Propuesta metodológica para la elaboración de un sistema de información geográfica como insumo para la gestión del riesgo en la zona de influencia del volcán Nevado del Ruiz, Colombia.

Roberto Julián Sandoval Reyes

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director (a):

Jose Fernando Mejía Correa

Línea de Investigación en Vulcanología

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2023

Resumen

La presente investigación se enfoca en la propuesta metodológica para la elaboración de un Sistema de Información Geográfica que permita ejecutar de manera ágil la escala de medición del Potencial Destructivo Volcánico, y por medio de este obtener información relevante que contribuya a la gestión del riesgo y toma de decisiones que afecte a los distintos grupos sociales que habitan en las áreas de influencia de volcanes activos.

La existente escala de PDV se ve complementada debido a que le ha sido añadida una variable que contribuye y amplía su alcance y peso al momento de ser ejecutada. A las variables Actividad Eruptiva, representada por el Tipo de Actividad Eruptiva, y Población, representada por medio de Unidades Territoriales, se le agregó la variable salud, abordada desde la cantidad de profesionales de la salud.

Con esto se busca proponer la estructura para la creación de un Sistema de Información Geográfica que responda a las necesidades de las poblaciones que se puedan ver afectadas por la actividad volcánica, logrando integrar la información de interés que previo a esta investigación presenta dificultades de acceso y organización.

Este proyecto se enmarca en un enfoque cuantitativo con un tipo de estudio correlacional, abordado a través de las variables de la escala de medición de PDV, las cuales se cruzan para obtener valores que por medio de una matriz pueden ser observados.

Este estudio se considera una investigación aplicada, ya que se parte de la base de la ya existente Escala de medición del Potencial Destructivo Volcánico, buscando el complemento y mejoramiento de esta.

Abstract

The present research focuses on the methodological proposal for the development of a Geographic Information System that allows to execute in an agile way the scale of measurement of the Volcanic Destructive Potential, and by means of this to obtain relevant information that contributes to risk management and decision making that affects the different social groups that live in the areas of influence of active volcanoes.

The existing VDP scale is complemented by the addition of one variable that contribute and expand its scope and weight at the time of its execution. The existing variables Eruptive Activity, represented by the Type of Eruptive Activity, and Population, represented by Territorial Units, are complemented by the variable health, approached from the amount of health professionals.

The aim is to propose a structure to create a Geographic Information System that responds to the needs of the populations that may be affected by the volcanic activity, integrating the information of interest that, prior to this research, presented difficulties of access and organization.

This project is framed within a quantitative approach with a correlational type of study, worked through the variables of the VDP measurement area, which are crossed to obtain values that can be observed by means of a matrix.

This study is considered an applied research, since it is based on the existing Volcanic Destructive Potential Measurement Scale, seeking to complement and improve it.

CONTENIDO

1. Introducción 7

2. Planteamiento del problema de investigación 8

2.1 Descripción del área problemática 8

2.2 Formulación del problema 8

2.3 Justificación 10

3. Objetivos 12

3.1 Objetivo general 12

3.2 Objetivos específicos 12

4. Antecedentes 13

5. Referente teórico 20

6. Metodología 22

6.1 Enfoque metodológico 22

6.2 Tipo de estudio 22

6.3 Procedimiento 23

6.3.1 Identificación de variables y asignación de valores 23

6.3.2 Diseño de la base de datos 34

6.3.3 Validación del sistema y aplicación a un estudio de caso 36

7. Resultados 38

8. Conclusiones 43

9. Referencias 45

Lista de tablas

Tabla 1 ..... **15**

Tabla 2 ..... **17**

Tabla 3 ..... **23**

Tabla 4 ..... **23**

Tabla 5 ..... **24**

Tabla 6 ..... **24**

Tabla 7 ..... **26**

Tabla 8 ..... **38**

Tabla 9 ..... **39**

1. Introducción

El volcán Nevado del Ruiz es uno de los volcanes activos más peligrosos del mundo. En el año 1985 fue el protagonista de la erupción que causó la muerte de más de 25.000 personas. Este suceso deja en evidencia la gran amenaza que representa para la población que habita en su zona de influencia.

La gestión del riesgo volcánico es un proceso complejo que requiere de la participación de diferentes actores, incluyendo a las autoridades gubernamentales, los organismos de respuesta a emergencias, la comunidad científica y la población local. Un sistema de información geográfica (SIG) puede ser una herramienta valiosa para este proceso, ya que permite integrar y visualizar información de diversas fuentes, lo que facilita la identificación de los riesgos, la evaluación de sus posibles impactos y la planificación de medidas de mitigación.

El objetivo de este trabajo de grado es proponer una metodología para la elaboración de un SIG como insumo para la gestión del riesgo en la zona de influencia del volcán Nevado del Ruiz, basado en la escala de Potencial Destructivo Volcánico propuesta como elemento innovador por medio de un trabajo de grado, la cual tiene la capacidad de integrar variables tanto físicas como sociales.

El hecho de unir la escala de PDV con el factor tecnológico, que en este caso sería un Sistema de Información Geográfica, es un gran paso para la ciencia vulcanológica y para la gestión del riesgo, debido a las facilidades de tiempo y ejecución que puede llegar a brindar un sistema con las herramientas, información y estructura correcta.

2. Planteamiento del problema de investigación

2.1 Descripción del área problemática

La vulcanología toma relevancia a nivel mundial debido a la cantidad de volcanes activos que hay en el planeta y las poblaciones que se encuentran en áreas circundantes a estos. Según el Programa Global de Vulcanología Smithsonian de Estados Unidos actualmente existen en torno a 1.400 volcanes activos en el mundo. La escala de Potencial Destructivo Volcánico (PDV) se encarga de la medición del Potencial Destructivo Volcánico a partir de variables físicas y sociales, las cuales deben ser alimentadas con datos e información proveniente de diferentes entidades.

El Servicio Geológico Colombiano, que es una de las entidades que aporta información para la ejecución de la escala, habla de que en el territorio nacional existen 21 volcanes ubicados principalmente en la cordillera central, que a su vez hace parte de la cordillera de los Andes. Dentro de este registro se encuentra el volcán Nevado del Ruiz, el cual es uno de los volcanes con mayor actividad en el territorio nacional.

El Nevado del Ruiz se encuentra ubicado geográficamente en el departamento de Caldas, dentro del Parque Nacional Natural Los Nevados. Se tienen registros de su actividad desde 1595 hasta la actualidad.

2.2 Formulación del problema

Para aplicar la escala, los procesos presentan grandes dificultades, desde la adquisición de la información hasta la ejecución y procesamiento de esta. Actualmente, para acceder a los

datos necesarios para alimentar la escala de PDV se debe realizar la búsqueda de forma manual en diferentes entidades, las cuales por su parte presentan deficiencia de información y en algunos casos carencia de datos.

Por otra parte, para la ejecución de la escala, posterior a la adquisición de los datos requeridos, se debe realizar el proceso de clasificación por medio de una matriz en la que se le asigna un valor dependiendo del Tipo de Actividad Eruptiva y Unidad territorial que presente el volcán en estudio, para finalmente obtener el grado de Potencial Destructivo que tiene un volcán.

Al momento de adquirir la información el proceso se torna tedioso debido a la necesidad de requerir consultas en distintas entidades por la dispersión de la información y la poca o nula comunicación entre las entidades involucradas. A esto se le suma la inexistencia de una infraestructura de datos espaciales de este tipo.

El proyecto pretende generar la metodología para la creación de un sistema de información geográfico que agrupe la información requerida por la escala para así obtener una respuesta oportuna y eficiente ante las necesidades presentadas por las poblaciones que se encuentran ubicadas en el área de influencia del volcán.

