



**APLICACIÓN DE LOS SIG EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS DE DESASTRES
GENERADOS POR AMENAZAS NATURALES Y ANTRÓPICAS: UNA REVISIÓN
BIBLIOGRÁFICA**

Valerya Luna Marin

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Medio Ambiente y Geoinformática

Asesor

Juan Jose García Duque, Especialista (Esp) en Medio Ambiente y Geoinformática

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática
Medellín, Antioquia, Colombia
2023

Cita

(Luna Marin V, 2022)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Luna Marin, V. (2023). Aplicación de los SIG en el análisis de Riego de Desastres generados por Amenazas naturales y antrópicas: Una Revisión Bibliográfica [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática, Cohorte XVII.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: Jhon Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	6
Abstract	7
Introducción	8
1 Planteamiento del problema.....	10
2 Justificación.....	11
3 Objetivos	12
3.1 Objetivo general	12
3.2 Objetivos específicos.....	12
4 Marco teórico	13
5 Metodología	22
6 Resultados	24
7 Conclusiones	25
8 Recomendaciones.....	27
Referencias	28

Lista de figuras

- Figura 1.** Esquema metodológico para la elaboración de estudios básicos de amenaza y definición de zonas para la elaboración de estudios detallados 15
- Figura 2.** Uso de los SIG para la combinación cualitativa y de ponderación de capas y mapas. .18
- Figura 3.** Representación gráfica de los componentes de amenaza.21

Siglas, acrónimos y definiciones

Amenaza	Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Ley 1523 de 2012).
Desastre	Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción (Ley 1523 de 2012).
Gestión del Riesgo	Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entendiéndose: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible (Ley 1523 de 2012).
SIG	Sistemas de Información Geográfica

Resumen

El análisis de Riesgos de Desastres se ha convertido en una temática de interés a nivel global por los impactos negativos que pueden tener en el entorno. Los Sistemas de Información Geográficos (SIG) se han convertido en una de las herramientas más útiles en el análisis de riesgo de desastres, debido a que han permitido realizar estudios de conocimiento y prevención del riesgo para poder determinar probabilidad, posibles consecuencias y áreas de afectación probable ante la ocurrencia de eventos amenazante. Los SIG además, permiten aplicar y diseñar distintas metodologías multicriterio según el tipo amenaza a evaluar y nos arrojan resultado tales como: Riesgo total, vulnerabilidad y prolongación en tiempo y espacio. El uso de distintas metodologías SIG (Reclasificación, teledetección, heurísticas, superposición, otras) para el estudio de una misma amenaza, abre brechas al momento de realizar el análisis, generando la necesidad de identificar y conocer el diseño de cada una de las metodologías y de esta forma escoger la más idónea para cada amenaza. Se hace necesario conocer los diferentes escenarios de riesgo que a criterio de experto y en concordancia con los SIG han sido utilizados y establecen según lo que se desea conocer cuáles serían las más apropiada según el área de estudio y las variables que se requieren para su correcta aplicación. En la presente revisión bibliográfica por medio de la metodología ProKnow C, se pretende conocer y entender cuáles han sido las metodologías SIG utilizadas para el análisis de riesgo de desastres.

Palabras clave: riesgos de desastres, Sistemas de Información geográfico, SIG, análisis de Riesgos y metodologías SIG.

Abstract

Disaster Risk Analysis has become a topic of global interest because of the negative impacts it can have on the environment. Geographic Information Systems (GIS) have become one of the most useful tools in disaster risk analysis, because they have allowed knowledge and risk prevention studies to determine probability, possible consequences and areas of likely impact in the face of threatening events. In addition, GIS allows the application and design of different multi-criteria methodologies according to the type of threat to be evaluated and results such as: Total risk, vulnerability and prolongation in time and space. The use of different GIS methodologies (Reclassification, remote sensing, heuristics Overlap, others) for the study of the same threat, opens gaps when performing the analysis, generating the need to identify and know the design of each of the methodologies and thus choose the most suitable for each threat. It is necessary to know the different risk scenarios that in expert opinion and in accordance with the GIS have been used and establish according to what is desired to know which would be the most appropriate according to the area of study and the variables required for their correct application. In the present bibliographic review through the ProKnow C methodology, we aim to know and understand what GIS methodologies have been used for disaster risk analysis.

Keywords: Disaster Risk, Geographic Information Systems, GIS, Risk Analysis and GIS Methodologies

Introducción

Nuestro país se encuentra expuesto a amenazas de diferentes orígenes y a condiciones de vulnerabilidad originadas por factores físicos, sociales y ambientales.

Cada territorio presenta su propia realidad basada en su entorno y la probabilidad de materialización de un escenario de riesgo, los cuales pueden ser recreados de manera provisional, permitiendo de esta forma proyectar medidas preventivas y correctivas para la reducción del riesgo de desastres. Es ahí donde los Sistemas de Información Geográficos (SIG) en conjunto con el criterio de expertos, nos permiten por medio distintas fuentes de información (Bases de datos, herramientas geográficas e imágenes satelitales) generar representaciones cartográficas para identificar zonas de mayor o menor riesgo frente a distintos peligros.

Lo anterior, en conjunto con la necesidad actual de lograr identificar los riesgos para lograr prevenir y mitigar el desastre que estos pueden ocasionar, direcciona esfuerzos que se enfocan en utilizar tecnologías que permitan dimensionar las consecuencias y posteriormente, brindar información oportuna para la toma de decisiones.

Dicha necesidad ha puesto a investigadores y experto a estudiar el área donde, autores como (Marcano Montilla & Cartaya Ríos (2010), afirman que el uso de los SIG resulta relevante, crucial y necesario en el análisis del riesgo de desastres, por lo que a su vez deben ser aplicados para generar mayores beneficios en la planificación del territorio, prevención y mitigación de ocurrencia de estos.

Se sabe que existen distintas metodologías de análisis de riesgos, dependiendo del tipo de fenómeno que se evalúe. Dichas metodologías, cuentan con un análisis multicriterio que a lo largo del tiempo se ha formado dependiendo del ámbito de posible ocurrencia y frecuencia de las mismas.

