

## METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO EN FUNCIÓN DEL COSTE APROXIMADO DEL IMPACTO DE AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL EN LAS EDIFICACIONES

NEREA MARTÍN RAYA ([id](#))<sup>1</sup>  
JAIME DÍAZ PACHECO ([id](#))<sup>1</sup>  
MARÍA GARCÍA VAQUERO ([id](#))<sup>1</sup>  
JORDAN CORREA GONZÁLEZ ([id](#))<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Cátedra de Reducción del Riesgo de Desastres y Ciudades Resilientes. Departamento de Geografía e Historia, Universidad de La Laguna, C/ Prof. José Luis Moreno Becerra, s/n. Facultad de Humanidades. Sección de Geografía e Historia. Planta 2, San Cristóbal de La Laguna*

Autor de correspondencia: [nmartinr@ull.edu.es](mailto:nmartinr@ull.edu.es)

**Resumen.** Los daños directos causados por una amenaza, como la destrucción de edificaciones, se encuentran entre los efectos más visibles de un desastre y son una muestra de la severidad del evento. En este sentido, la estimación de los costes ante un posible desastre es necesaria para desarrollar políticas capaces de reducir el impacto. Este trabajo centra su atención en plantear una metodología que permita evaluar los costes de reposición estimados de las edificaciones tras el suceso de diferentes amenazas de origen natural, usando como caso de estudio La Palma. A partir del coste medio de las viviendas, se presenta una ratio de coste basada en la metodología de Blong (2003) con el objetivo de establecer el valor económico de las edificaciones destinadas a otros usos. Junto a ello, se propone una estimación del porcentaje de pérdidas aproximado que causaría cada una de las amenazas en función de su nivel de peligrosidad. La metodología propuesta se muestra como un importante recurso de cara a evaluar la vulnerabilidad basándonos en los daños económicos o posibles pérdidas, posibilitando establecer y diseñar mecanismos de reducción y mitigación del riesgo de desastre. Asimismo, el planteamiento teórico-metodológico que se presenta permite que sea aplicado y replicado a otros ámbitos territoriales con caracteres similares a los planteados.

**Palabras clave:** costes de reemplazo, pérdidas económicas, reducción del riesgo de desastre.

### METHODOLOGY FOR RISK ESTIMATION BASED ON THE COST OF THE IMPACT OF NATURAL HAZARDS ON BUILDINGS

**Abstract.** Direct damage caused by a hazard, such as the destruction of buildings, is one of the most visible effects of a disaster and is an indication of the severity of the event. In this sense, it is necessary to estimate the costs of a possible disaster in order to develop policies capable of reducing its impact. This work focuses on proposing a methodology that allows the evaluation of the estimated replacement costs of buildings after the occurrence of different natural hazards, using La Palma as a case study. Based on the average housing costs, a cost ratio based on the methodology of Blong's (2003) is presented to determine the economic value of buildings intended for other uses. Along with this, an estimate of the approximate percentage of losses that each of each hazard would cause according to its severity is proposed. The proposed methodology is shown to be an important resource for making vulnerability assessments based on economic damages or likely losses before a specific event occurs, making it possible to establish and design mechanisms for disaster risk reduction and mitigation. Likewise, the theoretical-methodological approach presented allows it to be applied and replicated to other territorial areas with similar characteristics to those proposed.

**Keywords:** replacement costs, economic losses, disaster risk reduction.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los daños directos causados por una amenaza, como la destrucción de edificaciones o zonas de cultivos, se encuentran entre los efectos más visibles de un desastre y son una muestra de la severidad del evento. En las últimas tres décadas las pérdidas económicas derivadas de desastres naturales se han incrementado un 145%, pasando de una media de 70 mil millones de dólares en los años 90 hasta 170 mil millones la década de 2010 (UNDRR, 2022). Por ello, en estos tiempos en el que las pérdidas no paran de aumentar se necesita llevar a cabo acciones eficientes y efectivas orientadas a la reducción del riesgo de desastre que permitan reducirlas. En este sentido, la estimación de pérdidas económicas ante determinadas amenazas naturales se convierte en una herramienta básica para evaluar la vulnerabilidad territorial e informar a los tomadores de decisiones y poder desarrollar políticas y medidas de prevención y reducción del impacto económico-social en las comunidades (Meyer *et al.*, 2013).

