

METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD
FÍSICA DE VIVIENDAS
EN BARRIOS URBANOS AUTOPRODUCIDOS

METHODOLOGY FOR ASSESSING PHYSICAL VULNERABILITY
OF DWELLINGS IN URBAN SLUMS

CARLOS ALBERTO PADRÓN CHACÓN

RESUMEN

La investigación surge en los términos de generar una propuesta metodológica para evaluar vulnerabilidad física, específicamente a edificaciones de uso residencial ubicadas en asentamientos urbanos populares y expuestas particularmente a la ocurrencia de movimientos en masa activados por lluvia. Se desarrolla una función que mide la susceptibilidad ante procesos de remoción en masa y el grado de susceptibilidad de los elementos expuestos. La susceptibilidad por movimientos en masa se obtiene a partir de un modelo geoespacial basado en la medición y evaluación de distintas variables fisiográficas para determinar zonas potencialmente inestables. Respecto al grado de susceptibilidad de los elementos expuestos, se obtiene conforme a la ponderación de cuatro factores: la susceptibilidad por el número de niveles o carga que produce la estructura sobre el terreno, la susceptibilidad según diseño y tipología de construcción, la susceptibilidad producida por deterioro y daños en la vivienda y la susceptibilidad del entorno generada por elementos antrópicos, información que se recoge mediante un instrumento denominado ficha de vulnerabilidad física, contentiva de una serie de indicadores asociados a cada factor. Apoyados en los sistemas de información geográficos se realizan operaciones

de álgebra de mapas para obtener el grado de susceptibilidad de los elementos expuestos y la vulnerabilidad física por cada vivienda evaluada.

Palabras clave: Vulnerabilidad física, movimientos en masa, asentamientos urbanos populares, planificación territorial

ABSTRACT

The investigation arises in terms of generating a methodology for assessing physical vulnerability, specifically residential buildings located in popular urban settlements and exposed particularly to the occurrence of mass movements triggered by rain. A function that measures the susceptibility to mass removal processes and the degree of susceptibility of the exposed elements is developed. The mass movements susceptibility is obtained from a geospatial model based on the measurement and evaluation of various physiographic variables to determine potentially unstable areas. Regarding the degree of susceptibility of the exposed elements, is obtained according to the weighting on four factors: susceptibility by the number of levels or load that produces the structure on the terrain, the susceptibility according to design and type of construction, susceptibility produced by deterioration and damage to the dwellings and susceptibility of the environment generated by anthropic elements, information collected by an instrument called a record of physical vulnerability, that contains a series of indicators associated with each factor. Supported in Geographic Information Systems, maps algebra operations are performed to obtain the degree of susceptibility of the exposed elements and physical vulnerability for each evaluated dwelling.

Keywords: Physical vulnerability, mass movements, popular urban settlements, territorial planning

INTRODUCCIÓN

Los movimientos en masa, primordialmente los deslizamientos, actualmente se han convertido en un problema urbano de las principales ciudades latinoamericanas. Cifras para nada alentadoras como las publicadas por el Instituto de Investigación de las Naciones Unidas para el Desarrollo Social (UNISDR) y el Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente de Colombia - Corporación OSSO (2013) indican que durante el año 2011 al menos un 53 % de las viviendas en la región resultaron destruidas por la ocurrencia de deslizamientos y un 28 % de la población perdió la vida a causa del mismo peligro; en valores absolutos, entre el año 2010 y 2011 “se registraron más de 1000 pérdidas de vidas humanas y más de 10 mil viviendas destruidas”.

Al analizar las cifras anteriores, preocupa el hecho cómo algunos países de América Latina y el Caribe, a consecuencia del desarrollo, exponencialmente vienen incrementando la ocupación de los pocos territorios disponibles en las grandes ciudades (Sánchez y Gutiérrez, 2014), espacios que por lo general presentan características topográficas muy abruptas y requieren tratamientos ingenieriles complicados para su uso (Padrón, 2015). No en todos los casos, pero algunos gobiernos y sus instituciones no utilizan estos espacios para desarrollos urbanos o extensión de la ciudad, ya que requieren grandes inversiones en movimientos de tierra y obras de contención; casi siempre, estas áreas se descartan por los altos costos que generan (Vargas, 2014).

Sin embargo, una realidad se vislumbra en la cotidianidad de las poblaciones carentes de tan importante derecho humano: la vivienda, porque lo que podría ser descartado por el estado se convierte en una oportunidad para una población excluida, quienes materializan su necesidad en la ocupación de los espacios sin ningún potencial urbanístico. Así pues, entre tantos factores y circunstancias nacen las llamadas ocupaciones ilegales, invasiones, asentamientos humanos no planificados (Bolívar y Pedrazzini, 2008), en fin, cualquiera sea el término, lo indiscutible es el origen y creación de estos territorios bajo la mirada desinteresada de los gobiernos y sus instituciones.