Concretamente, se han realizado trabajos de este tipo con el criterio del experto combinado con el álgebra de mapas, reclasificación de la información, superposición de mapas temáticos, aplicación de métodos estadísticos y pesos ponderados, fotografías aéreas, teledetección espacial, entre otras.

Por lo anterior, se plantea la necesidad de realizar una revisión bibliográfica de las distintas metodologías de análisis de riesgos que se han utilizado en agrupación con los SIG, debido a que dependiendo del enfoque, tipo de riesgo, las variables usadas y capas cartográficas, se

considera la confiabilidad de los resultados dada la variabilidad espacio-temporal de las amenazas y factores de vulnerabilidad, por lo que la construcción de mapas de riesgo es también un factor clave para que se logre que su aplicación sea positiva como herramienta de planificación territorial.

1 Planteamiento del problema

Las herramientas SIG en conjunto con las actuales exigencias normativas en materia de gestión del riesgo de desastres a nivel mundial, han llevado a los distintos entes territoriales y empresas públicas y privadas a involucrar dentro de sus sistemas de gestión el cumplimiento de las mismas.

Para dicho cumplimiento, dependiendo de las necesidades que se tengan, cada país, territorio y empresa en específico ha diseñado con base a su entorno y datos históricos distintas metodologías SIG para la identificación de las amenazas y vulnerabilidades, lo que ha llevado a que actualmente se tenga una cantidad considerable de opciones para la construcción de cartografía según la amenaza a evaluar.

Cada una de las metodologías que se han diseñado presentan la ponderación de variables dependiendo del análisis del entorno y los posibles escenarios de riesgo endógenos y exógenos, por ello es necesario la compilación de dichas metodologías para su conocimiento, entendimiento y posible aplicación en ámbitos territoriales, sociales y ambientales similares a los que se pueden presentar, lo cual solo será posible si se logra comprender bajo qué necesidad, condiciones y variables se diseñó.

Esto es de gran utilidad para las personas que se desempeñan profesionalmente en cargos donde el conocimiento de las metodologías SIG y su relación con el análisis de amenazas y riesgos de desastres es de vital importancia para el desarrollo de sus funciones.

Se pretende entonces, compilar la mayor cantidad de metodologías sobre amenazas y riesgos de desastres, principalmente las exigidas a nivel normativo en Colombia (Movimiento en masa, avenida torrencial e inundación) no dejando de lado las que se encuentren bien datadas sobre otras amenazas de gran impacto en los territorios (Incendios de cobertura vegetal, sismo, fuertes vientos, vendavales, entre otros).

2 Justificación

Algunas empresas del país han incluido en su estructura organizacional la gestión del riesgo, esta incluye riesgos operacionales, riesgo por cumplimiento de normatividad, riesgos financieros y riesgo de desastres, principalmente.

Dicha normatividad especialmente para el análisis de riesgo de desastres se remite en Colombia a la Autoridad Ambiental de Licencias ambientales ANLA y su Resolución 2182 de 2016 donde se dan los lineamientos para proyectos licenciados y la Base de datos con información cartográfica que se debe presentar para ser evaluada.

Aunque no se remite en la actualidad una normatividad para proyectos no licenciados que se construyeron antes de la resolución mencionada, es deber de las empresas que incluyen los riesgos actualizar bajo la norma. Esto lleva a la necesidad de utilizar Sistemas de Información Geográficos para el respectivo análisis de Riesgo de Desastres que a su vez nos exige conocer las distintas metodologías que se han diseñado para evaluar amenaza y vulnerabilidad que dan el resultado los riesgos, por medio de metodologías que incluyen la ponderación de variables, teledetección espacial, entre otras.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar las metodologías para el análisis de amenazas y riesgo de desastres basadas en los Sistemas de Información Geográficos (SIG).

3.2 Objetivos específicos

- Identificar la literatura científica y normatividad legal vigente sobre el análisis de amenazas y riesgo de desastres a partir del componente SIG.
- Realizar un análisis bibliométrico y sistémico sobre las investigaciones que implementan los SIG para el análisis de amenazas y riesgo de desastres.
- Analizar las necesidades y oportunidades en el uso de los SIG en el análisis de riesgo de desastres.

4 Marco teórico

El análisis del riesgo de desastres en Colombia se remite a la Ley 1523/2012, Decreto 1077/2015, Decreto 2157/2017 y la Norma ICONTEC 31010, principalmente.

Se han creado distintas metodologías en pro de determinar la más adecuada para el análisis predictivo de riesgos de desastres en las distintas temporadas del año y zonas de estudio, por condiciones naturales no controlables e incluso por acciones humanas que podrían desencadenar un evento que genere un desastre (Ferrer, 2014).

Actualmente, con los efectos del cambio climático y las variables naturales del medio que son focos generadores de desastres, a nivel Latinoamérica y especialmente en Colombia se ha evidenciado una importancia de un correcto análisis de riesgo, que además de cumplir con la normatividad legal vigente en materia de gestión del riesgo, pueda ser plasmada y datada por medio de los Planes de Gestión de Gestión del Riesgo de Desastres (PGRD), Planes de emergencia y contingencia (PEC) y otros requerimientos solicitados por la Autoridad Nacional de Licencias ambientales (ANLA)(Resolución 2182/2016).

Los documentos mencionados, son construidos con requerimientos relacionados directamente con cartografía, siendo uno de los casos más importantes los solicitados Por la Autoridad Nacional de Licencias ambientales ANLA en la Resolución 2182/2016 que adicionalmente permite lograr hacer un análisis prospectivo de los riesgos (Circular No. 041 del 7 de junio de 2018, UNGRD).

