

MODELO DE LOCALIZACIÓN DE ALBERGUES TEMPORALES EN CASO DE SISMO EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI.

ADRIANA ISABEL ARIAS ANDRADE

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2024

MODELO DE LOCALIZACIÓN DE ALBERGUES TEMPORALES EN CASO DE SISMO EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI.

ADRIANA ISABEL ARIAS ANDRADE

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:
MAGISTER EN INGENIERIA - 7716

DIRECTORES
PABLO CÉSAR MANYOMA VELÁSQUEZ, PHD
CARLOS JULIO VIDAL HOLGUÍN, PHD

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2024

Resumen

En el transcurso de los años, la logística humanitaria ha tomado mayor relevancia entre los investigadores, ya que se ha demostrado que los esfuerzos logísticos representan alrededor del 80% de las operaciones de socorro. Y contar con un plan de acción permite dar una respuesta efectiva a los damnificados y mitigar el impacto del desastre.

Cerca del 83% de la población colombiana está ubicada en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, considerando a Cali la ciudad más grande en una zona de alta sismicidad. El nivel de respuesta a un desastre natural es un tema desafiante en el municipio, y este no cuenta con un plan de localización de albergues temporales para remitir a las víctimas de sismos en caso de que se requiera.

Con el fin de construir herramientas que permitan interconectar las redes de logística humanitaria de forma eficiente y aumentar su nivel de respuesta, se busca desarrollar un modelo para localizar albergues temporales en caso de sismos en la ciudad de Santiago de Cali.

En la literatura no se encuentra una estandarización para los criterios de selección de alojamientos temporales. Este estudio basa su selección en la cercanía a un centro de atención médica, capacidad estimada, características mecánicas del suelo y si se presentan daños en la infraestructura en un radio determinado. Al mismo tiempo, el objetivo del modelo es la minimización de la distancia total recorrida entre el lugar del siniestro a los potenciales albergues.

Al validar el modelo se identifica a la Universidad del Valle como un punto estratégico logísticamente. También se observa que la distancia mínima que se debe manejar entre los

centros de salud y los alojamientos temporales seleccionados es de 2.5 km, y que las zonas norte, centro, oriente y occidente de la ciudad pueden llegar a ser vulnerables.

El modelo cumple con el objetivo de localizar albergues con la mínima distancia total recorrida, proporcionando a las entidades una gran ventaja para generar estrategias de ubicación de personas en alojamientos temporales.

Palabras claves: Logística humanitaria, modelo de localización, albergues, terremoto.

Tabla de contenido

Resumen 3

Introducción 8

Planteamiento del problema 10

Descripción 10

Definición 12

Justificación 15

1. Objetivos 18

1.1 Objetivo general 18

1.2 Objetivos específicos 18

2. Marco referencial 19

2.1 Estado del arte 19

3. Capítulo 1: Vulnerabilidad sísmica del municipio 22

4. Capítulo 2: Características de los albergues temporales 27

4.1 Albergues 27

4.2 Características 29

4.3 Obtención de la información 33

4.4 Alternativas de albergues 34

5. Capítulo 3: Diseño del modelo de localización de albergues temporales 37

5.1 Modelo 37

5.1.1 Conjuntos 37

5.1.2 Conjuntos inducidos 37

5.1.3 Parámetros 37

5.1.4 Variables de decisión 38

5.1.5 Restricciones 38

5.1.6 Función objetivo 39

5.2 Validación del modelo 39

5.2.1 Selección de datos 39

5.2.2 Identificación de valores para ε 41

5.2.3 Pruebas 43

6. Trabajos futuros y conclusiones 48

6.1 Trabajos futuros 48

6.2 Conclusiones 49

Referencias 51

Lista de tablas

Tabla 1. Estadísticas de afectaciones de eventos sísmicos entre 1912 -2020. 10

Tabla 2. Resumen de eventos sísmicos representativos que han afectado a Cali. 11

Tabla 3. Máxima aceleración de terreno, según su zona. 24

Tabla 4. Criterios para la selección del lugar del alojamiento temporal. 31

Tabla 5. Criterios para la instalación del alojamiento temporal. 32

Tabla 6. Selección de potenciales albergues en la ciudad de Cali. 34

Tabla 7. Centros de atención medica seleccionados. 39

Tabla 8. Simulaciones del modelo con 3,000 víctimas en cada comuna. 44

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Zonificación de respuesta sísmica de la Ciudad de Cali. 23