A partir del inminente crecimiento y desarrollo de la población urbana en zonas de montaña, se propone una metodología con el fin de reducir la vulnerabilidad física de las viviendas autoproducidas expuestas principalmente a la ocurrencia de movimientos en masas. Esta metodología persigue orientar la búsqueda de mejores alternativas compatibles con el desarrollo social, económico y ambiental de los barrios, iniciativa que seguramente servirá a los investigadores, planificadores y tomadores de decisión en la ordenación, distribución y uso de los espacios urbanos de

forma integral e incluyente para el equilibrio y desarrollo de comunidades seguras. El modelo generado, también permitirá orientar a los entes gubernamentales locales (gobernaciones, alcaldías) en un mejor aprovechamiento y uso de la tierra urbana acorde al marco jurídico venezolano.

De acuerdo a Padrón (2015), la vulnerabilidad física está referida al “grado de susceptibilidad de un elemento expuesto que tiende a sufrir deformaciones y cambios en su funcionamiento producto de los esfuerzos cortantes y cargas axiales impuestas ante la ocurrencia de movimientos en masa”. Conforme a esta definición, la propuesta metodológica para el análisis de la vulnerabilidad física ante la ocurrencia de movimientos en masa, consiste en la construcción de un modelo cualitativo para evaluar la susceptibilidad de las viviendas autoproducidas mediante parámetros propios del diseño de la edificación, la localización y características del terreno, así como los procesos antrópicos a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

METODOLOGÍA EMPLEADA

Para el desarrollo de la propuesta metodológica fue necesaria una revisión exhaustiva de metodologías aplicadas por distintos autores y organismos internacionales en los análisis de vulnerabilidad física, en los que destacan: Centro de Prevención de Desastres de México (CENAPRED) (2004), Yee y Ayala (2008), Cifuentes (2011), Instituto Nacional de Defensa Civil de Perú (INDECI) (2011), Cuadros y Zambrano (2012), Maldonado y Chio (2012), Hernández (2013), Ministerio de Minas de Colombia (MINMINAS) (2015), entre otros.

Dicha revisión consistió en comparar las distintas metodologías entre sí, con el fin de diseñar un sistema de variables e indicadores ajustados a la amenaza por movimientos en masa y a la realidad local (caso Venezuela). La definición de variables e indicadores permitió la caracterización y descripción de los factores que originan la vulnerabilidad física, expresados en aspectos cualitativos, es decir, la magnitud de los daños puede ser expresada usando categorías descritas por palabras que representan diferentes niveles, como: severo, moderado, leve e insignificante (Cifuentes, 2011).

Mendoza *et al.* (1999) señalan que “existen diversas metodologías para evaluar la vulnerabilidad física y la mayoría de las cuales se basan en el uso de indicadores que con frecuencia están relacionados a las características de la amenaza (¿a qué?)”, así como también a la escala de análisis y las características específicas de la región o

el sistema ¿qué o quién? (Magaña, 2013), por tanto, elegir los parámetros adecuados y construir dichas relaciones es parte del trabajo necesario en la cuantificación de la vulnerabilidad y para ello se requiere establecer de manera sencilla y objetiva los factores que generan vulnerabilidad, destacando las condiciones físicas del sistema bajo análisis que hacen referencia a su nivel de exposición, sensibilidad y la capacidad de respuesta.

Acorde a los distintos trabajos de investigación revisados, se eligieron un total de 12 variables, observando una significancia común en algunas variables para todos los casos. Las variables tipología de construcción y el sistema estructural de una edificación, respecto a su localización o condición de sitio son las variables comunes en la mayoría de las investigaciones. Su grado de importancia o de uso común en la mayoría de los trabajos supone la evaluación de la relación Suelo-Estructura ante la ocurrencia de los movimientos en masa. Desde las experiencias revisadas, a continuación se presentan de forma sucinta (cuadro 1) el uso de variables e indicadores para la evaluación de la vulnerabilidad física ante movimientos en masa que servirán como base fundamental en la construcción del modelo.

ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA

El desarrollo de la propuesta metodológica para el análisis de vulnerabilidad física pasa inicialmente por la identificación de la amenaza por movimientos en masa, además de la localización espacial de los elementos expuestos en zonas propensas a movimientos en masa, utilizando los Sistemas de Información Geográfica como herramienta de apoyo en la obtención y análisis de la información cartográfica. En particular se usa la información de carácter físico natural relacionada con la zona seleccionada, lo que incluye adquisición de fotografías aéreas, mapas, hojas cartográficas en escalas disponibles, datos climatológicos y datos de población, entre otros.

El análisis de la vulnerabilidad física será el proceso mediante el cual se determinará el nivel de posibles daños y pérdidas ante la amenaza por movimientos en masa. Consistirá en la identificación y evaluación de los elementos vulnerables y la estimación del porcentaje de pérdidas resultantes del peligro analizado. Para esto es importante conocer, cuáles son los factores o causas que generan vulnerabilidad para su eventual reducción.