En la ciudad de Medellín en la última década han ocurrido numerosos eventos asociados a deslizamientos (Echeverri & Valencia, 2004), por lo cual los diferentes entes territoriales han trazado la meta de generar un mapeo de las amenazas por movimiento en masa y sus variantes, considerando como variable principal la frecuencia de las precipitaciones en un umbral entre 3 y 15 días, tomándolo como un indicador de susceptibilidad de deslizamiento de cada formación superficial y en concordancia con la pendiente del terreno a evaluar. Por otra parte otros autores (Sánchez L., Urrego L., Mayorga M., & Vargas C., 2002), apoyados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEM), realizaron una síntesis de un modelo de susceptibilidad general del terreno a los deslizamientos y un modelo de pronóstico de la amenaza por deslizamientos detonado por lluvias en tiempo real, utilizando un proceso automatizado de captura y tratamiento de información, y aunque no se menciona la necesidad de utilizar una escala

en específico si se habla de la ponderación de las siguientes variables: Litología (L) 15%, Densidad de fracturamiento (Df) 15%, Morfología (M) 10%, Densidad de Drenaje (Dd) 10%, Suelos (S) 10%, Pendientes (P) 15%, Morfodinámica (intensidad de erosión) (Ie) 15% y Cobertura vegetal (Cv) 10%.

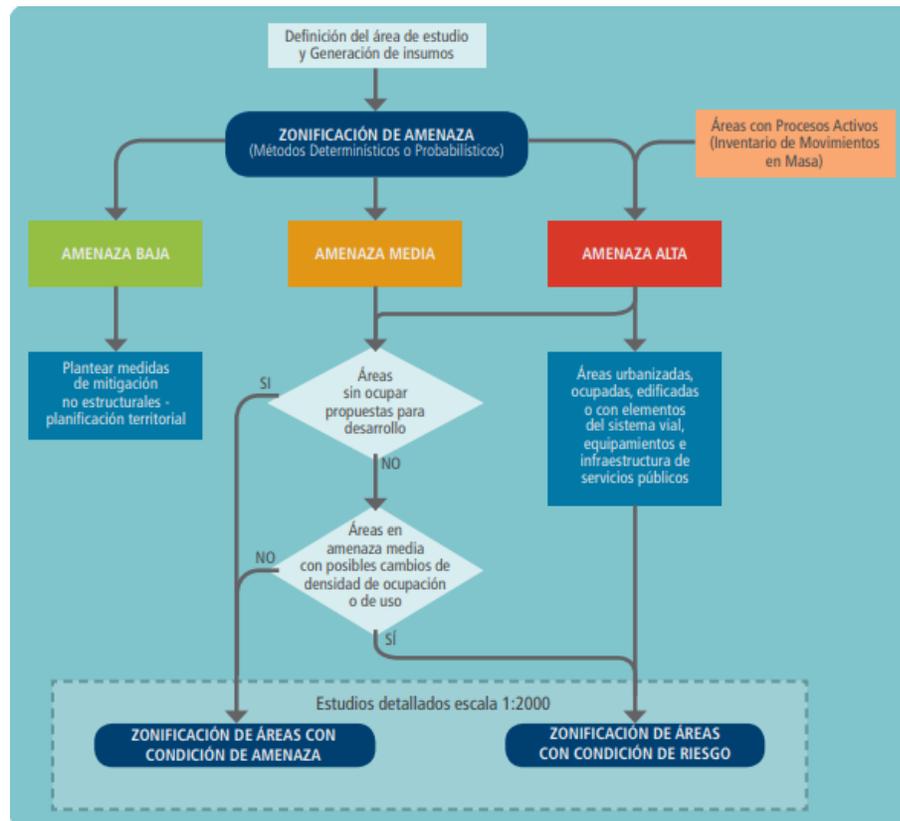
Existen lineamientos metodológicos para realizar estudios de riesgo por movimiento en masa en escala de detalle más puntual, que son aplicables en la mayoría de los municipios y centros poblados de Colombia, entre las cuales se encuentra la de la Dirección de prevención y Atención de Emergencias DPAE (2000), Ingeocim Ltda (2001), González (2005), JAM (2007) y Yamín et al (2013) que en general lo que piden es identificar las variables de análisis de la zona como precipitación y geología para realiza una evaluación de la vulnerabilidad y determinar el riesgo de materialización de un evento.

De conformidad con las disposiciones contenidas en el Decreto 1807 de 2014, del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, para la construcciones de la gestión del riesgo en mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial en Colombia o la expedición de nuevos planes, los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa deben recrearse tal como lo menciona el principio de gradualidad de la Ley 1523/2012, de acuerdo con escalas de trabajo denominadas estudios básicos que van escala de 1:5.00 para zonas urbanas y de expansión urbana y de 1:25.000 para zonas rurales, adicional determina que para los estudios de Detalle la cartografía debe ser en escala de 1:2.000 para zonas urbanas y de expansión urbana y de 1:5.00 para zona rural suburbana. Estos estudios permiten además de ponderar variables, determinar áreas en condición de amenaza que son aquellas zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo Plan de Ordenamiento Territorial la necesidad de clasificarlas cómo suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbana o centros poblados rurales para permitir su desarrollo y áreas con condición de riesgo que corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas cómo de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como las que se encuentran elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura se de servicios públicos (Decreto 1077/2015 Art. 2.2.2.1.3.1.3 Parágrafo 1).

Para dar claridad a lo mencionado, la relación de las exigencias con el tipo de estudio y teniendo en cuenta lo que se establece en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial se diseñó un esquema que explica que tipo de estudio realizar

si se tiene duda y así mismo tener claridad de que a la hora de aplicar las metodologías de análisis de riesgo la escala a utilizar (**Figura 1**).

Figura 1. Esquema metodológico para la elaboración de estudios básicos de amenaza y definición de zonas para la elaboración de estudios detallados



Fuente. Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa tomado de Decreto 1807 de 2014.