Ilustración 2. Amenaza sísmica local, área urbana del municipio de Santiago de Cali. ... 25

Ilustración 3. Tipología de albergues. 28

Ilustración 4. Soluciones generadas para todas las comunas variando ε2 con ε1=1 km. . 42

Ilustración 5. Perfil de mitigación y gestión del riesgo a largo plazo para Cali. 43

Introducción

En países como Colombia, que se encuentran en desarrollo, la respuesta a un desastre natural es algo desafiante debido a la insuficiencia de recursos para actuar, gobiernos inestables, infraestructuras débiles que pueden verse rápidamente afectadas, falta de información frente a planes de respuesta en casos de emergencia y de estudios sobre las circunstancias socioeconómicas en las áreas más vulnerables (Maharjan et al., 2020).

En el presente documento se aborda la problemática de la ubicación de albergues temporales en la ciudad de Cali luego de ocurrido un sismo, para que el municipio cuente con herramientas que le permitan estructurar planes de acción para mitigar el riesgo y dar una atención oportuna a los damnificados, ya que se ha comprobado que contar con una preparación para afrontar un desastre, reduce tiempo, dinero y la complejidad de la respuesta humanitaria (Logistics Cluster, 2020).

Colombia cuenta con diferentes manuales, suministrados por la Cruz Roja Colombiana y la Dirección General del Socorro Nacional, que plantean claramente cuáles son las características que debe contener un albergue. También se hace una tipología de albergues temporales. Para este caso de estudio nos centraremos en los albergues comunitarios, que normalmente son los que se "arman" en lugares públicos donde se pueda abarcar la mayor cantidad de personas damnificadas. Este tipo de albergues es utilizado de forma transitoria (Ministerio de Salud y Protección Social, n.d.). De forma local, Cali cuenta con el documento de Estrategia de Respuesta a Emergencia, que se basa en el Plan de Gestión del Riesgo de Desastres, que direcciona la gestión del riesgo en tres componentes: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y el manejo de emergencias y desastres (Secretaria de Gestión del Riesgo de Emergencias y Desastres de Santiago de Cali, 2018c).

En la Estrategia de Respuesta a Emergencias de Santiago de Cali, se presenta un protocolo de servicio de respuesta para alojamientos temporales, en donde el objetivo es brindar condiciones dignas y seguras a las familias afectadas por emergencias, y cuyo alcance es "*prestar el servicio básico de alojamiento, en condiciones dignas y seguras, a los hogares cuyo lugar de habitación no tiene condiciones adecuadas para su uso. Incluye la conformación y administración de albergues masivos a campo abierto, masivos o individuales en edificaciones existentes y/o individuales por medio de mecanismos de arrendamiento, auto-gestionado o colectivos o con ayuda económica o ayuda humanitaria. El servicio básico de alojamientos coordinará lo necesario para garantizar que el alojamiento tenga condiciones de habitabilidad y funcionalidad en condiciones dignas".* También indica los tipos de alojamientos temporales, áreas de servicios y entidades responsables de estas, dando a conocer recomendaciones y acciones de preparación conjunta. Pero el documento no presenta posibles ubicaciones para la localización de los albergues o una metodología para su selección, lo que en el caso de un siniestro puede retrasar la respuesta humanitaria, dado que varias organizaciones necesitan de esta información para poder desplegarse y atender a los damnificados.

El objetivo del trabajo presentado será plantear un modelo de localización de albergues temporales en la ciudad de Cali, teniendo como base un evento sísmico en el municipio; haciendo de este un problema logístico que permita identificar lugares óptimos para la localización del albergue según la comuna afectada.