De lo anterior surge la siguiente pregunta de investigación.

¿Un sistema de información geográfica que agrupe la información requerida por la escala de PDV, permitirá integrar la información para obtener una respuesta adecuada que aporte soluciones a las necesidades de las poblaciones posiblemente afectadas por la actividad volcánica?

2.3 Justificación

Este proyecto surge a partir de la evidente carencia de insumos que contribuyan a la gestión del riesgo de desastres en zonas volcánicas en Colombia. Sin la necesidad de restringir el uso de este a cualquier volcán que cuente con la información necesaria para que la escala de PDV sea aplicada con el objetivo de aportar a estudios no sólo vulcanológicos, sino sociales.

Cuando se habla de gestión del riesgo existen varios aspectos a abordar para poder generar planes efectivos que mitiguen las posibles afectaciones que pueda generar una amenaza. En ocasiones los insumos, ya sea de información o metodológicos, se ven escasos al momento de realizar análisis o estudios que contribuyan a la mitigación del riesgo. En este sentido, un sistema de información geográfico que agrupe los datos pertinentes para la ejecución de la escala de Potencial Destructivo Volcánico aportaría información inmediata y de calidad para la generación de planes de acción y toma de decisiones relacionadas al riesgo de desastres debido a la actividad eruptiva volcánica.

De por sí la escala de medición del PDV es un gran aporte a la ciencia vulcanológica y a las disciplinas encargadas de analizar las posibles afectaciones sociales, incluso contribuyendo a la toma de decisiones por parte de los entes administrativos nacionales, regionales o locales. En este trabajo se busca complementar la escala, por medio de la adición de nuevas variables que la nutran y permitan llegar a análisis y conclusiones mucho más completas. Además, hasta el momento no se conoce de la existencia de un sistema que integre estas variables y permita acceder a la información recopilada para futuros estudios.

El sistema de información geográfico de la escala PDV puede ser aprovechado por las entidades que trabajan directamente con vulcanología. Permitiendo así una reciprocidad y

aprovechamiento mutuo que contribuya tanto al sistema como a la entidad en cuestión. Por otra parte, este sistema sería un gran aporte a las organizaciones encargadas de la mitigación del riesgo de desastre y a los entes administrativos, que dentro de sus labores está el ordenamiento del territorio.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Generar la metodología para la elaboración de un sistema de información geográfica que incorpore los parámetros de la escala de PDV con el fin de contribuir a la toma de decisiones en la gestión del riesgo volcánico, caso de estudio Volcán Nevado del Ruiz.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar e incorporar las variables que contempla la escala de PDV para su respectiva ponderación.

- Implementar la base de datos que almacene y clasifique la información correspondiente a las variables de la escala y establecer su comportamiento en el caso de estudio.

- Validar la aplicabilidad de la escala y el funcionamiento de la base de datos en un estudio de caso.

4. Antecedentes

Las ciencias de la tierra cuentan con diferentes ramas llenas de investigaciones y profundización en sus conocimientos y alcances. Estas, por ser muy físicas desde su origen presentan en ocasiones dificultades al momento de querer integrar temas sociales o humanos con la parte estructural de la rama en cuestión. Este, por ejemplo, es el caso de la vulcanología, ciencia que al pasar de las décadas ha evidenciado un importante avance investigativo llegando a diferentes aportes que permiten medir, categorizar y calcular diversos aspectos relacionados con los volcanes.

Para este proyecto se toma como base de partida la Escala de Potencial Destructivo volcánico propuesta por Lina Mera y Roberto Sandoval[1] en el año 2019, en la cual buscando saciar ciertos vacíos dentro de la vulcanología plantea una propuesta de escala con la que se pueda abordar el Potencial Destructivo Volcánico por medio de categorías y así contribuir a la evaluación del riesgo volcánico basado en el conocimiento del PDV.

Como antecedente base se puede iniciar mencionando a Tsuya[2] quien propuso una medida enfocada en el volumen de los materiales expulsados, la cual fue modificada 8 años después de su creación por Tsuya y Morimoto[3], donde cuantifican la intensidad eruptiva volcánica realizando el cálculo de la energía cinética del evento eruptivo en análisis. En esta escala

[1] MERA, Lina y SANDOVAL, Roberto, 2019. Propuesta de escala de medición del Potencial Destructivo de la actividad volcánica en el territorio. Tesis de grado. Universidad del Valle. 2019.
[2] TSUYA, H. Geological and petrological studies of volcano Fuji, 5. On the 1707 eruption of volcano Fuji. Bull. Earthqu. Res. Inst., 33, 841--888, Tokyo 1955.
[3] TSUYA, Hiromich y MORIMOTO Ryohei. Intensity (or magnitude) of volcanic eruptions. Types of volcanic eruptions in Japan. Bulletin of Volcanology. Volume 26, Issue 1, 1963.

también es considerada la energía calórica disipada como forma de cuantificar una erupción (Ver tabla 1).

Con respecto a la escala propuesta por Tsuya, los autores Martí Joan y Araña Vicente[4] mencionan como crítica de análisis, que para categorizar del 0 al IX como lo propone la escala de Tsuya se debe tener en cuenta el volumen total de los productos expulsado por el volcán al momento de la erupción, es decir, se depende de un dato numérico que abarque la totalidad de material sólido expulsado para poder realizar el análisis de una erupción.

[4] MARTÍ, Joan y ARAÑA, Vicente. Magnitud de las erupciones. La volcanología actual. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1993. p. 447.

Tabla de intensidad de la actividad volcánica, clasificada según el volumen de eyección sólida modificada de Tsuya, Hiromich y Morimoto Ryohei, tomada de la Tesis de grado de Lina Mera y Roberto Sandoval[5].

Tabla 1
Intensidad de la actividad volcánica

Escala de intensidad		Volcán ejemplo	Año de erupción	Eyección	
Grado	Límite de volumen de eyección (km^3)			Volumen (km^3)	Tipo
XI	>100	Tambora, Soembawa	1815	150	B, D
		Katmai, Alaska	1912	21	B
VIII	100 - 10	Krakatau, Sunda Str	1883	18	B, D
		St. Maria, Guatemala	1902	5.45	B
		Sakurajima	1914	2.2	A, B
VII	10-1	Bandaisan	1888	1.7	D
		Fujiyama	1707	0.8	B
		Komagatake,Hokkaido	1929	0.5	B
		Marina Loa, Hawaii	1950	0.46	A
		Asamayama	1783	0.2	A, B
		Tarumaisan	1909	0.2	A, B
		Sakurajima	1946	0.1	A, B
VI	1-0.1	Puna, Kilauea, Hawaii	1955	0.16	A
		Torishima, Izu	1939	0.09	A,B
		Mi_harayama, Oshima	1912-14	0.03	A, B
			1950-51	0.03	A,B
		Miyakejima	1940	0.02	A,B
V	0.1 – 0.01	Halemaumau, Kilauea	1954	0.012	A
		Tokachidake	1926	0.005	B,D
		Adatarasan	1900	0.004	D
		Etna, Sicily Showa-	1954	0.004	A
IV	0.01 – 0.001	Shinzan, Usu	1944	0.003	A,B
		Azttmasan	1893	0.0005	D
III	0.001 – 0.0001	Nakadake, Aso	1958	0.00025	D
		Meakandake	1955	0.00003	D
		Kusatsu-Shiranesan	1937-38	0.000025	D
II	0.0001 – 0.00001		1939	0.000025	D
		Akita-Yakeyama	1949, 51	Very small	D
I	0.00001>	Echigo-Yakeyama	1949	Very small	D
0	0	Volcanoes showing fumarolic activity only		0	0

A: Flujos de Lava B: Flujo de Piroclastos C: Viejos depósitos de ceniza

[5] MERA, Lina y SANDOVAL, Roberto, 2019. Propuesta de escala de medición del Potencial Destructivo de la actividad volcánica en el territorio. Tesis de grado. Universidad del Valle. 2019.