Otros países también son referentes para el estudio de los SIG en la gestión del riesgo como lo es Perú, donde varios autores se plantearon utilizar herramientas SIG para el análisis espacial de la susceptibilidad a los deslizamientos en masa en la cuenca de la Quebrada Hualanga, Pataz, La Libertad (Fidel Smoll, 2006), para ello establecieron que el análisis espacial de la susceptibilidad requiere un soporte cartográfico, de modo que la elaboración de salidas gráficas y modelos necesarios, y la gestión de estos desde los SIG, son parte fundamental y previa al análisis espacial propiamente dicho. A razón de seguir analizando los riesgos de desastres autores como Lima de Montes & González , 2000; Lima de Montes & González Moradas , 2004 y Gutiérrez , Castrillo , & Hervoiët (s/f), han seguido el camino del riesgo por deslizamientos con énfasis en generar mapas

a través de la aplicación de los SIG para apoyar las distintas teorías ya mencionadas teniendo como premisas denominar los mapas generados como “Mapas de Riesgos” que vinculan elementos tales como la susceptibilidad y detonantes (precipitaciones y sismos); generar mapas de susceptibilidad a los deslizamientos por medio de la superposición de mapas temáticos con características que representan cartográficamente variables coincidentes, como el material litológico; la resistencia de los materiales; las pendientes; la permeabilidad y las precipitaciones. Por ello Gutiérrez, Castrillo & Hervouët sugirieron considerar dentro de los análisis también la cobertura vegetal y finalmente para la superposición de mapas y el desarrollo de los mapas finales, serán amarrados a aplicación de métodos estadísticos y pesos ponderados para cada una de las variables de esa forma darles poder a sus atributos.

Otros conocedores de ambas temáticas, dicen que la zonificación de amenazas, específicamente por fenómenos de remoción en masa, será más viable si se sigue la metodología construida por Gonzalez G. , Millan L. , et al (1999), apoyados por INGEOMINAS, la cual permite zonificar la susceptibilidad de dichos fenómenos por medio de un modelo estadístico univariado tomando una de las mismas que puede ser pendientes, geología, geomorfología y conflictos de uso, desarrollándose a partir de aquí los mapas base que se superpondrán al momento de darle un peso ponderado a cada uno de los resultados. Finalmente, al obtener los mapas de susceptibilidad y analizando los factores detonantes como las precipitaciones y los sismos, se integran sumas a los puntajes obtenidos por cada uno para dar origen a mapas de amenazas por fenómenos de remoción considerando cada uno de los detonantes, y que al unirse, podrían generar un mapa de amenazas totales.

Usando el potencial de la herramienta SIG en la zonificación regional del peligro de deslizamiento de tierra provocado por distintas variables se ha generado también un modelo que permita emplear fotografías aéreas para el mapeo del deslizamiento, señalando que la información que se extrae de las imágenes está basada en: la morfología, la vegetación, las condiciones de drenaje de la pendiente, entre otras variables (García, Monnar, Zapata, Arango, & López, 2006) .

Otros autores como Maskrey (1998) han evaluado los criterios para establecer vulnerabilidad al riesgo en zonas específicas, por medio de la reclasificación con valores de peso a cada una de las variables y teniendo en cuenta indicadores que se tratan bajo variables estadísticas, dando como resultado la vulnerabilidad, lo que permite posteriormente evaluar el riesgo de desastres por medio de la metodología conceptual de amenaza por vulnerabilidad. La aplicación

dada por este autor permite también otra visión del análisis de riesgo de desastres generando una de las variables y que puede ser insumo para otro tipo de análisis.

Otro de las amenazas más monitoreada y evaluada, es el riesgo por inundación. En Antioquia, el Sistema de Alertas Tempranas de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA), entregan información oportuna de los riesgos de desastres en la zona monitoreando en tiempo real y generando un modelo hidrológico y meteorológico. Para dicho análisis utilizan herramientas que les permiten evaluar la calidad de los datos y transformándola en piezas gráficas y audiovisuales; además, también les permite evaluar el riesgo por Sismo en conjunto con la información que diseña el Servicio Geológico Colombiano (SGC), quienes utilizan el efecto de la fuerza inercial sísmica que incluye la aceleración horizontal para distintos periodos de retorno, lo cual se hace por medio de curvas de amenaza sísmica disponible o de un análisis de amenaza sísmica simplificado que se obtiene de estudios de microzonificación sísmica o se cuenta con un estudio de amenaza sísmica de Colombia (AIS, 2009), en algunos casos también utilizan los registros históricos para determinar la probabilidad (SGC, 2022) de ocurrencia nuevamente de un evento en la zona.

El SIATA, utiliza un sistema de telemetría y diseñan sensores estáticos que son utilizados como estaciones de monitoreo que transfieren datos y son visualizados por medio de un Geoportal desarrollados por ellos mismos, lo que a su vez permite también a las comunidades estar alertas por aumento de precipitación y zonas de alta probabilidad de inundación (SIATA, 2022).

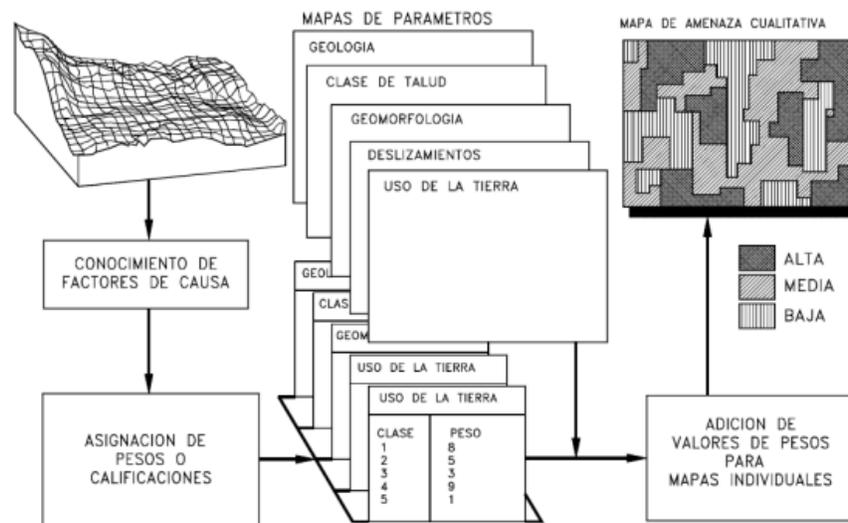
Para el estudio de serie de datos que contienen información para el análisis de riesgo de desastres, utilizan sistemas de información tales como la teledetección con drones que contienen una serie de sensores remotos, cámaras térmicas, RGB multiespectral y tecnología LIDAR, sistemas que brindan datos cuantitativos e imágenes que son evaluados posteriormente a criterio de expertos para gestionar los riesgos y planificar el territorio.