Un desastre de origen natural trae consigo cuantiosas pérdidas económicas, tanto directas como indirectas, que disrumpe el funcionamiento de la sociedad. Aunque ambas son importantes, debido a la correlación directa entre elementos expuestos/afectados y su valor monetario, los estudios e informes sobre las pérdidas económicas están mayoritariamente enfocados hacia los daños directos, normalmente medidos a partir de los costes de reemplazo (Eckhardt *et al.*, 2019). La importancia de estos para medir la vulnerabilidad, validar la mitigación, mejorar la toma de decisiones y establecer un nivel apropiado de aseguramiento (Rose, 2004) hace que se hayan desarrollado diversas metodologías al efecto (Fuchs y McAlpin, 2005; Merz *et al.*, 2010; Papathoma-Köhle *et al.*, 2011; Bernatchez *et al.*, 2011; Xie *et al.*, 2014; Pan, 2015). Aunque normalmente estas valoraciones económicas se realizan en la fase post-desastre, es importante definir indicadores cuantificables, como la estimación de pérdidas económicas, en la fase pre-desastre (Eckhardt *et al.*, 2019), como, por ejemplo, el realizado en el Plan de Mitigación del Riesgo de Hawai (HI-EMA, 2018). Estas últimas están encaminadas a computar la vulnerabilidad y a apoyar la toma de decisiones sobre la reducción del riesgo de desastres. La realización de valoraciones pre-desastre, además de servir para estimar la vulnerabilidad, constituye también una herramienta dirigida a la prevención, pero también a facilitar el cálculo de los impactos en la fase inmediata post-desastre (respuesta y reconstrucción) (Healy y Malhotra, 2009).

Este trabajo centra su atención en plantear una metodología que permite evaluar los costes de reposición estimados de las edificaciones tras el suceso de diferentes amenazas de origen natural, usando como caso de estudio la isla de La Palma. La importancia de llevar a cabo acciones para la reducción del riesgo en la isla se ha puesto de manifiesto tras la erupción acontecida a finales de 2021 donde numerosas edificaciones, la mayoría viviendas, se vieron afectadas por coladas de lava. De esta manera y tal y como se lleva a cabo en un estudio de necesidades post-desastre (PDNA, 2013), se han utilizado fuentes que determinan la zonificación a distintos niveles de peligrosidad producidos por diferentes amenazas naturales identificadas para la isla de La Palma (inundación, sismos, coladas de lava y movimientos de ladera). Posteriormente a través de la mencionada metodología de estimación de la vulnerabilidad basada en costes, se obtienen unos valores estimados de riesgo derivados, por un lado, de los niveles de amenaza, y por otro, de los costes vinculados a las edificaciones expuestas. Los resultados muestran que los mayores niveles de riesgo en la isla calculados en base a los costes de reposición son aquellos relacionados con zonas que presentan alguna probabilidad de ser ocupados por coladas de lava en futuras erupciones volcánicas.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Valoración económica de edificaciones

Cuando no existen datos directos sobre los costes de reemplazo de edificaciones estos se pueden estimar utilizando la información de eventos históricos para los que se cuente información (Fedeski y Gwilliam, 2007). En el caso de La Palma, tras la erupción de 2021 desde la Consejería de Hacienda, Presupuestos y Asuntos Europeos se ha realizado un estudio exhaustivo para valorar económicamente los daños directos producidos. Esta valoración es la que se ha tomado como punto de partida para estimar el coste de rehabilitación de las edificaciones de la isla. En ella, se ha establecido que existe un total de 1.230 inmuebles afectados, destinados a la vivienda y para los que se calculó el valor de reemplazo bruto

empleando el método establecido en la Orden ECO/805/2003 (BOE, 2003), basado en el uso, tipología y calidad del inmueble. Con ello, el valor de reposición medio de las viviendas resulta en 1.145,81€/m<sup>2</sup>.

Teniendo en cuenta que el coste de reemplazo de edificaciones destinadas a otros usos varía con respecto al de la vivienda, para realizar un análisis más exhaustivo, se ha utilizado la metodología empleada por Blong (2003) donde se establece una ratio de coste (RC) en función del uso que se hace de cada edificación. Esta metodología ha permitido calcular el valor por metro cuadrado de una edificación dependiendo de su uso a partir del valor de las viviendas. De esta forma mientras que las viviendas tienen una ratio de coste de 1, por ejemplo, un centro sanitario poseería una ratio de 2 (Tabla 1). El cálculo sería el siguiente:

$$\text{€/m}^2 = \text{RC} \times 1145,81$$

Tabla 1. Ratio de coste

Uso	Ratio de Coste	€/m <sup>2</sup>	Uso	Ratio de Coste	€/m <sup>2</sup>
Vivienda	1	1.145,81	Agrario	0,75	859,36
Sanitario	2	2.291,62	Industrial	1,2	1374,9
Comercial	1,2	1.374,97	Hostelería	1,7	1.947,88
Oficinas	1,6	1.833,3	Deportivo	0,8	916,65
Almacén	0,75	859,36	Cultural	1,1	1.260,3

Fuente Blong (2003). Elaboración propia

Cabe destacar que, para determinar el uso de cada edificación se ha atendido a los datos disponibles en la Sede del Catastro (<https://www.sedecatastro.gob.es/>) y se ha hecho una agrupación de algunos de ellos para ajustarlos a los usos establecidos por Blong (2003).