Posterior a la significativa propuesta realizada por Tsuya, George Walker[6] habla de la necesidad de modernizar la clasificación y terminología utilizada en la vulcanología, la cual tenía como foco la medición de los depósitos y menciona la importancia de considerar el vínculo existente con los fenómenos eruptivos. Walker menciona la necesidad de clasificar dichos fenómenos y de redefinir la terminología para así poder integrar nuevos términos a los ya existentes en las investigaciones vulcanológicas.

Para abordar esta idea, Walker[7] plantea cinco parámetros, los cuales son: magnitud, intensidad, poder de dispersión, violencia y potencial destructivo

Años después, Walker[8] revisa los parámetros que él mismo propuso y decide aplicarlos al volcán Taupo en Nueva Zelanda. Aquí es donde Walker[9] habla del término Potencial Destructivo, el cual describe como la destrucción de propiedades, tierras cultivadas y vidas humanas.

Por otra parte, Newhall y Self[10] se enfocan en la estimación de la magnitud de una erupción volcánica, y proponen el Índice de Explosividad Volcánica (IEV), el cual es un indicador del carácter explosivo de una erupción (ver tabla 2). Este índice se considera un complemento de la magnitud e intensidad de la que habló Walker en sus cinco parámetros. El IEV cuenta

[6] WALKER L., George, P. Explosive volcanic eruptions - a new classification scheme. July 1973, Vole 62, No. 2. p 431–446.
[7] Ibid. p 431–446.
[8] WALKER L., George, P. The Taupo pumice: Product of the most powerful known (ultraplinian) eruption?. August 1980. Volume 8, Issue 1. p. 69-94.
[9] Ibid. p. 69-94.
[10] NEWHALL G., Cristopher y SELF, Stephen. The Volcanic Explosivity Index (VEI) An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism. 1982. Vol 87, No. C2. p. 1231-1238.

con nueve categorías que van del 0 al 8 que reflejan la interacción entre la intensidad, magnitud y tasa de liberación de energía durante una erupción

Índice de Explosividad Volcánica (IEV). Modificada de Newhall y Self (1982). Tomada de la Tesis de grado de Lina Mera y Roberto Sandoval[11].

Tabla 2
Índice de Explosividad Volcánica

ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (IEV)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Descripción general	No explosiva	Baja	Moderada	Moderada a grande	Grande	Muy grande			
Descripción cualitativa	Efusiva		Explosiva		Cataclísmica Paroxísmica				
Tipo de erupción	Hawaiana		Vulcaniana			Ultrapliniana			
		Estromboliana		Pliniana					
Duración (horas de erupción continua)	<1				12				
		1 - 6							
			6 - 12						
Volumen de tefra (m3)	10^4	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{10}	10^{11}	10^{12}	10^{12}
Altura de la columna eruptiva (km)	< 0,1	0,1 - 1	1 - 5	3 - 15	10 - 25	> 25			
Inyección en la troposfera	Nula	Escasa	Moderada	Importante					
Inyección en la estratosfera	No	No	No	Posible	Segura	Significativa			

En la actualidad existen diversas formas de medir una erupción y cuantificarla. En la primera edición de la Enciclopedia Volcánica, Pyle[12] habla de la magnitud y la intensidad como las principales formas para abordar una escala que estudie las erupciones.

[11] MERA, Lina y SANDOVAL, Roberto, 2019. Propuesta de escala de medición del Potencial Destructivo de la actividad volcánica en el territorio. Tesis de grado. Universidad del Valle. 2019.
[12] PYLE, David. Sizes of Volcanic Eruptions. EN: The Encyclopedia of Volcanoes. 1st edition. Haraldur Sigurdsson. ACADEMIC PRESS. 23 octubre 1999. p. 263.

Con el fin de ir más allá de lo planteado anteriormente por otros autores, Pyle[13] expone el Potencial Destructivo como otro parámetro a tener en cuenta para la medición de las erupciones volcánicas. Por medio de este hace énfasis en el daño ocasionado en determinada área en la que exista presencia de elementos expuestos que pueden llegar a verse afectados por la actividad volcánica. Para esto establece cantidades determinadas de un producto que puede causar daños en el área que impacta.

En publicaciones posteriores Pyle[14] afirma que a pesar de la propuesta que expuso en la primera edición de la Enciclopedia Volcánica aún no se conocen métodos que permitan categorizar consecuencias, destructividad o potencial destructivo de erupciones pasadas o futuras.

Por otra parte, cuando se habla de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se abre un gran espectro de posibilidades para abordar cualquier rama de la ciencia. En el caso de la vulcanología, se tienen algunos ejemplos en los que se han utilizado los SIG con el fin de aportar información y poner herramientas a disposición de esta ciencia.

Alicia Felpeto, et al.[15] aplicaron los SIG a la vulcanología con el objetivo de obtener mapas de escenarios y peligro volcánico, basados en el uso de simulaciones de procesos eruptivos, haciendo uso del ArcView™ 8.2 by ESRI®.

Tania Gezan Matus plantea el uso de los SIG en la protección civil. Teniendo en cuenta la importancia que representa la gestión del riesgo y la protección de las sociedades, Tania

[13] Ibid. p. 269.
[14] PYLE, David. Sizes of Volcanic Eruptions. EN: The Encyclopedia of Volcanoes. 2 edición. Haraldur Sigurdsson. ACADEMIC PRESS, 2015. p. 263.
[15] Alicia Felpeto, et al. Automatic GIS-based system for volcanic hazard assessment. Journal of Volcanology and Geothermal Research 166. 2007.

Gezan afirma que “la herramienta SIG sirve de apoyo en los temas relacionados con la Protección Civil; por tal motivo, es importante enfocar el análisis espacial en función de los objetivos que se desean cumplir” [16]

Esta es una muestra de los aportes que le dan los Sistemas de Información Geográfica a las ciencias de la tierra. Sin embargo, no se conoce de un SIG especializado en procesar información vulcanológica relevante que permita con sus resultados obtener información significativa.

[16] Tania Gezan. Sistemas de información geográfica aplicados en protección civil. Revista de Geografía Norte Grande, 27: 103-109. 2000.

5. Referente teórico

Este proyecto tiene sus bases fundadas en la ciencia vulcanológica, aunque con un enfoque principalmente social, debido a que su objetivo es contribuir con información veraz y a corto plazo, a la gestión del riesgo de poblaciones que se encuentren en áreas de influencia volcánica.

Actualmente, la escala de PDV es el mayor avance con respecto a una metodología que aborde la actividad volcánica e involucre aspectos poblacionales, integrando así información física y social.

Esta investigación busca ampliar la cantidad de parámetros tenidos en cuenta por la escala de PDV, buscando enriquecer los resultados obtenidos. Además, tiene como objetivo llevar la escala a los SIG, haciendo uso provechoso de los avances tecnológicos para así contribuir a la gestión del riesgo de poblaciones potencialmente amenazadas por actividad volcánica.

Ramirez. V. et al.[17] abordan a Maskrey hablando de los desastres no solo como sucesos que afectan territorios y superan su capacidad de reacción e intervención, sino también como problemáticas sin una respuesta encontrada en el desarrollo.