El estudio detallado de la vulnerabilidad física se realiza con base en un análisis estadístico descriptivo a partir de los datos obtenidos con un instrumento de recolección de datos denominado *ficha de vulnerabilidad física*. A través del instrumento se recoge la información necesaria para evaluar los escenarios de daños

Cuadro 1.
Sistema de Variables e Indicadores

	Dimensión	Variable	Indicador/ Unidad de medición	Importancia
VULNERABILIDAD FÍSICA	Física	DETERIORO DEL ENTORNO	<ul style="list-style-type: none"> • Número de eventos ocurridos • Número habitantes/hectáreas 	Histórico de las condiciones de inestabilidad en sitio y número de personas expuestas.
		CONDICIÓN DE SITIO	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas susceptibles a movimientos en masa. 	Evaluar geología, relieve, pendiente, clima, vegetación, hidrografía.
		ALTURA	<ul style="list-style-type: none"> • Número de Pisos 	Permite evaluar cargas verticales y laterales sobre el terreno.
		SISTEMA ESTRUCTURAL	<ul style="list-style-type: none"> • Número de sistemas estructurales (1 al 4). • Tracción, resistencia, dureza, rigidez, elasticidad (mm, N/m², N/m, K/N) 	Conocer las características constructivas de las viviendas y su resistencia ante los movimientos en masa.
		ESTADO DE CONSERVACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Años de construcción 	Fragilidad de la estructura ante las fuerza de carga ejercida por el empuje de material.
		TIPOLOGÍA	<ul style="list-style-type: none"> • Tracción, resistencia, dureza, rigidez, elasticidad (mm, N/m², N/m, K/N) 	Conocer los materiales predominantes utilizados en la construcción en cada estructura.
		DAÑOS ESTRUCTURALES	<ul style="list-style-type: none"> • Número de eventos 	Determinar diferentes daños generados por las sollicitaciones del terreno.
		DESECHOS SOLIDOS	<ul style="list-style-type: none"> • Toneladas/hectáreas 	Permite evaluar como el factor antrópico incide en la aceleración de los movimientos en masa.
		SISTEMAS PÚBLICOS/SERVICIOS	<ul style="list-style-type: none"> • Años de servicio 	Evaluar daños en los sistemas de aguas por eventos anteriores y su incidencia actual en la aceleración de los movimientos.
		CATASTRO URBANO	<ul style="list-style-type: none"> • Número Estructuras/Sector 	Ubicación espacial y territorial de las estructuras.
	Social	POBLACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de Habitantes/ Estructura 	Identificar por vivienda la cantidad de personas y familias que habitan.
DENSIDAD		<ul style="list-style-type: none"> • Habitantes/Ha 	Espacializar por unidad territorial la densidad de población y familias.	

Fuente: Padrón (2015).

y pérdidas potenciales ante movimientos en masa de las principales localidades del área en estudio.

Asimismo, para el respectivo análisis de vulnerabilidad física según las variables e indicadores desarrollados, se establecen rangos de medición a través de métodos heurísticos con apoyo de estadísticas del total de los datos obtenidos en campo según el caso de estudio. De igual manera, con el uso de programas básicos para cálculos estadísticos (Microsoft Excel y SPSS), se diseñan distintas combinaciones matriciales de los indicadores a fin de obtener las valoraciones por cada indicador evaluado, dando como resultado factores cuantificables que serán usados para el discernimiento del nivel de vulnerabilidad física de las edificaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diseño del modelo desarrollado se apoya en los fundamentos teóricos de Uzielli *et al.* (2008), así como en Du y Nadim (2013) para la evaluación de movimientos en masa usando métodos cuantitativos, con el fin de obtener curvas de daños en los análisis de vulnerabilidad física en función de la susceptibilidad de los elementos expuestos y la intensidad del evento. En tal sentido, el objetivo del presente trabajo de investigación no persigue alcanzar índices de vulnerabilidad, menos diseñar curvas de daños, sin embargo, el modelo propuesto para la presente investigación, adopta la función original de Du y Nadim (2013) ajustado con base en las variables consideradas en el cuadro 1.

De los estudios previos propuestos por Uzielli *et al.* (2008) y Du y Nadim (2013), plantean que la susceptibilidad de los elementos expuestos y la intensidad del evento permiten el cálculo de la vulnerabilidad física, donde a su vez, el método para la obtención de ambas funciones dependen de un grupo de factores determinantes. En cuanto a la susceptibilidad (de las edificaciones) depende de 4 factores, que son: el referente al tipo de estructura, al estado de conservación, a causa del año de construcción y el relativo a la dirección del movimiento respecto a la posición longitudinal de la estructura.

Adoptando el modelo de Du y Nadim (2013) se propone como modelo cualitativo para la evaluación de vulnerabilidad física ante la ocurrencia de movimientos en masa la siguiente ecuación, ajustada a los factores inherentes de la realidad local del territorio y al sistema de variables diseñado. Se tiene entonces:

$$V_f = f(Se, S) \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

Vf: Vulnerabilidad Física

Se: Susceptibilidad de los elementos expuestos

S: Susceptibilidad a movimientos en masa (referido a la amenaza)

Entendiendo que para el modelo propuesto, la vulnerabilidad física será función de la *susceptibilidad* (elementos expuestos) y de la susceptibilidad ante la ocurrencia de los movimientos en masa. Ahora bien, de acuerdo a la ecuación 1, para la obtención del factor de susceptibilidad a los elementos expuestos, se propone la ecuación modificada y ajustada por Padrón (2015). Para ello, se define al grado de susceptibilidad de los elementos expuestos como:

$$GSe = 1 - (1-SEst)*(1-SN)*(1-SDet)*(1-SEnt) \quad (ec.2)$$

Donde:

GSe: Grado de susceptibilidad de los elementos expuestos

SN: Susceptibilidad producida por el número de niveles en la estructura

SEst: Susceptibilidad por la tipología de construcción

SDet: Susceptibilidad producto del deterioro de la estructura

SEnt: Susceptibilidad del entorno adyacente a la estructura.