## 2.2. Análisis de amenazas

### 2.2.1. Movimientos de ladera

Los movimientos de ladera en La Palma, y en Canarias en general, son, principalmente, desprendimientos que afectan a zonas muy localizadas. Sin embargo, cuando se producen de manera súbita, en zonas habitadas y a lo largo de las carreteras pueden ser muy peligrosos y amenazar la integridad de los bienes y la vida de las personas (Melillo *et al.*, 2020). Para realizar un análisis detallado de la susceptibilidad espacial de esta amenaza se ha utilizado un método semi-cuantitativo que engloba diversas variables (pendiente, litología, precipitación y vegetación) consideradas como condicionantes para su desencadenamiento. Estas han sido utilizadas previamente por López-Díez *et al.* (2015) y actualizadas y adaptadas al área de estudio. En este sentido, otros autores ya han demostrado que la pendiente es la variable más importante en el desencadenamiento de movimientos de ladera (Santacana *et al.*, 2015). Seguido de esta, las precipitaciones intensas contribuyen considerablemente con la aparición de desprendimientos en un contexto como el de Canarias (Leyva *et al.*, 2022) y la litología, relacionada sobre todo con la compactación de las estructuras, ostenta el tercer nivel de importancia. Por último, la capacidad de proteger de la erosión y estabilizar pendientes convierte a la vegetación en una variable que no debe de ser olvidada (Goumrassa *et al.*, 2021). En la Tabla 2 se muestran los criterios que se han tenido en cuenta en cada variable y sus ponderaciones.

### 2.2.2. Coladas de lava

Una erupción volcánica puede considerarse un fenómeno multiamenaza debido a que durante su ocurrencia se desencadenan diferentes peligros como piroclastos, cenizas, coladas de lava o gases (Martí, 2017). No obstante, cada uno de esos peligros posee una afección diferente en el territorio. En la última erupción que tuvo lugar en La Palma (2021), las coladas de lava se manifestaron como la amenaza más

importante, pues causaron numerosas pérdidas materiales y económicas al discurrir y desplazarse en un territorio caracterizado por albergar un gran número de edificaciones más o menos dispersas, incluyendo algunos barrios concentrados de cierta densidad edificatoria, con predominio de viviendas unifamiliares no superiores a tres plantas.

Para realizar el cálculo de ocupación probable de coladas de lava, se localizaron los posibles lugares de emplazamientos de futuras erupciones mediante la realización de simulaciones siguiendo una metodología secuencial, teniendo en cuenta el trabajo de Martí et al (2022). De esta manera, en primer lugar se obtiene el mapa de susceptibilidad volcánica y posteriormente se zonifica la peligrosidad a través de la ejecución de simulaciones utilizando un modelo probabilístico (Felpeto, et al., 2001), integrado en la extensión Q-LavHa (Mossoux et al., 2016) sobre el software QGIS. Cabe destacar que el análisis de esta amenaza se ha realizado solamente en la dorsal sur de Cumbre Vieja, que es la que actualmente se considera activa en la isla (Carracedo et al., 2001).

Tabla 2. Variables para el cálculo de movimientos de ladera

Variable	Criterio	Ponderación
Precipitación	Precipitaciones máximas diarias	0,25
Pendiente	Grados	0,3
Litología	Formaciones Mapa Geotécnico de Canarias	0,2
Vegetación	NDVI	0,1

Adaptación de López-Díez et al (2015). Elaboración propia

### 2.2.3. Sismicidad

Para este análisis se ha utilizado un modelo probabilístico (Cornell, 1968) que se ejecuta en el software R-CRISIS (Ordaz et al., 2015) y se han tenido en cuenta tanto los sismos de origen volcánico como tectónico. El modelo implementado en R-CRISIS permite elaborar un análisis de peligrosidad sísmica estableciendo las fuentes sísmicas que afectan al área de estudio y están determinadas por la combinación de las características de la sismicidad, geología, geofísica y tectónica (Ndibi et al., 2021). Basándose en esto, se han determinado tres zonas dentro de la isla, además de las establecidas por González de Vallejo et al. (2006) para el conjunto del archipiélago. Para cada una de las zonas sísmicas establecidas se han calculado los parámetros de la ley Gutenberg-Richter teniendo en cuenta los terremotos mayores a magnitud 3 ( $M_0$ ) registrados desde 1900 hasta 2022 dentro de las zonas sísmicas y disponibles en el catálogo de terremotos del Instituto Geográfico Nacional de España (IGN, 2022).

Además, se han incorporado datos sobre los materiales que se encuentran en la superficie para tener en cuenta el efecto de sitio. La clasificación utilizada fue la realizada por Llorente (2014) a partir del Mapa Geotécnico de Canarias, donde se definió el coeficiente del terreno para cada una de las unidades de las islas. A partir de este, y con lo establecido en La Norma de Construcción Sismorresistente Española (NCSE-02) con relación a la propagación de las ondas, se determinó la velocidad de las ondas elásticas ( $V_s$ ) para cada tipo de estructura geológica (Tabla 3).