El desarrollo de la metodología iniciará con la caracterización de la vulnerabilidad sísmica en la ciudad de Cali, luego se identificarán los potenciales albergues temporales y por último se diseñará un modelo de localización de los alojamientos y su aplicación.

Planteamiento del problema

Descripción

El territorio colombiano es propenso a la ocurrencia de desastres naturales como terremotos, erupciones volcánicas, inundaciones, deslizamientos, vientos fuertes y otros desastres causados por el hombre. La amenaza sísmica del país está asociada a la convergencia de las placas litosféricas de Nazca, América del Sur y Caribe, cuya compleja dinámica da origen a sismos de diferentes características a lo largo del país con un alto potencial destructivo (Arcila et al., 2020). Entre 1912 y 2020, se presentaron 1,037 eventos sísmicos (*DesInventar On-Line* , n.d.), los cuales han registrados las siguientes afectaciones:

Tabla 1. Estadísticas de afectaciones de eventos sísmicos entre 1912 -2020.

Afectaciones de los terremotos entre 1912 - 2020	
No de muertes	2,951
No de heridos	9,650
No personas desaparecidas	682
No de casas destruidas	55,904
No de casas afectadas	88,716

Fuente: Desinventar Online

De acuerdo con el Atlas de Gestión de Riesgo de Colombia (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2019), las principales amenazas a la que se encuentra expuesta la ciudad de Cali son los terremotos y las inundaciones. La amenaza por terremotos se ve influenciada por tres fuentes sismogénicas, desde un punto de vista sismotectónico: 1) La trinchera; 2) La zona de Benioff; y 3) Las fallas intercontinentales (Ejemplo: el sistema de fallas Romeral y el sistema de fallas Cauca) (Salcedo-Hurtado & Pérez, 2016).

El municipio de Cali se ha visto afectado por diferentes sismos en su historia, algunos de los más significativos se muestran en la tabla 2 (*Sismicidad Histórica de Colombia*, n.d.)(INGEOMINAS & DAGMA, 2005a).

Tabla 2. Resumen de eventos sísmicos representativos que han afectado a Cali.

Recurrencia (Frecuencia)	Eventos destacados	Magnitud (MW)	Severidad (impactos)
97 eventos en el periodo 1566-2018	7 de junio de 1925	6.1	8 iglesias, 2 centros médicos, 2 hoteles, 1 colegio, 3 casas, 1 "Matadero", 4 oficinas de prestación de servicios, 1 centro cultural. Afectación a un gran número de viviendas.
	30 de julio de 1962	6.5	6 muertos, 20 heridos, 4 bancos, 7 iglesias, 2 hoteles, 2 unidades residenciales, 9 edificios de prestación de servicios, 1 fábrica textil, fueron afectadas. Fallaron las telecomunicaciones.
	23 de noviembre de 1979	7.2	1 muerto, 15 heridos de gravedad, 50 lesionados leves, 1 colegio, 3 edificios prestadores de servicios, 2 hospitales, 1 almacén comercial, 1 banco, 1 hotel, 4 iglesias, 2 universidades, viviendas afectadas en la Flora, San Nicolás, San Antonio, Bretaña, La Floresta, Belalcázar, San Fernando, San Cayetano, Popular. Se interrumpió servicio de energía, telefónico y el tráfico vehicular afectado.
	8 de febrero de 1995	6.4	39 heridos. Averías en 1 supermercado, 4 establecimientos educativos, numerosas edificaciones de carácter público y privado, 2 establecimientos de salud, incendios en 6 viviendas en el Distrito de Aguablanca y deslizamientos en la vía Cali-Buenaventura.
	15 de noviembre de 2004	7.2	Daños de consideración en 25 edificaciones, principalmente en la zona sur de la ciudad. Entre estos, 2 clínicas que tuvieron que ser evacuadas.