Como bien se puede observar, partiendo de la ecuación 1, original de Du y Nadim (2013), los factores de susceptibilidad según el tipo de estructura y la susceptibilidad por el estado de conservación se mantienen como parte del fundamento propio de la ecuación, no obstante, a propósito del modelo propuesto para la presente investigación, el factor de susceptibilidad respecto al año de construcción se sustituye por el factor de susceptibilidad provocado por el entorno adyacente a la estructura evaluada.

Dicho cambio se propone en función de que para Venezuela utilizar la variable *año de construcción* está referida específicamente al cumplimiento de la norma sismorresistente, o en su defecto, para evaluar la vida útil de la edificación. Ante la ocurrencia de eventos sísmicos o movimientos en masa, aunque los daños pudieran ser similares, hay que dejar claro que los procesos son distintos. De igual manera, se presume que las zonas urbanas populares no cumplen con las normativas técnicas de sismorresistencia, por ende, también se desconoce alguna norma constructiva que avale su estabilidad ante cualquier otro evento.

SUSCEPTIBILIDAD POR TIPOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN (SEST)

Para obtener el factor de susceptibilidad por la tipología de construcción se adopta la propuesta de Heinimann (1999) sobre la clasificación de los distintos diseños constructivos, ajustado en la presente investigación a partir de las normativas técnicas vigentes en cuanto a las tecnologías constructivas, entre las que se destacan: Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) 2002-1988 (Criterios y Acciones Mínimas para el proyecto de edificaciones); COVENIN 1618-1998 (Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites); COVENIN 1756-2001 (Edificaciones Sismorresistentes) y COVENIN 1753-2006 (Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural). Asimismo, de acuerdo a Grases *et al.* (2010) y Sánchez (2004) se clasifican las tipologías constructivas en Venezuela de interés social.

Sánchez (2004) señala que el proceso evolutivo de los diferentes sistemas constructivos empleados en nuestro país, para el desarrollo de viviendas de interés social comprende dos grupos: los sistemas constructivos tradicionales artesanales y los sistemas constructivos industrializados. Referente a los sistemas tradicionales, estos se caracterizan por el uso de los materiales constructivos como el adobe, tapia y bahareque. Por otra parte, los sistemas industrializados se clasifican en sistemas constructivos tradicionales, sistemas constructivos prefabricados y los sistemas constructivos especiales.

Es importante resaltar que los sistemas de construcción tradicional son los más usados como técnica constructiva en las zonas de barrios, las cuales originalmente partieron de viviendas tipo *rancho*, definido según el Instituto Nacional de Estadística en Venezuela (INE), (2013) como “local utilizado para vivienda familiar construido con materiales de desecho tales como tablas, cartón, caña y similares”, y con el tiempo se han ido modificando con base en el desarrollo de la ciudad, entre otros factores. Es por eso que hoy día podemos encontrar zonas urbanas con precarias condiciones de habitabilidad dado al gran número de viviendas tipo “ranchos”, más aún en zonas inestables; en este sentido, como parte de la investigación se tomará en cuenta la evaluación y ubicación de este tipo de vivienda.

Partiendo de la clasificación de Heinimann (1999) y con base en las normas técnicas de Venezuela, así como la clasificación de Sánchez (2004), se definen las tipologías constructivas a caracterizar en la presente investigación y así obtener el factor de susceptibilidad relativo a la tipología constructiva (cuadro 2).

Cuadro 2.
Factor de susceptibilidad de estructuras según Heinimann (1999)

TIPOLOGIA ESTRUCTURAL	RESISTENCIA	Factor S_{Est}
Estructuras Simples	Extremadamente baja	1.00
Estructuras ligeras	Muy baja	0.90
Mampostería No Confinada y Estructuras Híbridas	Baja	0.70
Mampostería Confinada	Media	0.50

Fuente: Tomado y modificado de Heinimann (1999).

De acuerdo a datos tomados como soporte de MINMINAS (2015), se define cada tipología constructiva (cuadro 2).

- **Construcciones simples:** consisten en edificaciones que no poseen una estructura definida, de carácter improvisado, generalmente construidas utilizando materiales precarios o de recuperación. Entre estas se incluyen las edificaciones en proceso de construcción y las construidas con materiales de recuperación (tipo rancho).
- **Construcciones ligeras:** Son edificaciones construidas con materiales tradicionales o de baja calidad, con un sistema estructural de muros cargueros. Dentro de esta tipología se incluyen las edificaciones construidas con materiales como adobe, bahareque, madera bruta y las estructuras livianas prefabricadas.
- **Mampostería No Confinada y Estructuras Híbridas:** Sistema de muros portantes de unidades de mampostería de arcilla o concreto, unidas por medio de mortero, que no presenta confinamiento con elementos de concreto reforzado. Los sistemas híbridos o mixtos se corresponden a dos o más sistemas estructurales y no se determina uno como predominante. No se consideran las construcciones ligeras ni las construcciones simples.
- **Mampostería Confinada:** Sistema de muros de unidades de mampostería de perforación vertical, perforación horizontal o maciza, ya sean de arcilla o concreto, unidas por mortero. Se construye utilizando muros de mampostería rodeados de elementos de concreto reforzado vaciados después de la ejecución del muro y que actúan monolíticamente con este. También se considera la mampostería estructural confinada con perfiles de acero, que consiste en un “sistema estructural de muros portantes, constituido por paredes de

mampostería y confinados con perfiles de acero. El muro así ensamblado se considera un elemento portante capaz de resistir las acciones provenientes de cargas verticales” (Acosta, 2014).