Aquí es donde este proyecto toma mayor relevancia y busca ir más allá, empalmando los estudios vulcanológicos y de gestión del riesgo con los SIG. Sobre lo cual Eustaquio. C.[18]

[17] Ramirez. V. et al. Treinta años después de la erupción del volcán Nevado del Ruiz: memorias, voces, reparación y escenarios de participación. Revista Colombiana de Sociología. 2017.
[18] Eustaquio. C. Aplicación de sistemas de información geográfica en la determinación de áreas vulnerables a riesgos naturales. Navegando entre brumas. 1998.

menciona que “Esto nos permitirá adquirir los conocimientos necesarios sobre los análisis de riesgos de manera conveniente y óptima, así como la ubicación de la infraestructura física y social que corresponda a áreas vulnerables, a fin de evaluar los posibles daños, el impacto poblacional ocasionado por los desastres naturales, etc., teniendo al SIG como una herramienta fundamental para la toma de decisiones y para la formulación de planes y estrategias de prevención y atención de desastres naturales.”

Además, como lo explica Eustaquio. C.[19], esta investigación también tiene como fin la aplicación de los SIG en las distintas etapas de planificación y toma de decisiones que contribuyan a planes que mitiguen las posibles afectaciones.

[19] Eustaquio. C. Aplicación de sistemas de información geográfica en la determinación de áreas vulnerables a riesgos naturales. Navegando entre brumas. 1998.

6. Metodología

6.1 Enfoque metodológico

Este proyecto se desarrolla por medio de un enfoque cuantitativo debido a que requiere de la identificación y cruce de diferentes variables, de carácter físico y social que permita generar como resultado información que contribuya a estudios posteriores.

En este proyecto se pretende trabajar con las variables que hacen parte de la escala de medición del Potencial Destructivo Volcánico, y con las variables que se pretenden incluir para de esa manera llevar la escala a otro nivel de productos y alcances.

Además, se habla de una investigación aplicada puesto que se basa en la propuesta de escala para la medición del Potencial Destructivo Volcánico formulada en la tesis de grado realizada por Lina María Mera Uribe y Roberto Julian Sandoval Reyes en el año 2019; con lo cual se busca la potencialización de esta por medio de la ampliación de sus alcances, adicionando nuevas variables, con la finalidad de consolidar un sistema de información geográfico que permita llevar la escala de los documentos a la realidad informática.

6.2 Tipo de estudio

El tipo de estudio de este proyecto se define como correlacional ya que aborda diferentes variables, que por el momento se resumen en la Actividad Eruptiva y la población, las cuales son clasificadas por medio de categorías internas y se realiza la ponderación a cada una, para posteriormente hacer el cruce de estas, lo cual arroja un grupo de cifras que se organizan por

medio de una matriz, lo que finalmente se refleja en la clasificación por medio de las categorías de la escala de PDV.

6.3 Procedimiento

A continuación, se muestran las fases del proyecto.

Tabla 3
Fases del proyecto

Fase 1 Identificación y diagnóstico	Fase 2 Diseño y requerimientos	Fase 3 Validación
Identificar las nuevas variables que tienen como fin ser agregadas a la escala de PDV, realizando la asignación de valores correspondientes.	Diseñar la base de datos que almacene y clasifique la información de que alimenta el sistema.	Validar el funcionamiento de la escala y la base de datos realizando un estudio de caso aplicado al volcán Nevado del Ruiz.

6.3.1 Identificación de variables y asignación de valores

La escala de PDV cuenta en la actualidad con dos parámetros, los cuales involucran aspectos físicos y sociales, brindando como resultado una clasificación completa inexistente en la ciencia vulcanológica previo a la creación de esta. Los parámetros básicos de la escala son la Actividad Eruptiva Volcánica (AEV), abordada desde el Tipo de Actividad Eruptiva (TAE) y la población, abordada desde las Unidades Territoriales (UT).

Los Tipos de Actividad Eruptiva que se escogieron para la escala fueron seleccionados por ser los más frecuentes a nivel mundial. Los cuales se muestran a continuación:

Tabla 4
Tipos de Actividad Eruptiva

ORDEN POR PELIGROSIDAD	TIPO DE ACTIVIDAD ERUPTIVA
1	Pliniana
2	Vulcaniana
3	Estromboliana
4	Hidromagmática
5	Efusiva

Para el parámetro Población se decidió trabajar con la metodología establecida por la Comisión Europea de Estadística (EUROSTAT)[20]. Esta metodología se encarga de realizar una clasificación del territorio basada en la cantidad de población que se encuentre asentada en determinadas regiones de análisis. Las divisiones propuestas por EUROSTAT se denominan NUT, proveniente de sus siglas en inglés The Nomenclature of Territorial Units for Statistics:

Tabla 5
Unidades Territoriales

NIVEL (Unidad Territorial)	POBLACIÓN MÍNIMA	POBLACIÓN MÁXIMA
NUTS 1	3’000.000	7’000.000
NUTS 2	800.000	3’000.000
NUTS 3	150.000	800.000

Como muestra la tabla anterior, la clasificación de las Unidades Territoriales se divide en 3 niveles iniciales, para lo que Eurostat[21] propone un cuarto nivel que pueda satisfacer poblaciones inferiores por medio de un sistema de Unidades Administrativas Locales (LAU). Obteniendo finalmente la siguiente tabla:

[20] EUROPA. EUROSTAT. Basic principles. EN: Regions in the Europan Union Nomenclature of territorial units for satistics. Italy. 2015. p. 4 – 5.
[21] EUROPA. EUROSTAT. Local Administrative Units (LAU). [.s.f]

Tabla 6
Unidades Territoriales con LAU

NIVEL (Unidad Territorial)	POBLACIÓN MÍNIMA	POBLACIÓN MÁXIMA
NUTS 1	Población mayor a 3’000.000 de habitantes	
NUTS 2	800.000	3’000.000
NUTS 3	150.000	800.000
LAU	Población menor a 150.000 habitantes	

Uno de los fines de este proyecto es complementar la escala con la adición de variables que le aporten significado a su ejecución y aplicación en casos reales.

Para la identificación de un nuevo parámetro se tendrán en cuenta componentes relacionados a la salud de las poblaciones ubicadas dentro de áreas de incidencia volcánica, las cuales juegan un papel fundamental para el mantenimiento y desarrollo de la misma.

El parámetro a incorporar estará basado en la afectación que pueden tener los espacios encargados de prestar apoyo médico, partiendo desde la importancia de los servicios que brindan y la cantidad de pacientes que dependen de estos para el mantenimiento de la población.

El sector salud es el encargado de que las sociedades puedan sobrellevar las dificultades médicas que se le pueda presentar a cualquier individuo. Por esto la importancia de incluir la variable Salud, abordada desde la Cantidad de Profesionales de la Salud (CPS), dentro de la escala de PDV.

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), por cada 10.000 habitantes debería haber 23 profesionales de la salud, teniendo en cuenta médicos y personal de enfermería. A nivel

nacional, Colombia se encuentra en déficit con respecto a estas cifras, contando con 18 profesionales de la salud por cada 10.000 habitantes.

Partiendo de las indicaciones sugeridas por la OMS, se propone la creación de unos rangos basados en el porcentaje de cumplimiento de los lineamientos anteriormente mencionados, en los que se identifican tres categorías relacionadas al estado de las poblaciones seleccionadas con respecto a la cantidad de profesionales de la salud con la que cuentan.