Fuente: Plan Municipal de Gestión de Riesgos y DesinventarOnline

La frecuencia con la que se presenta este tipo desastre es aleatoria, lo que dificulta predecir cuándo se desarrollará este fenómeno, pero se sigue el precepto de que un terremoto fuerte tiene la posibilidad de volver a ocurrir en aquellas regiones donde se ha presentado con anterioridad, sin asegurar que en las regiones donde no se ha presentado no vaya a ocurrir

(INGEOMINAS & DAGMA, 2005a). Entonces, al homologar esto con la historia de sismicidad de Cali, se puede concluir que en cualquier momento se presentará un sismo.

Los impactos que puede generar un sismo tampoco son predecibles, en la tabla 2, se observa que el terremoto del 30 de julio de 1962 con una magnitud de 6.5 dejó 6 personas muertas y 16 heridos, pero no se reportó ninguna casa dañada o destruida, a diferencia del desastre del 15 de noviembre del 2004 con una magnitud de 7.2 que no causó ninguna pérdida humana, pero sí presentó 1,014 casas dañadas y 5,070 personas afectadas indirectamente (*DesInventar On-Line* , n.d.).

Con lo expuesto anteriormente y con la premisa de que se debe estar preparado para hacerle frente a un desastre natural con imposibilidad de predecir, se ha decidido centrar la investigación en los eventos sísmicos en la ciudad de Cali.

Definición

Cada año se desarrollan alrededor de 500 desastres, acabando con la vida de aproximadamente 75,000 personas y afectando cerca de 200 millones (Van Wassenhove, 2006). Además, cada desastre deja innumerables pérdidas de todo tipo. Según el Fritz Institute (2005), en los próximos 50 años ambos tipos de desastres, naturales y antrópicos, se van a multiplicar por 5 en número e impacto, debido a la degradación ambiental y la rápida urbanización.

Para mitigar el impacto causado por los desastres y en busca de generar la necesidad de aumentar la eficiencia de las operaciones de ayuda, los investigadores han ido mostrando cada vez mayor interés por este campo, dándose cuenta de que la logística es un factor importante en las operaciones de asistencia humanitaria, siendo tal que los esfuerzos logísticos representan alrededor del 80% de las operaciones de socorro (Kovács & Spens, 2007).

Van Wassenhove (2006) define la logística humanitaria como los procesos y sistemas involucrados en la movilización de personas, recursos, habilidades y conocimientos para ayudar a las personas afectadas por el desastre. Balcik y Beamon (2008) y Hasanzadech y Bashiri (2015) exponen que el objetivo principal de la logística humanitaria es proveer los suministros de emergencia rápidamente de modo que se reduzcan las muertes y el sufrimiento humano. Teniendo en cuenta que la logística humanitaria tiene 3 etapas, que se desarrollan antes, durante y después del desastre, las actividades que se planifiquen previamente para cada una de estas etapas ayudan a formular mejores planes de emergencia y a tener una estimación de requerimientos mínimos para hacer frente al desastre y brindar una asistencia oportuna, buscando así reducir el sufrimiento de las personas y permitir una mayor resiliencia.

La logística humanitaria se encarga de los procesos de aprovisionamiento, almacenamiento, transporte, distribución y coordinación de personas, bienes y servicios requeridos para atender a la población afectada. Para poder encargarse de estos se debe tomar decisiones sobre localización, transporte e inventarios (López-vargas & Cárdenas-Aguirre, 2018), que se definen de la siguiente forma:

- Decisiones de localización: En la parte inicial de la etapa que se desarrolla después de ocurrido el desastre, es necesario establecer centros temporales de atención de emergencias y refugios cerca de las áreas afectadas, para acelerar la atención médica a los sobrevivientes con heridas menores (Yi & Özdamar, 2007); y tener una ubicación geográfica de donde se encuentran las personas damnificadas, para poder estimar rápidamente los tipos de productos requeridos y la cantidad por persona u hogar (Afshar & Haghani, 2012). Lo anterior busca

incrementar la cobertura de las áreas atendidas y reducir los tiempos en las entregas de la ayuda humanitaria.