Tabla 3. Velocidad de propagación en función de los coeficientes del terreno de cada estructura geológica

Coficiente del terreno	V(m/s)
1	750
1,3	550
1,6	300
2	100

Fuente: Llorente (2014) y NCSE-02. Elaboración propia

### 2.2.4. Inundaciones

Dentro de las amenazas de origen climático, las inundaciones son las que más daño han causado en el archipiélago canario y La Palma no ha sido ajena a ellas (López-Díez et al., 2018). Para realizar el análisis de peligrosidad se ha utilizado el mapa de amenaza hidrológica llevado a cabo por López et al. (2021)

donde se ha realizado una integración de los planes y estudios que se han llevado a cabo desde diferentes administraciones para localizar puntos susceptibles de inundación. Siguiendo la misma metodología, pero utilizando una rejilla de 250 m (la utilizada para el resto del trabajo), se ha hecho una agregación de todos los puntos susceptibles para evaluar las áreas con la mayor probabilidad de inundaciones.

### 2.3. Estimación de pérdidas

El nivel de destrucción y daño que causa cada una de las amenazas es diferente e incluso diferentes niveles de peligrosidad pueden causar diferentes niveles de daño. El coste de rehabilitar una edificación equivale a un coeficiente de 0,3 para la rehabilitación total de acabados, 0,65 para el total de instalaciones y acabados y 1,1 para la rehabilitación total (Llorente Isidro, 2014). Siguiendo estos valores se han establecido los mostrados en la Tabla 4 para el caso en el que nos encontramos.

Tabla 4. Coeficiente de pérdidas en función de cada amenaza y su nivel de peligrosidad

	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
Terremoto	0,05	0,2	0,3	0,5	0,6
Movimientos de ladera	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Inundaciones	0,05	0,1	0,2	0,3	0,35
Coladas de lava	0,9	0,95	1	1,1	1,1

Elaboración propia

Para poder realizar la estimación de pérdidas con un detalle adecuado y útil para los ejercicios de planificación territorial, así como, con una escala que permita asumir resultados de intensidad y probabilidad de las amenazas para llevar a cabo acciones de reducción del riesgo de desastre, se ha utilizado como unidad de análisis la malla estadística de Eurostat, adaptada a Canarias con celdas de 250 x 250 m (ISTAC, 2022). De este modo, se suman los costes totales que se encuentran dentro de cada celda y se realiza la estimación de pérdidas por cada amenaza utilizando la ponderación mostrada en la tabla anterior.

### 3. RESULTADOS

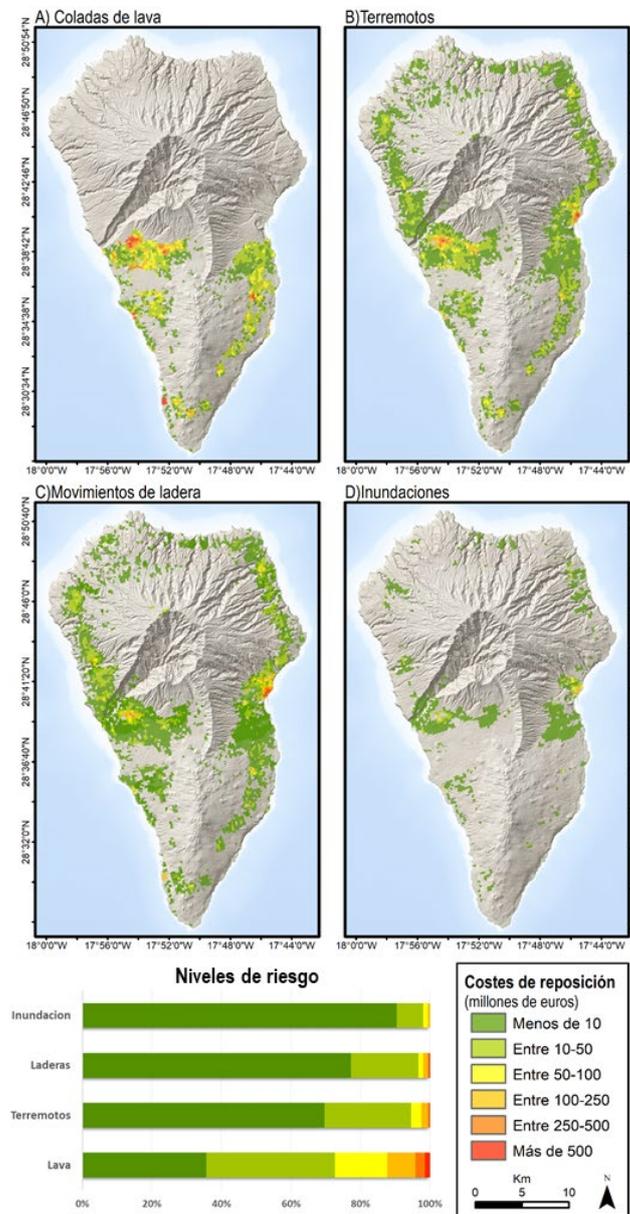
Observando los costes de reemplazo estimados para cada una de las amenazas, a nivel general, se puede distinguir que cada una de ellas trae consigo diferentes niveles de riesgo. (1) El riesgo derivado de los costes causados por la probabilidad de coladas de lava sería el que mayor importancia presenta. Este está presente en el 10,9 % del territorio, de este porcentaje el 4,5 % posee niveles altos o muy altos de riesgo mientras que, en el otro extremo, el 74,9 % alberga niveles bajos o muy bajos. (2) Los terremotos, en una situación intermedia, suponen un riesgo para el 23,9 % de la isla, pero, a diferencia del caso anterior, solo el 0,7 % se encuentra en niveles altos o muy altos de riesgo y el 94,5 % en niveles bajos o muy bajos. (3) El riesgo de movimientos de ladera, con cifras bastante similares a los terremotos, se configura como el tercero más importante, donde un 0,6 % y 96 % del territorio afectado (24,2 % de la isla) ostenta un riesgo alto-muy alto y bajo-muy bajo, respectivamente. (4) En último lugar, el riesgo de inundación solo afecta al 8% de la isla, del cual el 98% se encuentra en niveles bajos de riesgo mientras que, a diferencia del resto, no hay zonas con niveles altos (Tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje del territorio enfrentado a cada nivel de riesgo en función los costes de reposición teniendo en cuenta cada amenaza