Otra de las amenazas a estudiar que genera gran impacto cuando se materializa en un territorio es Avenida torrencial, la cual se puede estudiar por medio de los SIG y en algunos casos en conjunto con otros programas que permiten modelar de manera dinámica el movimiento de las fuentes hídricas teniendo en cuenta el material del lecho, rugosidad del suelo, infiltración y pendiente de la zona; estos programas son tales como HEC-RAS, AutoCAD e Iber que son de conocimiento principalmente de profesionales en el área hidrológica e hidráulica.

Sin embargo, se han diseñado otras formas de estudiar la amenaza por avenida torrencial solo por medio de los SIG tal como la Guía del JTC-1 (2008), se menciona los siguientes métodos:

1. **Método Heurístico:** este es basado en el criterio del experto, fotointerpretación y trabajo de campo. Esto va de la mano con la escala de trabajo y la información con que se cuenta, y se dan peso a las variables obtenidas para construir un mapa por medio de herramientas SIG (ArcGIS, Qgis, otros). Uno de los métodos heurísticos que utiliza los SIG es el de Combinación Cualitativa, el cual aunque cuenta con una parte del criterio de experto que es quien designa el peso a los parámetros para posteriormente realizar una clasificación de cada capa asignando sus pesos, posteriormente calcular los pesos para cada uno de los pixeles (**Figura 2**).

Figura 2. Uso de los SIG para la combinación cualitativa y de ponderación de capas y mapas.



Fuente. Definición del estado del arte de las metodologías de evaluación de amenaza por avenida torrencial en algunos países de la zona intertropical (Bautista, 2017)

2. **Método Estadístico:** Para esta metodología el uso del SIG es esencial, debido a que se realiza inicialmente una clasificación de cada mapa por parámetro en un número de clases, luego se realiza la combinación de los mapas seleccionados con uno de deslizamientos por medio del sistema de cruce de mapas lo que nos arroja una tabulación del cruce que correlacionan espacialmente los mapas y sus parámetros. Seguidamente se realiza el cálculo de los valores de peso (Turner & McGuffey, 1996).

3. **Método Multivariado:** este método fue diseñado principalmente en Italia, Para su aplicación se muestrean las variables como una “large-grid basis” o como “unidad morfométrica”. Cada una de la unidad muestreada tienen en cuenta la presencia o ausencia de movimientos en masa y el resultado es una matriz que permite el análisis usando regresiones múltiples o análisis discriminantes. Con estas técnicas se han tenido buenos resultados en zonas homogéneas o en áreas con apenas pocos tipos de movimientos en masa.

Antioquia para el análisis de amenaza por avenida torrencial se utiliza la metodología diseñada por la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas del Río Negro y Nare (CORNARE) en el año 2012, quienes realizan un análisis concatenado basado en que la avenida torrencial se encuentra determinada por un movimiento masa. Esta metodología utiliza distintos factores para el análisis tales como clasificación morfométrica, geomorfología, precipitación, materiales superficiales y cobertura vegetal a los cuales en el Sistema SIG se les da un peso. De esta manera la secuencia diseñada es:

1. Capas de cobertura del suelo, materiales superficiales, unidades geomorfológicas e isoyetas se realiza el procedimiento de rasterización a lo que se le realiza una reclasificación de valores y nos arroja las capas reclasificadas.
2. En paralelo con un modelo de elevación se realiza un procesamiento ráster y se realiza un análisis morfométrico que arroje un coeficiente de compacidad al mismo tiempo que con un mapa de pendientes que arroja la pendiente media. Se realiza una ponderación a la capa de coeficiente de compacidad y pendiente media que nos arroja una capa de morfometría reclasificada.
3. Las capas obtenidas en el paso 1 y 2 se ponderan con el peso dado a cada una y se realiza un análisis espacial que nos arroja un mapa de amenaza por avenida torrencial a un tamaño de píxel que será asociado a la escala que se trabajaron las distintas capas.

Continuando con la revisión, se encuentran algunas metodologías a nivel de Colombia utilizadas para el estudio de riesgo de desastres de amenaza por incendios, este se pudo identificar según el origen donde para el caso donde el origen es antrópico asociado a transporte o almacenamiento de sustancias con potencial explosivo, se utiliza el Método MESERI, este método es utilizado para un análisis de incendios y exposición en cualquier instalación industrial o de otro

tipo. Esta metodología califica las variables y las relaciona con factores de construcción, distancia, valor económico, factores de destructibilidad, propagación y protección (Moyano A, Lema C, Guamán L, García F, & Miño , 2019). A su vez se apoya del Software ALOHA, este tiene en cuenta el vapor tóxico, inflamación, radiación térmica y sobrepresión, estas variables se les da un significado basado en la Guía para la Identificación de los Peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional GTC 45 (2012).

Para el análisis por incendios forestales, el IDEAM propone el “Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal en escala de 1:100.000” (IDEAM, 2011). Esta metodología se fundamenta en evaluación de unos componentes del riesgo basado en la amenaza y la vulnerabilidad. Se inicia con la evaluación de la amenaza, la figura 3 esquematiza el proceso metodológico que permite la evaluación de la amenaza, para lo cual se requiere información cartográfica básica tal como: límites políticos, cobertura vegetal, precipitación media multianual (Isoyetas), temperatura media multianual (Isotermas), mapas históricos de existencia de incendios forestales a nivel municipal (cantidad de incendios y causas de los mismos), pendientes y vías. Si se cuenta con variables como vientos, velocidad del viento y radiación solar, da más peso al análisis.