Las categorías propuestas son las siguientes:

Tabla 7
Porcentaje de cumplimiento de profesionales de la salud por habitantes.

Estado	**Porcentaje (%)**	**Profesionales de salud por cada 10.000 habitantes**
Alto	Mayor a 80%	Mas de 18,3
Medio	Entre 50 y 80%	Entre 11,5 y 18,3
Bajo	Menor a 50%	Menos de 11,5

Debido a que la escala de PDV involucra parámetros tanto cuantitativos como cualitativos, esta es abordada por medio de un método estadístico que involucre ambos aspectos. Por ende, la metodología escogida son las técnicas de decisión multicriterio, sobre las que Carlos Romero[22] asegura que están planteadas para obtener los mejores resultados dentro de un grupo infinito o finito de posibilidades.

[22] ROMERO, Carlos. Introducción: Estructura de un proceso de decisión. EN: Análisis de las decisiones Multicriterio. Madrid, 1996. Primera Edición. p. 14

La metodología de decisión multicriterio[23] divide en varias partes algo complejo, dando la capacidad a quienes lideren el proyecto, de analizar individualmente los diferentes criterios que componen el tema a trabajar.

Este método[24], además de involucrar factores cuantitativos y cualitativos, permite manejar un gran número de datos, variables y criterios que le suman relevancia y peso al proyecto en desarrollo.

Para jerarquizar los parámetros de la escala, se hizo uso del proceso de jerarquía analítica[25], el cual está diseñado para, por medio de la razón y la intuición, seleccionar la mejor opción dentro de un grupo de posibilidades previamente evaluadas.

Thomas L. Saaty y Luis G. Vargas[26] hablan de las labores que recaen en el encargado de tomar las decisiones. Las cuales son la ejecución de juicios de comparación, los cuales sirven de base para la posterior identificación de prioridades y la clasificación de alternativas.

La descomposición jerárquica de sistemas complejos[27] es el mecanismo que se usa para dar solución a distintos problemas. Lo primero que se debe realizar es la organización de los factores que impiden la toma de decisiones. Estos deben ordenarse de manera gradual, yendo desde lo general hasta lo específico.

---

[23] Ibid. p.14

[24] GRAJALES QUINTERO, Alberto; SERRANO MOYA, Edgar y HAHN VON-H, Christine. El proceso de decisión. EN: Los Métodos y Procesos Multicriterio para la Evaluación. Caldas, 2013. N° 36. p. 295.

[25] SAATY, Thomas y VARGAS, Luis. Chapter 1 How to Make a Decision. EN: Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. New York, 2012. Second Edition. p. 1.

[26] Ibid. p. 1

[27] Ibid. p. 2-3.

Cuando se trabaja por medio de la jerarquía analítica, se habla del término "vector de prioridades", el cual L. Saaty y Luis G. Vargas[28] definen como una clasificación numérica de las alternativas que indica un orden de preferencia entre ellas.

El proceso a utilizar para la asignación de valores es el siguiente.

Teniendo n parámetros, se debe asignar el número 1 al que se le asigne mayor importancia, el número 2 al siguiente en importancia, hasta asignar el número n al que se considere menos importante.

La expresión matemática para la obtención de los valores es la siguiente:

$$wj = \frac{\frac{1}{rj}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{ri}}$$

Donde wj es el peso asignado a cada parámetro dependiendo de la posición que ocupe este dentro de la totalidad tenida en cuenta, y rj es el lugar o posición que ocupa el parámetro j-ésimo en la clasificación establecida anteriormente.

La jerarquía de las variables existentes en la escala de PDV se realizó a través del juicio de expertos, los cuales determinaron un orden teniendo en cuenta prioridades y magnitudes de afectación. Caso que Escobar y Cuervo definen como "una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones. La identificación de las personas que formarán parte del juicio de expertos es una parte crítica en este proceso''[29]

[28] Ibid. p. 64.

[29] ESCOBAR PÉREZ, Jazmine y CUERVO MARTÍNEZ, Ángela. Juicio de expertos. Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. Bogotá: Avances en Medición, 2008. p. 29.

El orden jerárquico de las variables de la escala de PDV, determinado por los expertos consultados, fue "dar mayor relevancia al parámetro Población, asignándole a este el valor $\frac{1}{1}$ y al parámetro TAE, el valor $\frac{1}{2}$. Esta decisión se tomó debido a que, con los distintos argumentos ofrecidos por los expertos, se concluyó que la actividad eruptiva en cualquier volcán puede variar en tiempos muy largos y no son muy frecuentes, por el contrario, la dinámica poblacional varía en tiempos relativamente cortos al igual que sus respectivas relaciones sociales, culturales, económicas y modificaciones antrópicas en el territorio."[30]

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos de este proyecto es la inclusión de una nueva variable a la escala, que en este caso será el parámetro Salud, a este se le debe atribuir un lugar dentro de la jerarquía ya asignada. Partiendo de la estructura existente en la escala, se puede determinar que el factor salud se ubica en la tercera posición a nivel de peso en la escala, representado numéricamente con un valor de $\frac{1}{3}$.

A continuación, se muestran los cálculos matemáticos realizados para la ponderación de cada una de las variables y sus respectivas alternativas.

Parámetros:

1. Población (w1)
2. AE (w2)
3. Salud (w3)

[30] MERA, Lina y SANDOVAL, Roberto, 2019. Propuesta de escala de medición del Potencial Destructivo de la actividad volcánica en el territorio. Tesis de grado. Universidad del Valle. 2019.

$$wj = \frac{\frac{1}{rj}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{ri}}$$

$$w1 = \frac{\frac{1}{1}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}} = \frac{1}{1.83} = 0.545$$

El valor que se le asignó al parámetro población (NUT) es 0.545

$$w1 = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}} = \frac{0.5}{1.83} = 0.273$$

El valor que se le asignó al parámetro Actividad Eruptiva (TAE) es 0.273

$$w1 = \frac{\frac{1}{3}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}} = \frac{0.3}{1.83} = 0.182$$

El valor que se le asignó al parámetro Salud (CPS) es 0.182

Los pesos asignados a las alternativas de cada uno de los parámetros son los siguientes:

UT

1. NUTS 1 (w1)
2. NUTS 2 (w2)
3. NUTS 3(w3)
4. LAU (w4)

$$wj = \frac{\frac{1}{rj}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{ri}}$$

$$w1 = \frac{\frac{1}{1}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}} = \frac{1}{2.083} = 0.48$$

El valor asignado a la Unidad Territorial NUTS 1 es 0.48

$$w2 = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}} = \frac{0.5}{2.083} = 0.24$$

El valor asignado a la Unidad Territorial NUTS 2 es 0.24

$$w3 = \frac{\frac{1}{3}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}} = \frac{0.3}{2.083} = 0.16$$

El valor asignado a la Unidad Territorial NUTS 3 es 0.16

$$w4 = \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}} = \frac{0.25}{2.083} = 0.12$$

El valor asignado a la Unidad Territorial LAU es 0.12

TAE

1. Pliniana (w1)
2. Vulcaniana (w2)
3. Estromboliana (w3)
4. Hidromagmática (w4)
5. Efusiva (w5)

$$wj = \frac{\frac{1}{rj}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{ri}}$$

$$w1 = \frac{\frac{1}{1}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{5}} = \frac{1}{2.283} = 0.438$$

El valor asignado al TAE Pliniana es 0.438

$$w2 = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{5}} = \frac{0.5}{2.283} = 0.219$$

El valor asignado al TAE Vulcaniana es 0.219

$$w3 = \frac{\frac{1}{3}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{5}} = \frac{0.3}{2.283} = 0.146$$