		Nivel de riesgo					
		Muy bajo	Bajo	Moderado		Alto	Muy alto
		Menos de 10	Entre 10 y 50	Entre 50 y 100	Entre 100 y 250	Entre 250 y 500	Más de 500
Amenaza	Costes reposición (en millones €)						
	Terremotos	71,7	22,8	2,9	1,9	0,6	0,1
	Lava	38,1	36,8	13,5	7,0	2,8	1,7
	Laderas	77,0	19,4	1,4	1,5	0,4	0,2
	Inundación	90,6	7,4	1,4	0,6	0,0	0,0

Entrando un poco más en detalle y analizando las zonas en riesgo se puede realizar una diferenciación más precisa sobre los distintos costes de reemplazo que trae consigo cada amenaza. En este sentido, el 11,5% de las celdas afectadas por coladas de lava superan los 100 millones de euros, mientras que solo el 38,1% se encuentra por debajo de los 10 millones, un porcentaje muy reducido en comparación con el resto de amenazas. Por su parte, tanto los terremotos como los movimientos de ladera causarían costes muy similares. Estas amenazas, solo superan los 100 millones en el 2,6 % y 2,1 %, respectivamente, ligeramente superior en terremotos, debido a su mayor capacidad de destrucción en las edificaciones, y el 71,7 % y 77 % se encuentran por debajo de los 10 millones. Por último, las inundaciones ni siquiera alcanzan el 1 % (0,6 %) de costes por encima de 100 millones de euros y el 90,6 % se encuentra por debajo de los 10 millones. Cabe destacar que, a pesar de que la porción de territorio susceptible de ser afectado por coladas de lava es menor, la capacidad destructiva de las mismas hace que los costes, y, por tanto, el riesgo, sean mayores. Del mismo modo, hay que tener en cuenta que los periodos de retorno no son los mismos para todas las amenazas analizadas y, que, a pesar de resultar como el riesgo menos importante, la sucesión temporal de eventos de inundación en un mismo lugar es mayor que la de coladas de lava, por lo que no deja de ser una amenaza relevante que no debe ser minusvalorada.

Figura 1. Niveles de riesgo en función de los costes de reposición estimados por amenaza.