SUSCEPTIBILIDAD POR NÚMERO DE NIVELES (SN)

Algunos autores refieren cómo se comporta una estructura de acuerdo a la cantidad de niveles y en la mayoría de los casos reportan que la relación depende del tipo de movimiento y la ubicación del elemento respecto a la amenaza. Por ejemplo, si ocurren deslizamientos independientemente del número de niveles, la estructura podría verse afectada seriamente, en cambio un movimiento tipo flujo probablemente ocasione impacto en los niveles más bajos si se trata de una edificación de varios niveles. De acuerdo a los trabajos de Cifuentes (2011) y Cuadros y Zambrano (2012), las estructuras simples o confinadas con máximo 2 niveles tienen un comportamiento favorable ante las sollicitaciones del terreno, considerando además que estructuras con más de 2 niveles podrían sufrir efectos de desplazamientos verticales y cargas laterales que comprometan su estabilidad durante el movimiento del terreno.

Cuadro 3.

Factor de Susceptibilidad (SN) por el Número de Niveles

Número de Pisos	Factor
≤ 2	0.05
3	0.60
> 4	0.90

Fuente: Tomado y modificado de MINMINAS (2015) y adaptado según Cifuentes (2011) y Cuadros y Zambrano (2012).

A partir de estas consideraciones, y con base en la propuesta de MINMINAS (2015) adaptada para el presente trabajo, se tiene que para el factor de susceptibilidad por el número de niveles se categorizan 3 renglones con su correspondiente factor (cuadro 3). Importante detallar que la propuesta de MINMINAS (2015) categoriza en cuanto a la tipología constructiva; para efectos de la presente investigación se hace una adaptación con base en el trabajo de Cifuentes (2011) y Cuadros y Zambrano (2012) para el número de niveles y su comportamiento.

Un aspecto a tomar en cuenta, aunque el factor susceptibilidad por el número de niveles lo que indica es justamente cómo podría comportarse la estructura durante un movimiento producido por las sollicitaciones del terreno, este factor puede ser un valor intrínseco del número de personas en una estructura respecto a sus condiciones de habitabilidad.

SUSCEPTIBILIDAD POR DETERIORO Y DAÑOS EN LA ESTRUCTURA (SDet)

Como bien se conoce, toda construcción o toda obra de ingeniería tiene una vida útil y esta condición depende del estado de conservación y mantenimiento a la que se someta. En las zonas urbanas populares particularmente, esta condición es uno de los factores que propician mayor susceptibilidad del elemento expuesto, debido a la manera como fue el proceso de ocupación del espacio, por la falta de planificación, o quizás más grave, sin el mínimo reconocimiento del espacio.

Cuadro 4.

Factor de Susceptibilidad por Daños y Deterioro en la Estructura (SDet)

Descripción	Factor
No se observan evidencias de daños en la estructura, mampostería y acabados.	0.00
Daños superficiales solamente en los acabados.	0.05
Deformaciones leves. Se aprecian fisuras no mayor a 1mm.	0.25
Deformaciones moderadas (Pandeo de los elementos estructurales)	0.50
Deformaciones graves en la estructura por inclinaciones fuera de su plano vertical.	0.75
Deformaciones muy graves en la estructura y mampostería con fallas por aplastamiento.	1.00

Fuente: Tomado y modificado de Du y Nadim (2013).

Si bien se está considerando evaluar las estructuras expuestas a los movimientos en masa, solo el hecho de un estado precario en su conformación física puede ser el causante ante cualquier evento de un hecho lamentable para la población. De allí que la población juega un papel preponderante en el cuidado y mantenimiento de la edificación, que a su vez repercute en el hábitat y el sistema ambiental. En tal sentido,

según la propuesta de Du y Nadim (2013) se describen los factores de susceptibilidad generados por los daños y el deterioro de la estructura (cuadro 4).

SUSCEPTIBILIDAD POR FACTORES DEL ENTORNO (SENT)

La propuesta original de Du y Nadim (2013) considera el factor de susceptibilidad que produce la direccionalidad del movimiento en masa sobre el elemento expuesto, factor que se consigue únicamente con ensayos muy específicos en el terreno, por mencionar, la superficie de despegue de un deslizamiento donde se mide el ángulo, así como la velocidad a la que se mueve el terreno desplazado. Todas estas consideraciones además de ser complejas en su determinación son aplicables para modelos cuantitativos, ya que se requiere de la rigurosidad de los datos para el diseño de las curvas de vulnerabilidad. Por otra parte, para analizar la susceptibilidad que produce la direccionalidad del movimiento en masa se considera que ocurre en condiciones naturales, sin tomar en cuenta los factores antrópicos. En ese sentido, ya que para la presente investigación no se puede determinar tal información, se propone evaluar la susceptibilidad que se origina en el entorno de la estructura evaluada provocada por los factores antrópicos según el cuadro 5.