El valor asignado al TAE Estromboliana es 0.146

$$w4 = \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{5}} = \frac{0.25}{2.283} = 0.109$$

El valor asignado al TAE Hidromagmática es 0.109

$$w5 = \frac{\frac{1}{5}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{5}} = \frac{0.2}{2.283} = 0.088$$

El valor asignado al TAE Efusiva es 0.088

CPS

1. Alto (w1)
2. Medio (w2)
3. Bajo (w3)

$$wj = \frac{\frac{1}{rj}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{ri}}$$

$$w1 = \frac{\frac{1}{1}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}} = \frac{1}{1.8} = 0.545$$

El valor asignado al Cumplimiento en salud Alto es 0.545

$$w2 = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}} = \frac{1}{1.8} = 0.273$$

El valor asignado al Cumplimiento en salud Medio es 0.273

$$w3 = \frac{\frac{1}{3}}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}} = \frac{1}{1.8} = 0.182$$

El valor asignado al Cumplimiento en salud Bajo es 0.182

Posterior a la asignación de valores de cada uno de los parámetros se procede a realizar una suma ponderada la cual "permite ponderar una serie de alternativas en función de un grupo de criterios"[31]. La ecuación para desarrollar el proceso es la siguiente:

$$wi = \sum_{i=1}^{n} \quad (wj \times xij)$$

Siendo:

wi: Ponderación final obtenida de cada alternativa.

wj: Peso de cada variable obtenido por uno de los métodos de ponderación.

xij: Valor de cada variable para cada alternativa.

El modelo de la ecuación reemplazando la simbología es el siguiente:

$$PDV = (UT \times NUT) + (AE \times TAE) + (S \times CPS)$$

$$PDV = (0.545 \times NUT) + (0.273 \times TAE) + (0.182 \times CPS)$$

Siendo:

PDV: Ponderación del Potencial Destructivo volcánico.

[31] GUIJARRO MARTÍNEZ, Francisco y AZNAR BELLVER, Jerónimo. Suma ponderada. Nuevos métodos de valoración. Modelos multicriterio. Valencia: Universitat Politecnica, 2012. p. 50.

UT: Ponderación del parámetro Población.

NUT: Ponderación de las NUT.

AE: Ponderación de la actividad eruptiva.

TAE: Ponderación de los tipos de actividad eruptiva.

S: Ponderación de la Salud

CPS: Ponderación de la Cantidad de Profesionales de la Salud

A los resultados de la suma ponderada se le realiza una multiplicación por 100 con el fin de obtener el valor en porcentajes. De este modo, se obtienen los datos de la unión entre los diferentes parámetros de TAE, UT y CPS. Observando valores entre 48,036% como punto máximo y 12,254% como punto mínimo.

A partir de esto se realiza la asignación de niveles a la escala. La cual cuenta con 8 grados que agrupan datos por la cercanía numérica de los mismos. La escala inicia desde el grado 8, el cual comprende los valores superiores al 40%. El grado 7 incluye entre el 35% y 39,9%. El grado 6 va desde el 30% al 34,5%. Posteriormente el grado 5 reúne los valores entre 25% y 29,9%. El grado 4 incluye desde el 20% hasta el 24,5%. El grado 3 inicia con los valores superiores al 15% y se extiende hasta el 19,9%. El grado 2 va desde el 10% hasta el 14,9%. Y el grado 1 son todos los valores inferiores al 10%, los cuales corresponden a cualquier tipo de actividad volcánica sin influencia directa sobre alguna unidad territorial.

6.3.2 Diseño de la base de datos

La creación de una base de datos puede tomarse como punto de partida para la realización de análisis e incluso puede servir como herramienta para la toma de decisiones. Por ello para

este proyecto, el diseño de una base de datos que reúna de manera ordenada y eficiente la información requerida por la escala de Potencial Destructivo volcánico toma una relevancia mayor.

Para el sistema que se pretende construir se busca realizar la consolidación más adecuada de las entidades presentes en el proyecto, además de seleccionar las relaciones que vincularán dichas entidades, con el fin de obtener un número importante de consultas que aporten de manera significativa al sistema en construcción, a las entidades que pretendan utilizarlo y sacar provecho de este, y por último y no menos importante, a las poblaciones que se verían beneficiadas a partir de proyectos que involucren acciones sobre sus territorios.

La base de datos para este sistema tiene como núcleo la entidad volcán. Que juega como enlace principal con las otras entidades, sirviendo de conexión y columna vertebral para el sistema. El volcán se toma como entidad principal debido a que la escala tiene como enfoque la medición y descripción del Potencial Destructivo Volcánico. Que, si bien en esta se ven involucrados parámetros sociales, la escala es aplicada a los volcanes.

La entidad volcán debe contar con los atributos ID, como principal identificador de esta, también se debe asignar el nombre, el área de influencia, que es un dato obtenido a partir de los mapas de amenaza del volcán en estudio y también debe contar con la información correspondiente a la escala como grado y rango en porcentaje.

En la base de datos el volcán se relaciona con la escala de PDV, que es la base metodológica de este proyecto. De esta manera se le da explicación al grado de potencial destructivo del volcán en cuestión, y a partir de esto se puede acceder al porcentaje de destructividad y a la descripción que posee cada grado de la escala.

Por otra parte, la entidad volcán tiene vínculo con el departamento, que es la manera de referenciar geográficamente su ubicación. También se relaciona con la entidad municipio, puesto que es la ruta por la cual se agregan los datos poblacionales obtenidos a partir de estudios demográficos, que en el caso de Colombia provienen del DANE.

Por último, para continuar de manera coherente y complementar la información de referenciación espacial del volcán al cual se le aplique la escala, la entidad departamento es relacionada con el país. Para, de esta manera obtener una información geográfica completa referente a la localización.

6.3.3 Validación del sistema y aplicación a un estudio de caso

El sistema de información geográfico pretende ser validado realizando un estudio de caso en el volcán Nevado del Ruiz. Debido a la importancia histórica que este representa para Colombia.

Para la ejecución del sistema deben ser obtenidos los datos correspondientes a las variables involucradas en la escala. De esta manera se busca alimentar la base de datos que por medio del sistema entregará las respuestas solicitadas por los usuarios interesados.

Los datos a tener en cuenta para la aplicación de la escala de PDV en el caso de estudio escogido son los siguientes:

Nombre: Volcán Nevado del Ruiz

País: Colombia

Departamento: Caldas

TAE: Pliniana

Área de influencia (km2): 1.620,2

Población en el área de influencia: 899.931

7. Resultados

Teniendo en cuenta las variables previamente identificadas para la Escala de PDV se procede a realizar el cruce de estas por medio de la metodología estadística elegida para obtener los valores finales de la escala. Los cuales permitirán asignarle un nivel de Potencial Destructivo Volcánico al caso de estudio escogido.

El cruce de los parámetros Tipo de Actividad Eruptiva, Cantidad de Población y Cantidad de Profesionales de la Salud da como resultado la siguiente tabla:

Tabla 8
Resultados del cruce de Variables según el modelo matemático de PDV. Elaboración propia.