Amenaza total

$$\begin{aligned} &= \text{Suscetibilidad de la vegetación} + \text{precipitación} + \text{temperatura} \\ &+ \text{pendientes} + \text{frecuencia} + \text{accesibilidad} \end{aligned}$$

Para el análisis de la vulnerabilidad se utiliza la ponderación de las siguientes variables: poblacional (Pob), territorial (Terr), infraestructura (Inf), patrimonial (Pat), económica (Eco) e institucional (Inst) y se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Vulnerabilidad total} = \text{Pob} + \text{Terr} + \text{Inf} + \text{Pat} + \text{Eco} + \text{Inst}$$

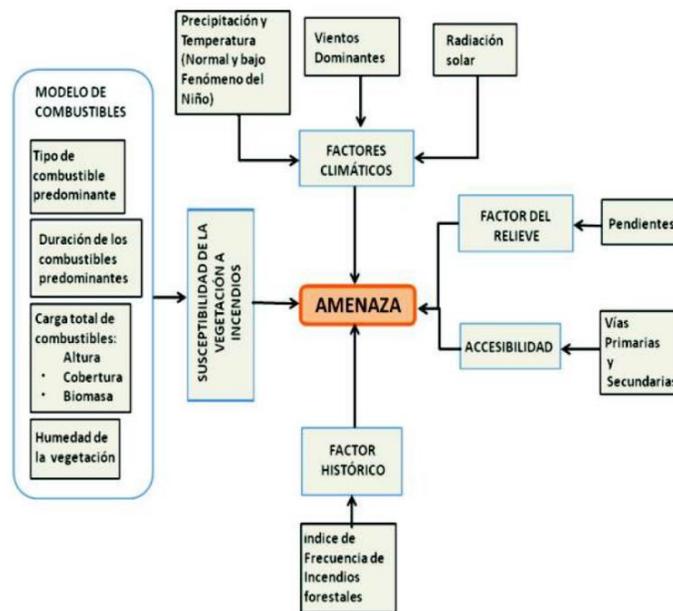
Finalmente, se aplica la fórmula que nos remite a el resultado del riesgo:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza total} * \text{Vulnerabilidad total}$$

El IDEAM realizó unos mapas de incendios a escala general aplicable a nivel nacional 1:500.000 o menores, se sustenta en la identificación y evaluación de los factores de amenaza en la ocurrencia de incendios, como también de la evaluación e identificación de la vulnerabilidad, e incluyó la valoración de los componentes que pueden verse afectados por el incendio contribuir a la ocurrencia. Las variables que se utilizan en dicha metodología son de acuerdo con el criterio de expertos en el tema y de la información disponible, los resultados obtenidos se discriminan de acuerdo con dos escenarios: En condiciones normales y con fenómeno de Niño.

Esta metodología presenta un extenso número de pasos que darán como resultado el mapa respectivo a susceptibilidad de incendios, esta se puede replicar y en caso de quererse hacer se remite a el protocolo ya mencionado.

Figura 3. Representación gráfica de los componentes de amenaza.



Fuente. Metodología IDEAM 2012.

Finalmente, posterior a la revisión realizada considerando los riesgos de desastres como un elemento esencial en el ordenamiento territorial, existen instrumentos de planificación como las Estrategias Municipales de Emergencia (EMRE), Plan de Gestión del Riesgo de desastres de Empresas Públicas y Privadas (PGRDEPP), requerimientos de las Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) y la Autoridad Ambiental de Licencias Ambientales (ANLA), quienes existen la lectura del territorio a distintas escalas y que se transforme la información y

datos de manera visual en un componente cartográfico, son estos el estado del arte más amplio que existe a nivel territorial en Colombia de la necesidad de identificar como se realizan los análisis de riesgos de desastres para cada una de las amenazas y bajo qué criterios y condiciones del territorio estas pueden o no brindar datos en tiempo real y prolongado.

Cabe resaltar que aunque se encuentran las metodologías de amenazas para eventos individuales, la normatividad también relaciona los eventos concatenados que hasta el momento son evaluados a criterio de experto teniendo en cuenta el análisis individual y su resultado obtenido para cada amenaza y como se puede desencadenar un efecto domino (evento concatenado).

5 Metodología

Se utilizará la metodología ProKnow-C (Knowledge Development Process-Constructivist), la cual permitirá sistematizar la literatura académica sobre una temática específica lo que a su vez evitará el sesgo en la selección y de análisis de artículos (Okoli & Schabram, 2010). Con esta metodología se logrará hallar e identificar temas específicos sobre el campo del conocimiento del tema a tratar en la presente revisión bibliográfica; a su vez permitirá identificar los conceptos claves y trazar la relación entre los mismos para posteriormente encontrar qué metodologías y análisis han sido utilizados para tratar el planteamiento del problema del presente estudio.

La metodología ProKnow-C se divide en cuatro etapas, que van desde la creación de un portafolio de artículos hasta el análisis del contenido y la elaboración de conclusiones sobre el tema a tratar (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

Las etapas son:

- a. Creación, definición y elaboración de un portafolio bibliográfico,
- b. Análisis bibliométrico del portafolio,
- c. Análisis sistémico del portafolio
- d. Conclusiones y definición de una agenda de investigación.

A continuación se exponen brevemente el paso a paso de la metodología:

Paso 1. Creación de un portafolio bibliográfico.

Esta etapa permitirá establecer un portafolio de artículos a los que posteriormente se les realizará un análisis de contenido. Esta es una de las partes más importantes y críticas de la metodología debido a que se deberán definir uno o más ejes de investigación. Para este caso los ejes de investigación a utilizar serán: utilizados fueron: Análisis de riesgos de desastres, los sistemas de información geográficos y su aplicación al análisis de riesgos de desastres y las metodologías SIG para visualizar riesgos de desastres.