Elaboración propia

En general en la parte sur de la isla, correspondiente con la dorsal de Cumbre Vieja, es donde se encuentran los mayores costes de reemplazo, tanto por mayor nivel de amenaza, sobre todo con relación a la actividad volcánica (coladas de lava y terremotos). También el riesgo se ve incrementado por la exposición, debido a que el 80% de la población insular se localiza en esta zona. Destacan especialmente los núcleos urbanos de Los Llanos de Aridane y Santa Cruz de La Palma, principales zonas edificadas de la isla, donde se encuentran las mayores densidades de población y, por tanto, una importante carga constructiva de viviendas, infraestructuras y servicios. En la zona de medianías, especialmente en el norte, por ser un entorno de fuertes pendientes, destacan las pérdidas por movimientos de ladera, que, aunque no alcanzan cifras tan altas como en el sur, debido a la menor cantidad de elementos expuestos, sí que destacan grandes áreas con costes entre los 10 y 100 millones de euros. Algo similar sucede con el riesgo de inundación, donde hay mayores áreas en el norte-centro de la isla, coincidente con zonas donde históricamente han sucedido – como el Barranco las Angustias, el de Las Palomas o el de Las Nieves – debido a la urbanización realizada alrededor de ellos y la canalización artificial de los mismos. De todos estos, la zona que más destaca es el núcleo capitalino afectado por el Barranco de las Nieves.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aunque tradicionalmente los trabajos realizados se centran en la evaluación de los costes en la fase post-desastre (Yu *et al.*, 2015; Molinari *et al.*, 2014; Robinson y Phillips, 2014; Romao y Paupério, 2021, Dou *et al.*, 2021, etc.), este trabajo aporta y contribuye a la construcción de una metodología, utilizada por autores como Blong (2003) o Fedeski y Gwilliam (2007) encaminada a valorar las pérdidas estimadas antes del desastre. Este enfoque es un pilar importante para la reducción del riesgo de desastres, que, sin embargo, no se ha trabajado en profundidad. Aunque la metodología planteada permite una aproximación certera al análisis del riesgo económico a escala local y subregional, hay que tener en cuenta que estos resultados no son cifras exactas debido a la utilización de la ratio de coste y no los valores de reposición exactos. Además, las valoraciones realizadas se refieren solo a la construcción del inmueble y no recoge los bienes materiales que hay en su interior que podría hacer variar el valor de una construcción considerablemente. Del mismo modo, hay que tener en cuenta que el nivel de daño de una construcción también depende de la calidad constructiva de la misma y de la intensidad con la que se manifiesta finalmente la amenaza. No obstante, a pesar de estas cuestiones, esta metodología permite realizar una aproximación acertada a la valoración del riesgo desde una perspectiva económica: localizar los puntos más importantes en los que habría que llevar a cabo acciones de prevención, delimitar zonas donde las pérdidas no sean importantes y poder asentar nuevas poblaciones buscando el equilibrio territorial, poner en marcha el aseguramiento o la preparación de recursos económicos para cuando ocurra el desastre, y, en definitiva, servir como herramienta para la ordenación del territorio. Además, la unidad de análisis utilizada parece la adecuada por cubrir de manera homogénea el territorio y permitir un detalle de análisis adecuado y útil para la planificación territorial, así como, por su capacidad de asumir resultados de intensidad y probabilidad de amenazas y responder a una unidad territorial y estadística de la que se pueden obtener datos sociales y económicos destinados a evaluar la vulnerabilidad.

Tal y como reflejan los resultados, las pérdidas económicas son las consecuencias de la combinación entre nivel de amenaza, causante y desencadenante del daño, y la exposición, que determina la cantidad de pérdidas que engloba el espacio analizado. Por ello, cuando se realizan acciones dirigidas a la reducción del riesgo, no solo es importante actuar frente a la amenaza, como se ha hecho tradicionalmente, sino también, se hace necesario desarrollar acciones y estudios orientados a reducir las condiciones de exposición y vulnerabilidad, los cuáles en los últimos años van cobrando importancia (p.ej. Aksha *et al.*, 2019; Rahaman *et al.*, 2019; Spielman *et al.*, 2020; Cremen *et al.*, 2022). Por otro lado, en este caso, las inundaciones se muestran como la amenaza que menos cantidad de pérdidas causan. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los periodos de retorno son menores que los de las erupciones volcánicas, que como se ha mostrado es la amenaza que más pérdidas causa. Por consiguiente, aunque un solo evento de inundación cause menos pérdidas, la suma reiterada de eventos en un determinado periodo de tiempo, relativamente corto, hace que sea necesario la puesta en marcha de acciones de prevención, mitigación y reducción del riesgo, así como en los ejercicios de planificación territorial.

Finalmente, la metodología propuesta se muestra como un importante recurso de cara a realizar valoraciones del riesgo basado en el coste de los impactos probables. Asimismo, el planteamiento teórico-metodológico que se presenta permite que sea aplicado y replicado en otros ámbitos territoriales con

caracteres similares a los planteados. Y, por último, sirve como aproximación para una vez se ha manifestado la amenaza realizar un análisis más detallado de los daños, partiendo de una base ya construida que puede facilitar y agilizar el proceso.