Cuadro 5.
Factor de Susceptibilidad por el Entorno y Factores Antrópicos (SEnt)

Descripción	Factor
No se observan daños en el entorno o de elementos que puedan comprometer a la estructura.	0.00
Se observan procesos naturales y antrópicos que dan indicios de movimientos en el terreno sin afectaciones a la estructura.	0.30
Se observan evidencias físicas que pueden comprometer la estabilidad de la estructura y de los elementos expuestos en las adyacencias.	0.60
Factores y procesos que comprometen la estabilidad de la estructura y de las estructuras adyacentes.	0.90

Fuente: Padrón (2015).

GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS

Según los cuadros correspondientes a cada factor de susceptibilidad (cuadros 2, 3, 4 y 5) los datos estructurados en la base de datos se asocian para la obtención del grado de susceptibilidad. Cada uno de los ítems evaluados tiene un peso asignado de acuerdo al criterio y experticia del autor de la presente investigación utilizando técnicas de análisis multicriterio (método heurístico), tomando en consideración valores entre 0 y 1 para cada campo, entendiendo que el valor 1 se considera mayor probabilidad de daño y 0 no produce daño.

Con los factores definidos para cada tipo de susceptibilidad (en relación a los elementos expuestos según los cuadros 2, 3, 4 y 5), se crea una base de datos usando el sistema manejador de bases de datos *Microsoft Access* (para realizar consultas usando el Lenguaje de Consulta Estructurado SQL), con el fin de automatizar las operaciones aritméticas de acuerdo a los factores que arrojó el proceso de validación de los ítems seleccionados, generando así el grado de susceptibilidad de los elementos expuestos según el cuadro 6.

Cuadro 6.
Grado de susceptibilidad de los elementos expuestos

GS_E	Rango
<i>Muy Alta</i>	0.56-1.00
<i>Alta</i>	0.21-0,55
<i>Media</i>	0.06-0.20
<i>Baja</i>	0.00-0.05

Fuente: Tomado y modificado de MINMINAS (2015).

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA CON EL USO DE SIG

La vulnerabilidad física se obtiene a partir de los datos levantados y disponibles en la base de datos relacional creada (datos SQL), donde a cada estructura se le asocia el grado de susceptibilidad (**GSE**) respecto al código catastral como referencia espacial. La estructura de datos diseñada permite correlacionar cada uno de los datos levantados respecto a la ubicación espacial de la parcela (código catastral) indispensables para la determinación de la vulnerabilidad física de las estructuras. Los datos cargados y disponibles en la base de datos, ahora se deben convertir en datos geográficos, por lo que se propone la siguiente metodología. Con el uso del programa ArcGis 9.3 se convertirá la información atributiva obtenida por análisis SQL a información espacial, y a su vez, se realizará la unión de los datos convertidos en función de la cartografía temática de susceptibilidad a movimientos en masa (figura 1).

Figura 1.
Diagrama de procesos para determinar la vulnerabilidad física



Sistematizando la información referente al grado de susceptibilidad de los elementos expuestos y la susceptibilidad a movimientos en masa, se categorizan y describen los niveles de vulnerabilidad que serán usados como resultados finales de la presente investigación. De la misma forma, los colores aplicados identificarán el nivel en la cartografía temática de salida luego de realizados cada uno de los procesos descritos en la propuesta metodológica, como también cada color tiene un valor asociado del 1 al 4, siendo la relación: 1 (verde), 2 (amarillo), 3 (anaranjado) y 4 (rojo). Estos valores adimensionales son usados tanto en la base de datos como en la tabla atributiva de la herramienta SIG para correlacionar los resultados obtenidos de acuerdo a cada nivel y etiquetar la cartografía temática según cada nivel (cuadro 6).

Cuadro 6.
Niveles de vulnerabilidad y descripción

VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
BAJA	Estructura que cumple con las normativas vigentes de construcción localizadas en zonas topográficamente estables o cuentan con obras ingenieriles de contención (las ubicadas en cortes o terraplén). Las estructuras presentan buen estado de conservación y no exhiben daños aparentes producto de las sollicitaciones impuestas por el terreno. Las edificaciones cuentan con sistemas de aguas blancas y servidas empotrados sin que produzcan afectaciones al entorno.
MEDIA	Edificación reforzada localizada en zonas topográficamente estables pero no cuentan con obras de contención. La estructura presenta indicios de deterioro superficial solo en los acabados. Se observan procesos naturales y antrópicos leves que pudieran propiciar movimientos del terreno sin afectaciones a la estructura.
ALTA	Edificaciones de construcción tradicional (con más de 2 niveles) de las tipologías constructivas mampostería confinada, no confinada o mixta, así como estructuras ligeras. Se localizan en zonas susceptibles ante la ocurrencia de movimientos en masa, por lo que se evidencian daños moderados a fuertes en la estructura que comprometen su estabilidad. Se observan daños evidentes en el entorno inducido por el factor antrópico. Las estructuras pueden estar adosadas a otras edificaciones con defectos constructivos.
MUY ALTA	Estructuras construidas con los sistemas de mampostería confinada, no confinada o mixta, estructuras ligeras y construcciones simples localizadas en zonas susceptibles ante la ocurrencia de movimientos en masa. Se observan daños graves en la estructura y un marcado deterioro de los elementos que la componen. En el entorno se observan daños de consideración que inciden en la aceleración de los movimientos del terreno, como grietas y hundimientos. Las edificaciones no cuentan con un sistema o red de aguas blancas o servidas, y de tenerlo se encuentra en un estado precario.