Luego de establecer los ejes de la investigación se definirán las palabras claves definieron palabras claves que los relacionan, y utilizando operadores booleanos para construir comandos o ecuaciones de búsqueda, se realizará una búsqueda avanzada en varias bases de datos como lo fueron Science Direct, Scopus, Cambridge University Press, entre otras. Finalmente, se obtendrá un portafolio bibliográfico.

Paso 2. Análisis bibliométrico

En esta parte se realizará un enfoque que permitiera analizar las características bibliométricas del portafolio final establecido, donde incluía observas las fechas, autores, revista de publicación, ubicación, tipo de análisis, entre otras.

Paso 3. Análisis Sistémico

Se procederá a realizar un análisis detallado del contenido de la información de los artículos, enfocándose en encontrar relaciones entre los distintos artículos para definir cuáles eran los más favorables que permitieran realizar una recolección de información que sea útil para el investigador y el lector.

Paso 4. Conclusiones y definición de una agenda de investigación

Finalmente se realizará un análisis final de la información encontrada en la revisión bibliométrica y se definirán preguntas de investigación u oportunidades de mejora para ser analizadas en futuras investigaciones. Adicionalmente, se establecerán recomendaciones según lo desarrollado.

6 Resultados

La mayor cantidad de información sobre las metodologías SIG para análisis de Riesgo de desastres se enfocaron en la amenaza por movimiento en masa, metodologías que se basaban principalmente en el criterio de experto y ponderación de variables según el área de estudio.

Con base a los criterios mínimos que exige la normatividad para el cumplimiento de la misma en temas de la gestión del riesgo de desastres, es de obligatorio cumplimiento movimiento en masa, que como se menciona es uno de los más estudiados en esta área y su relación con los SIG es directamente proporcional a la confiabilidad de los datos. En este mismo sentido, la información obtenida sobre la amenaza por avenida torrencial referenciada por Bautista (2017), se incluyeron los métodos más relevantes para la presente revisión, sin embargo este menciona una gran cantidad de opciones que se pueden considerar para evaluar esta amenaza, sin embargo también se puede identificar que esta es una amenaza que no necesariamente puede ser evaluada por un experto en SIG también se requiere de profesionales expertos en uso de otras herramientas.

Como lo menciona la normatividad el análisis de amenaza por sismo también es de obligatorio cumplimiento su conocimiento, aunque no se cuenta con gran cantidad de estudio y adicionalmente con los que se cuenta son a una escala poco detallada esto pone a esta amenaza como una de las menos datadas y estudiadas en el campo de los SIG.

Aunque la normatividad no exige el análisis de Incendios, existe entidades públicas y privadas que lo consideran por estar en un área con esta condición de amenaza, sin embargo en Colombia solo se logró referenciar la metodología diseñada por el IDEAM, metodología completamente SIG que por su complejidad puede tomar un lapso largo para ser implementada, y una necesidad de gran cantidad de variables que para su levantamiento dificulta su desarrollo.

Finalmente, la normatividad vigente para la gestión del riesgo menciona exigencias que limitan a escalas de detalles muy finas y en relación con el acceso a esa información y su disponibilidad, se hace complejo obtenerla. Esto permite inferir que estudios territoriales para la construcción de Planes de Ordenamiento Territorial y Planes de Gestión de Riesgo de Desastres se retrasan por ausencia de capacidad económica para realizar por cuenta propia el levantamiento cartográfico de esta información y aplicar las metodologías de análisis, siendo este el hallazgo más relevante en esta revisión bibliográfica.

7 Conclusiones

Se identifica una variedad de literatura científica enfocada en las metodologías SIG diseñadas para el análisis de riesgo de desastres que se relacionan principalmente con lo exigido en la normatividad legal vigente que se también se encuentra debidamente establecida especialmente para cumplimiento en Colombia.

La metodología ProKnow-C para realizar la recopilación de la información por medio de sus fases, son de gran utilidad para lograr el objetivo de la revisión de información dado que permite además de recopilar de manera organizada los documentos y construir un cronograma que dé cumplimiento a lo que se desea extraer de la información recopilada.

Identificar las metodologías diseñadas para el análisis de riesgo de desastres por medio de los SIG se convierte en una necesidad que a su vez construye las oportunidades de mejora ante la implementación, debido a que muchas de estas son diseñadas de manera generalizada y que obligan mejorar o modificaciones a la misma dependiendo del área de estudio en la que se desea aplicar.

Aunque se logra recopilar gran número de documentos científicos que relaciona el tema de búsqueda de la presente revisión bibliográfica, esta se enfoca en su mayoría a las exigencias mínimas de la normatividad, dejando un gran vacío en el conocimiento de las metodologías que se pueden implementar con otras amenazas que también pueden desencadenar un desastre, tales como incendios (IDEAM, 2011) y vendavales (UNAL; HIMAT, 1990). Aunque para esta amenaza se cuenta con una metodología para su conocimiento, las mismas llevan muchos años funcionando sin ser modificadas o evaluadas nuevamente para las condiciones del medio que pueden ser modificadas con los años por las dinaminas antrópicas y naturales.

Finalmente, cabe resaltar que la normatividad vigente y las distintas metodologías ya diseñadas solicitan al profesional que va a realizar el trabajo SIG información que puede ser obtenida en trabajo de campo previo, otras son información que los entes gubernamentales (Gobernaciones, Institutos de estudios geográficos, otros) deben proveer a aquellas entidades que por sus recursos económicos (Alcaldías municipales, otras) y escala de detalle exigida por la norma, retrasa y condiciona el análisis de riesgo de desastres lo que a su vez pone en un escala de Riesgo Muy alta a las comunidades, infraestructura y medio ambiente a que la materialización de un evento no pueda ser prevenido, por lo cual se infiere que hay una

disociación de la exigencia normativa y la información que quienes diseñan y aprueban proveen a quienes deben dar cumplimiento en los tiempos establecidos.