## REFERENCIAS

- Aksha, S. K., Juran, L., Resler, L. M., Zhang, Y. (2019). An analysis of social vulnerability to natural hazards in Nepal using a modified social vulnerability index. *International Journal of Disaster Risk Science*, 10, 103-116. <https://doi.org/10.1007/s13753-018-0192-7>
- Bernatchez, P., Fraser, C., Lefavre, D., Dugas, S. (2011). Integrating anthropogenic factors, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards. *Ocean & Coastal Management*, 54(8), 621-632. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.06.001>
- Blong, R. (2003). A New Damage Index. *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, 30(1), 1-23.
- BOE, Boletín Oficial del Estado (2003). Orden ECO/805/2003, de 27 de marzo, sobre normas de valoración de bienes inmuebles y de determinados derechos para ciertas finalidades financieras. <https://www.boe.es/eli/es/o/2003/03/27/eco805>
- Carracedo, J. C., Badiola, E. R., Guillou, H., De la Nuez, J. (2001). *Geología y vulcanología de La Palma y El Hierro, Canarias Occidentales*.
- Cornell, A. (1968) Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58(5), 1583-1606. <https://doi.org/10.1785/BSSA0580051583>
- Cremen, G., Galasso, C., McCloskey, J. (2022). Modelling and quantifying tomorrow's risks from natural hazards. *Science of The Total Environment*, 817, 152552. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152552>
- Dou, M., Wang, Y., Gu, Y., Dong, S., Qiao, M., Deng, Y. (2021). Disaster damage assessment based on fine-grained topics in social media. *Computers & Geosciences*, 156, 104893. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2021.104893>
- Eckhardt, D., Leiras, A., Thomé, A. M. T. (2019). Systematic literature review of methodologies for assessing the costs of disasters. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 33, 398-416. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.10.010>
- Fedeski, M., Gwilliam, J. (2007). Urban sustainability in the presence of flood and geological hazards: The development of a GIS-based vulnerability and risk assessment methodology. *Landscape and urban planning*, 83(1), 50-61 <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.05.012>
- Felpeto, A., Araña, V., Ortiz, R., Astiz, M., García, A. (2001). Assessment and modelling of lava flow hazard on Lanzarote (Canary Islands). *Natural Hazards*, 23(2), 247-257. <https://doi.org/10.1023/A:1011112330766>
- Fuchs, S., McAlpin, M. C. (2005). The net benefit of public expenditures on avalanche defence structures in the municipality of Davos, Switzerland. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5(3), 319-330. <https://doi.org/10.5194/nhess-5-319-2005>
- Gonzalez de Vallejo, L. I., García-Mayordomo, J., Insua, J. M. (2006). Probabilistic seismic-hazard assessment of the Canary Islands. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(6), 2040-2049. <https://doi.org/10.1785/0120050139>
- Goumrassa, A., Guendouz, M., Guettouche, M. S. (2021). GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis Approach (GIS-MCDA) for investigating mass movements' hazard susceptibility along the first section of the Algerian North-South Highway. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(10), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07124-0>
- Healy, A., Malhotra, N. (2009). Myopic Voters and Natural Disaster Policy. *American Political Science Review*, 103(3), 387-406. <https://doi.org/10.1017/S0003055409990104>
- HI-EMA (2018). State of Hawaii 2018 Hazard Mitigation Plan. Consultado el 20/12/2022 en: <https://dod.hawaii.gov/hiema/hazard-mitigation-plans/>
- Instituto Canario de Estadística, ISTAC (2022) Malla estadística Eurostat adaptada a Canarias, celdas 250 m de lado. Disponible en <https://datos.canarias.es/catalogos/estadisticas/dataset/malla-estadistica-eurostat-adaptada-a-canarias-celdas-250-m-de-lado>