CONCLUSIONES

A lo largo de la investigación se precisó que los movimientos en masa serán a futuro a consecuencia del desarrollo, si no el principal, el más importante problema urbano de las ciudades ubicadas en zonas de montaña. Sin embargo, las comunidades expuestas a movimientos en masa no necesariamente se consideran en riesgo, por tanto, identificar las áreas potencialmente susceptibles a esta amenaza ejecutando acciones de planificación, control y seguimiento bajo las normativas vigentes de construcción permitirán reducir la vulnerabilidad, incluso modificar patrones de ocupación urbana.

El diseño de la propuesta metodológica se instituye en una función que depende del grado de susceptibilidad de los elementos expuestos y la susceptibilidad ante la ocurrencia de movimientos en masa a partir del enunciado de Du y Nadim (2013) evaluando 4 factores: el número de niveles en la estructura, la tipología de construcción, el daño físico (deterioro) de la estructura y el entorno adyacente a las edificaciones. Cada uno de estos factores de susceptibilidad se evalúan por separado de acuerdo a las variables e indicadores diseñados para la presente investigación, medidos con valores entre 0 y 1 usando tablas descriptivas que detallan el nivel de daño potencial ante la ocurrencia de un movimiento generador de fuerzas o sollicitaciones sobre la estructura.

La calibración del modelo en relación a las edificaciones previstas bajo las normativas técnicas venezolanas o en su defecto, según la cultura constructiva de los últimos años en los barrios autoproducidos, permite evaluar a través del grado de susceptibilidad del elemento expuesto significativamente condiciones propicias para intervenir las estructuras, así como predecir posibles daños ante la ocurrencia de movimientos en masa.

De igual manera, el modelo generado alcanza niveles de precisión en cuanto a la ubicación de los elementos expuestos, partiendo de la localización respecto a la amenaza evaluada, es decir, tiene mucha significancia la escala de trabajo y la escala de salida de la información cartográfica. En tal sentido, esta investigación incentiva la acción estatal, municipal y comunal para impulsar programas de rehabilitación, mejoramiento, sustitución de viviendas y/o reasentamiento de familias en zonas de barrios expuestas a movimientos en masa, promoviendo la ocupación sustentable del espacio vital en favor de fortalecer la gestión del desarrollo comunal, la ocupación armónica del hábitat, el equipamiento urbano y la gestión de riesgos.

En definitiva, se presenta una propuesta metodológica capaz de arrojar resultados óptimos al evaluar viviendas autoproducidas usando como principio

métodos cualitativos, sin que esto implique a futuro nuevos ajustes y calibraciones adicionando nuevas variables, indicadores, como también la medición de estos con mayor precisión.

AGRADECIMIENTOS

A la Alcaldía del Municipio Bolivariano Libertador a través del Instituto Municipal de Gestión de Riesgos y Administración de Desastres (IMGRAD). Un reconocimiento muy especial a la Dirección de Gestión de Riesgos, a todo su personal, técnico, administrativo y obrero. Asimismo, a la Universidad Central de Venezuela, la Facultad de Humanidades y Educación, la Comisión de Postgrado y a todo el personal docente y administrativo de la Escuela de Geografía, en particular a la Dra. Virginia Jiménez por su paciencia, consejos y orientaciones técnicas en la elaboración de la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, D. (2014). *Vivienda de mampostería confinada con perfiles de acero*. 1ra edición. Biblioteca popular de sismología Venezolana. Vivienda segura ante amenazas naturales. *Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas-FUNVISIS*. Caracas.
- BOLIVAR, T. y PEDRAZZINI, Y. (2008). La Venezuela urbana. Una mirada desde los barrios. *Bitácora* 12 (1) 2008: 55 - 76.
- CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED). (2006). *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos*. Serie Atlas Nacional de Riesgos. Vol. 1, Versión 2004. Documento en línea. Disponible en: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/57.pdf> [Consultado: 2014, noviembre 10]
- CIFUENTES, D. (2011). *Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos, asociada a deslizamientos*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN 1618) (1999). Estructuras de acero para edificaciones. Método de los estados límites.

