en: http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.13671/ev.13671.pdf
- United Nations, World Bank. (2010).** *Natural hazards, unNatural disasters. The Economics of effective prevention*. Disponible en: <https://www.gfdr.org/sites/default/files/publication/natural-hazards-unnatural-disasters-2010.pdf>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction, UNDRR. (2016).** *Poverty and death: disasters mortality 1996-2015*. Disponible en: https://www.preventionweb.net/files/50589_creddisastermortalityallfinalpdf.pdf
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction, UNDRR. (2017).** *Economic losses, poverty and disasters: 1998-2017*. Disponible en: https://www.preventionweb.net/files/61119_credeconomiclosses.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Unesco. (2013).** *Análisis de riesgos de desastres en Chile*. Santiago de Chile: Unesco.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, UNGRD. (2018).** *Guía para la integración de la variabilidad climática con la gestión del riesgo de desastre a nivel territorial*. Disponible en: <https://online.pubhtml5.com/pxou/ikdb/index.html>
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, UNISDR. (2009).** *Terminología sobre la reducción del riesgo de desastres*. Ginebra: UNISDR.
- Useros, J. (2013).** «El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales». *Anales de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50, pp. 71-98.
- Vera, J. y Albarracín, A. (2017).** Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2), pp. 109-136.
- Wilches-Chaux, G. (2005).** «Fundamentos éticos de la gestión del riesgo». *Nómadas (Col)*, (22), pp. 48-61. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1051/105116726005>
- Yamin, L., Ghesquiere, F., Cardona, O. y Ordaz, M. (2013).** *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre*. Washington D. C.: World Bank Group. Disponible en: <http://documents.worldbank.org/curated/en/204201468243560940/Modelacion-probabilista-para-la-gestion-del-riesgo-de-desastre>