		TAE						
		Pliniana	Vulcaniana	Estromboliana	Hidromagmática	Efusiva		
UT	NUTS 1	0,48036	0,42057	0,40064	0,39054	0,384814	Alto	**CPS**
		0,43086	0,37107	0,35114	0,34104	0,33531	Medio	
		0,41429	0,35451	0,33458	0,32448	0,31874	Bajo	
	NUTS 2	0,34956	0,28977	0,26984	0,25974	0,25401	Alto	
		0,30006	0,24027	0,22034	0,21024	0,20451	Medio	
		0,28349	0,22371	0,20378	0,19368	0,18794	Bajo	
	NUTS 3	0,30596	0,24617	0,22624	0,21614	0,21041	Alto	
		0,25646	0,19667	0,17674	0,16664	0,16091	Medio	
		0,23989	0,18011	0,16018	0,15008	0,14434	Bajo	
	LAU	0,28416	0,22437	0,20444	0,19434	0,18861	Alto	
		0,23466	0,17487	0,15494	0,14484	0,13911	Medio	
		0,21809	0,15831	0,13838	0,12828	0,12254	Bajo	

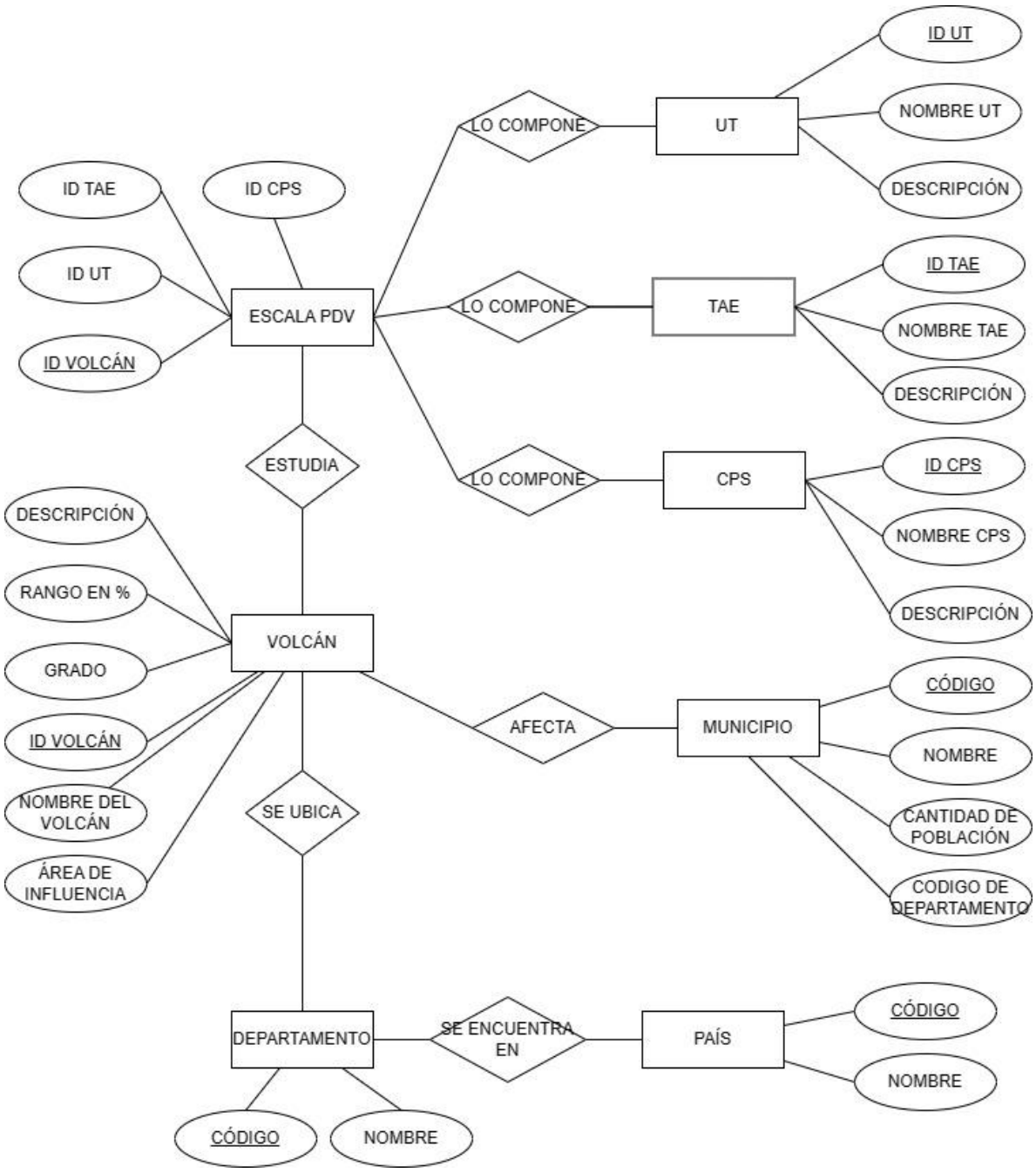
Por medio de esta información se llega a la tabla final, en la cual se explican cada uno de los niveles que componen la Escala de PDV y su respectiva descripción.

Tabla 9
Escala de Potencial Destructivo Volcánico. Elaboración propia.

GRADO	VALOR EN LA MATRIZ	DESCRIPCIÓN
8	> 40%	Evento eruptivo que puede ser pliniano, vulcaniano o estromboliano con incidencia en unidades territoriales con población mayor a 3.000.000 de habitantes y un porcentaje de cumplimiento de profesionales de la salud Alto, Medio o Bajo.
7	Entre 35% y 39,9%	Evento eruptivo que puede ser de tipo vulcaniano, estromboliano, hidromagmático o efusivo en el que se puedan ver involucradas de manera directa unidades territoriales con poblaciones superiores a los 3.000.000 de habitantes, con un porcentaje de cumplimiento de profesionales de la salud Alto, Medio o Bajo.
6	Entre 30% y 34,9%	Evento eruptivo que puede ser Pliniano, estromboliano, hidromagmático o efusivo con incidencia en unidades territoriales con población mayor a 150.000 habitantes y un porcentaje de cumplimiento de profesionales de la salud Alto, Medio o Bajo.
5	Entre 25% y 29,9%	Evento eruptivo que puede ser pliniano, vulcaniano, estromboliano, hidromagmático o efusivo, que pueda afectar de manera directa unidades territoriales con poblaciones de hasta 3.000.000 de habitantes, con un porcentaje de cumplimiento de profesionales de la salud Alto, Medio o Bajo.
4	Entre 20% y 24,9%	Evento eruptivo que puede ser pliniano, vulcaniano, estromboliano, hidromagmático o efusivo, que pueda afectar de manera directa unidades territoriales con poblaciones de hasta 3.000.000 de habitantes, con un porcentaje de

		cumplimiento de profesionales de la salud Alto, Medio o Bajo.
3	Entre 15% y 19,9%	Evento eruptivo que puede ser de tipo vulcaniano, estromboliano, hidromagmático o efusivo en el que se puedan ver involucradas de manera directa unidades territoriales con poblaciones inferiores a los 3.000.000 de habitantes, con un porcentaje de cumplimiento de profesionales de la salud Alto, Medio o Bajo.
2	Entre 10% y 14,9%	Evento eruptivo que puede ser de tipo estromboliano, hidromagmático o efusivo con incidencia en unidades territoriales con población menor a 800.000 habitantes y un porcentaje de cumplimiento de profesionales de la salud Medio o Bajo.
1	Entre 0% y 9,9%	Cualquier evento eruptivo volcánico que no tenga incidencia directa sobre alguna unidad territorial.

Con respecto a la base de datos, a continuación, se muestra el diagrama Entidad Relación, en el cual se evidencia la estructura de esta, dando claridad al orden, jerarquías y flujos de la información dentro del sistema.