- Leyva, S., Cruz-Pérez, N., Rodríguez-Martín, J., Miklin, L., Santamarta, J. C. (2022). Rockfall and Rainfall Correlation in the Anaga Nature Reserve in Tenerife (Canary Islands, Spain). *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 55(4), 2173-2181. <https://doi.org/10.1007/s00603-021-02762-y>
- Llorente Isidro, M. (2014). *Evaluación cuantitativa de pérdidas por peligros geológicos. Caso del archipiélago de Canarias: Inundaciones, sismicidad y vulcanismo*. Tesis Doctoral, ETSI\_Energía.
- López-Díez, A., Díaz-Pacheco, J., Dorta, P., Ghersi, D., Martín-Raya, N. M. (2021). Integración cartográfica del riesgo de inundación en la Palma (Islas Canarias). En: *Inundaciones y sequías: Análisis multidisciplinar para mitigar el impacto de los fenómenos climáticos extremos* (pp. 329-342). Universitat d'Alacant/Universidad de Alicante.
- López-Díez, A., Dorta, P., Díaz-Pacheco, J., Caraballo Acosta, O. (2018). Consecuencias de los eventos meteorológicos de rango extraordinario en Canarias: temporales de viento, inundaciones y fenómenos costeros (1996-2016). <http://hdl.handle.net/20.500.11765/9953>
- López-Díez, A., Dorta, P., Romero, C., Díaz-Pacheco, J., (2015). Movimientos de ladera en Canarias. El caso del Macizo de Anaga en el temporal de febrero de 2010. En *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación* (pp. 1725-1734). Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio.
- Martí, J. (2017). *Assessing Volcanic Hazard: A Review*. Oxford Handbooks Online. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190699420.013.32>
- Martí, J., Becerril, L., Rodríguez, A. (2022). How long-term hazard assessment may help to anticipate volcanic eruptions: The case of La Palma eruption 2021 (Canary Islands). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 431, 107669. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107669>
- Melillo, M., Gariano, S. L., Peruccacci, S., Sarro, R., Mateos, R. M., Brunetti, M. T. (2020). Rainfall and rockfalls in the Canary Islands: assessing a seasonal link. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(8), 2307-2317. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2307-2020>
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., Thieken, A. (2010). Review article "Assessment of economic flood damage". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(8), 1697-1724. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-1697-2010>
- Meyer, V., Becker, N., Markantonis, V., Schwarze, R., van den Bergh, J. C., Bouwer, L. M., ... , Viavattene, C. (2013). Assessing the costs of natural hazards—state of the art and knowledge gaps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(5), 1351-1373. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1351-2013>
- Molinari, D., Menoni, S., Aronica, G. T., Ballio, F., Berni, N., Pandolfo, C., Minucci, G. (2014). Ex post damage assessment: an Italian experience. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(4), 901-916. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-901-2014>
- Mossoux, S., Saey, M., Bartolini, S., Poppe, S., Canters, F., Kervyn, M. (2016). Q-LAVHA: A flexible GIS plugin to simulate lava flows. *Computers & Geosciences*, 97, 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.09.003>
- Ndibi, E. D. D., Mbossi, E. F., Wokwenmendang, N. P., Ateba, B., Ndougsa-Mbarga, T. (2021). Probabilistic seismic hazard assessment for the main cities along the continental section of the Cameroon volcanic line. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(9), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07033-2>
- Ordaz M, Martinelli F, Aguilar A, Arboleda J, Meletti C, D'Amico V (2015) Crisis2015 Ver. 1.0: Program for computing seismic hazard. Instituto de Ingeniería, UNAM
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre (UNDRR) (2022). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2022: Our World at Risk: Transforming Governance for a Resilient Future*. Geneva.
- Pan, Q. (2015). Estimating the economic losses of Hurricane Ike in the Greater Houston Region. *Natural Hazards Review*, 16(1), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000146](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000146)
- Papathoma-Köhle, M., Kappes, M., Keiler, M., Glade, T. (2011). Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs. *Natural hazards*, 58, 645-680. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9632-4>
- PDNA(2013). *Post-disaster needs assessment guidelines*. Volume A. Consultado el 27/02/2023 en: <https://www.gfdr.org/en/publication/post-disaster-needs-assessments-guidelines-volume-2013>
- Rahman, S., Islam, M. S., Khan, M. N. H., Touhiduzzaman, M. (2019). Climate change adaptation and disaster risk reduction (DRR) through coastal afforestation in South-Central Coast of Bangladesh. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 30(3), 498-517. <https://doi.org/10.1108/MEQ-01-2018-0021>

- Robinson, J., Phillips, W. (2014). *Assessment of strategies for linking the damage and loss assessment methodology to the post-disaster needs assessment*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/38355>
- Romao, X., Paupério, E. (2021). An indicator for post-disaster economic loss valuation of impacts on cultural heritage. *International Journal of Architectural Heritage*, 15(5), 678-697. <https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1643948>
- Rose, A. (2004). Economic Principles, Issues, and Research Priorities in Hazard Loss Estimation. In: Y. Okuyama, S.E. Chang (eds). *Modelling Spatial and Economic Impacts of Disasters. Advances in Spatial Science*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-24787-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-540-24787-6_2)
- Santacana, N., Baeza, C., Corominas, J., de Paz, A., Marturià, J. (2002): Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales mediante el uso de un sistema de información geográfica. Aplicación a la Población de Lilet (Pirineo Oriental). En: F. Ayala-Carcedo, J. Corominas (eds). *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España*. Instituto Geológico y Minero de España. 55-82
- Spielman, S. E., Tuccillo, J., Folch, D. C., Schweikert, A., Davies, R., Wood, N., Tate, E. (2020). Evaluating social vulnerability indicators: criteria and their application to the Social Vulnerability Index. *Natural Hazards*, 100, 417-436. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03820-z>
- Xie, W., Li, N., Wu, J. D., Hao, X. L. (2014). Modelling the economic costs of disasters and recovery: analysis using a dynamic computable general equilibrium model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(4), 757-772. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-757-2014> .
- Yu, S., Kim, S. W., Oh, C. W., An, H., Kim, J. M. (2015). Quantitative assessment of disaster resilience: An empirical study on the importance of post-disaster recovery costs. *Reliability Engineering & System Safety*, 137, 6-17. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2014.12.007>