8 Recomendaciones

Posterior a la revisión bibliográfica realizada, se recomienda continuar con la recopilación de metodologías que se diseñen o actualicen para el análisis de riesgo de desastres. Adicionalmente, debido a que aún existen amenazas menos datadas y que exigen utilizar otros programas que no se relacionan con los SIG es importante no dejar de consultar el avance que estas puedan llegar a tener.

Dicho lo anterior, mantener la revisión bibliográfica de las metodologías de análisis de riesgo actualizada es de gran utilidad para los profesionales que se desempeñan en el área e inician el conocimiento de estas herramientas.

Finalmente, cabe resaltar que aquellos que se desempeñan en el área del análisis de riesgo de desastres en el componente SIG, compartan las modificaciones parciales que se realicen a las mismas y con base a que dichos cambios.

Referencias

- AIS. (2009). Estudio general de amenaza sísmica de Colombia. En A. C. Sísmica, Comité AIS - 300: Amenaza sísmica. Bogotá.
- Bautista, M. D. (2017). Definición del Estado del arte de las Metodologías de evaluación de Amenaza por Avenida Torrencial en algunos países de la zona Intertropical. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 28-29.
- DPAE. (2000). Términos de referencia para estudios de riesgos por inestabilidad del terreno. En D. d. Distrito, Memorias. Seminario Estudios de Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa. Bogotá.
- Echeverri, O., & Valencia, Y. (2004). Análisis de los deslizamiento en la cuenca de la Quebrada La Iguana de la ciudad de Medellín a partir de la Integración lluvia_pendiente_formación geológica. Dyna, 33-45.
- Ferrer, R. (16 de 10 de 2014). Sisteseq Consulting Services. Obtenido de Ciberseguridad y Resiliencia: https://www.sisteseq.com/files/Microsoft_Word_-_METODOLOGIA_DE_ANALISIS_DE_RIESGO.pdf
- Fidel Smoll, L. (2006). Susceptibilidad a los movimientos en masa en la cuenca de la quebrada Hualanga. Patataz, La Libertad. Sociedad Geológica del Perú - SGP: 119-122.
- García, J., Monnar, O., Zapata, J., Arango, E., & López, P. (2006). Sistema de Información Geográfica para el manejo y evaluación del riesgo sísmico en la ciudad de Santiago de Cuba.
- González , A. (2005). Evaluación de amenaza por fenómenos de remoción en masa. . En S. C. Geotecnia, III Curso Latinoamericanp de Movimientos en Masa. Bogotá.
- González , M., & Lima de Montes , Y. (2004). Cartografía del riesgo a los deslizamientos en la zona central del principado de Asturias. Obtenido de <http://www.mappinginteractivo.com>
- Gonzalez G. , A., Millan L. , J., Soler S. , F., & Vesga M., L. (1999). Evaluación de Riesgo por Fenomenos de Remoción en Masa en Santafe de Bogotá - Colombia . X Jornada Geotecnicas de la Ingenieria Colombiana.
- Gutiérrez, J., Castrillo, J., & Hervouët, Y. (s.f.). Cartografía de Riesgo Natural Utilizando Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) Alrededor de la Cidudad de Valera.

- Escuela de Ingeniería Geológica, Facultad d Ingeniería, Universidad de los Andes, Venezuela.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación. México D.F: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- IDEAM. (2011). Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal- Escala 1:100.000/ajustado. Bogotá, D.C.
- Internacional, I. (2012). Guía para la Identificación de los Peligros y la Valoración de los Riesgos en Seguridad y Salud Ocupacional. Bogotá: Instituto Colombiana de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- JAM Ingeniería y Medio Ambiente E.U. (s.f.). Estudio para definir la metodología para la zonificación y reducción del riesgo por FRM, con aplicación a una zona piloto localizada en la cuenca de la quebrada Camelias, en Manizales. En M. d. Vivienda, Texto metodología de evaluación de riesgo por FRM a nivel de detalle.
- JTC-1. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. (Vol. 102). Engineering Geology.
- Lima de Montes , Y., & González, M. (2000). Sistema De Información Geográfica (SIG) para generar mapas de riesgo a los deslizamientos. En Seminario Internacional Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela, Caracas. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Instituto de Mecánica de Fluidos.
- Ltda, I. (2000). Evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Bogotá, Colombia. En I. LTDA, Memorias. Seminario Estudios de Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa. Bogotá.
- Marcano Montilla, A., & Cartaya Ríos, S. (2010). La Gestión de Riesgos de Desastres y el Uso de los Sistemas de Información Geográfico (SIG): Algunas Consideraciones. CONHISREMI.
- Maskrey, A. (1998). La Aplicación de Los Sistemas de Información Gográfica al Anàlisis de Riesgo en Amèrica Latina. Lima, Perú: La Red.
- Moyano A, J., Lema C, J., Guamán L, Á., García F, A., & Miño , G. (2019). Metodologías MESERI, Índice de incendio y explosión, ALOHA, para determinar zonas de seguridad en estaciones de servicios de combustibles. Knowledge E, 335-338.

-
- Okoli, C., & Schabram, K. (2010). A Guide to Conducting a Systematic Literature Review of Information Systems Research. Working Paper on Information Systems, 10-26.
- Sánchez L., R., Urrego L., L. F., Mayorga M., R., & Vargas C., G. (2002). Modelo para el pronóstico de la amenaza por los deslizamientos en tiempo real. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.
- SGC. (7 de Noviembre de 2022). Sismo Sentido . Obtenido de <https://sismosentido.sgc.gov.co/>
- SIATA. (5 de Mayo de 2022). Sistema de Alertas Tempranas de Medellín y Valle de Aburrá. Obtenido de SIATA: <https://siata.gov.co/>
- Turner, & McGuffey. (1996). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. UIS, 381.
- UNAL; HIMAT. (1990). Mapa Nivel Cerámico de Colombia del convenio UNAL y HIMAT.
- Yamín L., E., Gherquiere, F., Cardona O., D., & Ordaz M. , G. (s.f.). Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastres: el caso de Bogotá, Colombia . En U. d. Banco Mundial.