Como resultado final de la aplicación de la Escala de PDV al Volcán Nevado del Ruiz se identifica que es un volcán con un Tipo de Actividad Eruptiva pliniana, con un área de influencia de 1.620,2 km2, los cuales abarcan a una población de 899.931, la cual corresponde a una Unidad Territorial de tipo NUTS 2. Por otra parte, tiene un porcentaje de cumplimiento de profesionales de la salud del 69,7%, lo que significa que se encuentra categorizado como un nivel medio de cumplimiento.

A partir de esta información se puede afirmar que el Volcán Nevado del Ruiz tiene un nivel 6 dentro de la Escala de PDV.

8. Conclusiones

Partiendo de la base de la ya existente escala de PDV, se logra complementar por medio de la adición de una variable relacionada con el ámbito de la salud. Entendiendo la importancia que esta representa para el desarrollo y funcionamiento de las sociedades. Esta variable es representada dentro de la escala por el porcentaje de cumplimiento del número ideal de profesionales de la salud con relación a la cantidad de habitantes.

Por medio de un cruce de variables se obtuvieron los valores potenciales que pueden llegar a tener los volcanes que sean analizados por medio de la escala, contando previamente con los datos necesarios para el funcionamiento de esta.

Se realizó el desarrollo del esquema para la creación de una base de datos que soporte la información necesaria para el funcionamiento de un aplicativo que permita consultar datos de localización, área de influencia, grado de Potencial Destructivo Volcánico, porcentaje de Potencial Destructivo Volcánico, Nombre del volcán en estudio, entro otros.

Se efectuó la aplicación de la escala al Volcán Nevado del Ruiz, el cual está categorizado con un Tipo de Actividad Eruptiva Pliniana, cuenta con un área de influencia de 1.620,2 km2, abarcando una población de 899.931, tiene un porcentaje de cumplimiento de profesionales de la salud del 69,7%, lo que genera posterior al desarrollo de las ecuaciones de jerarquización y el cruce de las variables un resultado de grado 6 dentro de los niveles de la escala de PDV.

Con esto se dejan sentadas las bases para la elaboración de un Sistema de Información Geográfico que sirva como apoyo a las entidades que trabajen con vulcanología y así mismo

con gestión del riesgo, generando un impacto en las sociedades que habitan en territorios ubicados dentro de áreas de influencia volcánica.

9. Referencias

- Alicia Felpeto, et al. Automatic GIS-based system for volcanic hazard assessment. Journal of Volcanology and Geothermal Research 166. 2007. http://www.gvb-csic.es/GVB/VORIS/felpetoetalJVGR1662007.pdf

- Chang, Kang-Tsung. Introduction to Geographic Information Systems, 9th edn. New York: McGraw-Hill. 2019.

- CORONADO PADILLA, Jorge. Escalas de Medición. Bogotá, D. C: Paradigmas, Vol 2, (2), julio-diciembre de 2007. p. 104. ISSN 1909-4302. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4942056

- ESCOBAR PÉREZ, Jazmine y CUERVO MARTÍNEZ, Ángela. Juicio de expertos. Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. Bogotá: Avances en Medición, 2008. p. 29

- EUSTAQUIO Carmen. Aplicación de sistemas de información geográfica en la determinación de áreas vulnerables a riesgos naturales. Navegando entre brumas. 1998.

- EUROPA. EUROSTAT. Basic principles. EN: Regions in the Europan Union Nomenclature of territorial units for satistics. Italy. 2015. p. 4 – 5.

- GRAJALES QUINTERO, Alberto; SERRANO MOYA, Edgar y HAHN VON-H, Christine. El proceso de decisión. EN: Los Métodos y Procesos Multicriterio para la Evaluación. Caldas, 2013. N° 36. p. 295.

- GUIJARRO MARTÍNEZ, Francisco y AZNAR BELLVER, Jerónimo. Suma ponderada. Nuevos métodos de valoración. Modelos multicriterio. Valencia: Universitat Politecnica, 2012. p. 50

- Kenneth E. Foote and Margaret Lynch. Geographic Information Systems as an Integrating Technology: Context, Concepts, and Definitions. The Geographer's Craft Project, Department of Geography, University of Texas at Austin. 1996. http://gisweb.massey.ac.nz/topic/webreferencesites/whatisgis/texaswhatisgis/texas/intro.htm

- MARTÍ, Joan y ARAÑA, Vicente. Magnitud de las erupciones. *La volcanología actual. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1993. p. 447.* https://www.fundaciongarciasineriz.es/wp-content/uploads/attachments/AFelpeto.pdf

- MERA, Lina y SANDOVAL, Roberto, 2019. *Propuesta de escala de medición del Potencial Destructivo de la actividad volcánica en el territorio. Tesis de grado. Universidad del Valle. 2019.*

- NEWHALL G., Cristopher y SELF, Stephen. The Volcanic Explosivity Index (VEI) An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism. 1982. Vol 87, No. C2. p. 1231-1238.

- PYLE, David. Sizes of Volcanic Eruptions. EN: The Encyclopedia of Volcanoes. 1st edition. Haraldur Sigurdsson. ACADEMIC PRESS. 23 octubre 1999. p. 263.

- PYLE, David. Sizes of Volcanic Eruptions. EN: The Encyclopedia of Volcanoes. 2 edición. Haraldur Sigurdsson. ACADEMIC PRESS, 2015. p. 263.

- RAMIREZ. V. et al. Treinta años después de la erupción del volcán Nevado del Ruiz: memorias, voces, reparación y escenarios de participación. Revista Colombiana de Sociología. 2017.

- ROMERO, Carlos. Introducción: Estructura de un proceso de decisión. EN: Análisis de las decisiones Multicriterio. Madrid, 1996. Primera Edición. p. 14

- SAATY, Thomas y VARGAS, Luis. Chapter 1 How to Make a Decision. EN: Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. New York, 2012. Second Edition. p. 1

- SIGURDSSON, Haraldur. Introduction. EN: The Encyclopedia of Volcanoes. 1st edición. Haraldur Sigurdsson. ACADEMIC PRESS. 23 octubre 1999. p. 2

- Tania Gezan. Sistemas de información geográfica aplicados en protección civil. Revista de Geografía Norte Grande, 27: 103-109. 2000. http://redae.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/43303/35099

- TSUYA, H. Geological and petrological studies of volcano Fuji, 5. On the 1707 eruption of volcano Fuji. Bull. Earthqu. Res. Inst., 33, 841--888, Tokyo 1955.

- TSUYA, Hiromich y MORIMOTO Ryohei. Intensity (or magnitude) of volcanic eruptions. Types of volcanic eruptions in Japan. Bulletin of Volcanology. Volume 26, Issue 1, 1963.

- PYLE, David. Sizes of Volcanic Eruptions. EN: The Encyclopedia of Volcanoes. 1st edition. Haraldur Sigurdsson. ACADEMIC PRESS. 23 octubre 1999. p. 263.

- PYLE, David. Sizes of Volcanic Eruptions. EN: The Encyclopedia of Volcanoes. 2 edición. Haraldur Sigurdsson. ACADEMIC PRESS, 2015. p. 263.

- Ramirez. V. et al. Treinta años después de la erupción del volcán Nevado del Ruiz: memorias, voces, reparación y escenarios de participación. Revista Colombiana de Sociología. 2017

- Tania Gezan. Sistemas de información geográfica aplicados en protección civil. Revista de Geografía Norte Grande, 27: 103-109. 2000

- WALKER L., George, P. Explosive volcanic eruptions - a new classification scheme. July 1973, Vole 62, No. 2. p 431–446.

- WALKER L., George, P. The Taupo pumice: Product of the most powerful known (ultraplinian) eruption? August 1980. Volume 8, Issue 1. p. 69-94