- FONDONORMA. Ministerio del Desarrollo Urbano. Dirección general sectorial de edificaciones. Caracas.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN 1756) (2001). *Edificaciones sismorresistentes*. FONDONORMA. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Caracas.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN 1753) (2006). *Estructuras de concreto armado para edificaciones. Análisis y diseño*. FONDONORMA. Caracas.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN 2002) (1988). *Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones*. FONDONORMA. Ministerio del Desarrollo Urbano. Caracas.
- CUADROS, A. y ZAMBRANO, S. (2012). *Metodología para la cuantificación de pérdidas económicas en corredores viales por deslizamientos y avalanchas: Caso piloto aplicado a tres tramos de la vía concesionada Bogotá-Villavicencio para deslizamientos superficiales* (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá-Colombia.
- DU, Y. y NADIM, L. (2013). Quantitative vulnerability estimation for individual landslides. *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. París.
- GRASES, J.; GUTIÉRREZ, A. y SALAS, R. (2010). Historia de la Ingeniería Estructural en Venezuela. *Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat*. Boletín 20. Caracas.
- HEINIMANN, H.R. (1999). *Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren-Fallbeispiele & Daten*. Umwelt-Materialien NR. 107/II. Naturgefahren.
- HERNÁNDEZ, Y. (2013). *Caracterización y análisis de la amenaza y vulnerabilidad Física por taludes y laderas inestables en la microcuenca de la quebrada cay, Ibagué, departamento del Tolima*. Trabajo de Grado de Maestría. Universidad del Tolima. Colombia.

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO SOCIAL (UNISDR) y OBSERVATORIO SISMOLÓGICO Y GEOFÍSICO DEL SUR OCCIDENTE DE COLOMBIA CORPORACIÓN OSSO (2013). *Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe, 1990-2011. Tendencias y estadísticas para 16 países*. Documento en línea. Disponible en: http://eird.org/americas/noticias/Impacto_de_los_desastres_en_las_Americas.pdf [Consultado: 2015, julio 10]

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL DE PERÚ (INDECI). (2011). Manual de estimación del riesgo ante movimientos en masa en laderas. *Cuaderno técnico N° 3. INDECI*. Dirección Nacional de Prevención de Perú. Documento en línea. Disponible en: <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1744/doc1744.htm> [Consultado: 2015, febrero 10]

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE) (2013). *Metadatos de vivienda como unidad de observación*. Gerencia General de Estadísticas Demográficas. Caracas.

MAGAÑA, V. (2013). *Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y PNUD-México. Documento en línea. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx> [Consultado: 2014, septiembre 11]

MALDONADO R. Y CHIO CHO, G. (2012). *Índice de vulnerabilidad estructural ante los efectos de remoción en masa en edificaciones de mampostería basado en conjuntos difusos*. Rev. ing. constr. vol.27, n.1, pp. 23-39.

MENDOZA, G.A.; MACOUN, P.; PRABHU, R.; SUKADRI, D.; PURNOMO, H.; HARTANTO H. (1999). *The Criteria & Indicators Toolbox Series Guidelines for Applying Multi-Criteria Analysis to the Assessment of Criteria and Indicators*. Center for International Forestry Research (CIFOR). Documento en línea. Disponible en: http://www.cifor.org/livesinforessts/publications/pdf_files/toolbox-9c.pdf [Consultado: 2014, noviembre 11]

MINISTERIO DE MINAS DE COLOMBIA (MINMINAS) (2015). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.

- PADRÓN, C. (2015). *Propuesta metodológica para el análisis de vulnerabilidad física ante movimientos en masa. Caso estudio: asentamientos urbanos populares de la Carretera Vieja Caracas-La Guaira*. Trabajo de Grado de Maestría. Facultad de Humanidades y Educación. UCV. Caracas. Venezuela.
- SÁNCHEZ, L. Y GUTIÉRREZ, A. (2014). Potencialidades de la participación en la construcción de ciudad desde intervenciones urbanas en asentamientos precarios. *Revista América Latina Hoy*. N° 68. Pp 119-136.
- SÁNCHEZ, M. (2004). *Estudio de los diferentes sistemas constructivos aplicados al desarrollo de viviendas de interés social en Venezuela: vivienda productiva para el sector "La Toma" Municipio Rangel del Estado Mérida* (Tesis de grado). Escuela de Arquitectura. Universidad de Los Andes. Mérida.
- UZIELLI, M., NADIM, F., LACASSE, S. y KAYNIA, A. M. (2008). A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. *Engineering Geology* 102: 251-256.
- VARGAS, N. (2014). El asentamiento irregular como principal fuente de crecimiento urbano en Bolivia: entre ilegalidad y constitucionalidad. *Revista América Latina Hoy*. N° 68. Pp 57-78.
- YEE, J. Y AYALA, R. (2008). *Zonificación de áreas susceptibles y niveles de vulnerabilidad ante amenazas del tipo movimientos de masa y desbordes por crecidas, en el trayecto urbano de la Quebrada Milla (parroquia Milla, edo. Mérida)*. Trabajo de grado. Universidad de los Andes. Venezuela.

CARLOS ALBERTO PADRÓN CHACÓN. Realizó estudios de Ingeniería Geológica en la Universidad Central de Venezuela. Es Magíster Scientiarum en Análisis Espacial y Gestión del Territorio y por recibir el título académico de la Maestría en Ciencias Geológicas. Es Doctorando en Urbanismo (Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UCV). Actualmente es el Director de Gestión de Riesgos del Instituto Municipal de Gestión de Riesgos y Administración de Desastres (IMGRAD)-Alcaldía de Caracas y Docente Instructor en el programa de formación de grado en Arquitectura de la Universidad Bolivariana de Venezuela.

carlospadron2502@gmail.com