- Decisiones de transporte: El transporte de suministros y el personal de socorro debe realizarse de manera rápida y eficiente para maximizar la tasa de supervivencia de la población afectada y minimizar el costo de dicha operación (Afshar & Haghani, 2012).
- Decisión de inventarios: Algunas organizaciones de socorro tienen establecido un stock para actuar en caso de un desastre, pero en caso de que estos stocks no sean suficientes para satisfacer la demanda, se realiza la compra de nuevos inventarios o se reciben donativos, y se establece un centro de distribución temporal. El objetivo es minimizar costos, por esta razón, compras colaborativas y almacenamiento tercerizado se convierte en una alternativa de interés (López-vargas & Cárdenas-Aguirre, 2018).

En la parte de decisión de localización, la evacuación de personas se considera un tema desafiante en las operaciones de ayuda humanitaria. Trasladar a las personas de las áreas afectadas a un lugar seguro, genera incertidumbre sobre el clima o la situación de la infraestructura, no es una acción fácil de lograr (Lassiter et al., 2015). Por esta razón, la coordinación de personas juega un papel importante y poder tener presente lugares establecidos previamente para realizar la acción de evacuación puede ayudar a minimizar la incertidumbre sobre capacidad e infraestructura. Se debe tener en cuenta que estos lugares pueden variar según el tipo de desastre y la magnitud. Además, cuando las personas afectadas desborden la capacidad de estos se debe recurrir a albergues improvisados.

Así como existen estudios sobre mitigación de riesgo frente a un desastre, donde se especifican instalaciones de transferencia temporal para recibir, organizar y enviar kits de socorro a través de una red de distribución (Afshar & Haghani, 2012), también se debería contar con estudios que permitan reconocer lugares preestablecidos como potenciales albergues en caso de desastre. De esta forma se podrían desarrollar estrategias que permitan conectar los albergues con la red de distribución de una forma óptima y eficiente, que cuente con una cobertura máxima de las personas afectadas de tal forma que los retrasos sean mínimos en la entrega de suministros.

Justificación

La gestión del riesgo de desastres del país es definida por el Articulo 1 de la ley 1523 de 2012 como: *"**Artículo 1°.**..., es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible".* A partir de esta definición, las municipalidades, entre ellas Cali, iniciaron la creación del Plan de gestión del riesgo de desastres.

El Plan Municipal de Gestión de Riesgos (2018c) establece el objetivo general de la Política Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) de la siguiente manera: *"Orientar y llevar a cabo las acciones del Municipio y de la sociedad civil en cuanto a los procesos sociales de la gestión del riesgo como: conocimiento, reducción del riesgo y manejo de situaciones de desastres, con el propósito de ofrecer protección a la población en el territorio*

municipal, mejorar la seguridad, el bienestar y la calidad de vida y contribuir al desarrollo sostenible".

Teniendo en cuenta lo anterior, una de las premisas para el cumplimiento de este objetivo es el manejo efectivo de las situaciones de desastres, donde una de las acciones se enfoca a atender a la población afectada y restituir los servicios esenciales.

En la PMGRD se realizó una caracterización de los escenarios de riesgos de fenómenos que históricamente han afectado a la Ciudad, donde se evidenciaron los sismos, movimientos en masa, inundaciones e incendios forestales. En el caso de los sismos, se determina que la zona con mayor riesgo es el Abanico de Cañaveralejo, luego está el oriente de la ciudad, por ser susceptible a presentar licuación de los suelos.

La PMGRD se apoya en el documento de Estrategia de Respuesta a Emergencias de Santiago de Cali (2018a), para determinar las acciones de respuesta a emergencias, el cual indica que los sismos requieren de un protocolo especifico de respuesta que debe detallar la ubicación de la zona expuesta, número de familias, de personas, de viviendas, de instituciones educativas, de instituciones de salud y de vías (principales). Luego se debe consolidar la afectación e identificar el nivel de alarmas y acciones. También cuenta con un procedimiento de respuesta y solicita identificar puntos de evacuación, rutas de evacuación y un mapa de capacidades.

El documento de la Secretaria de Gestión del Riesgo de Emergencias y Desastres de Santiago de Cali, cuenta con la claridad de todo el protocolo que se debe tener en cuenta para hacerle frente a los desastres priorizados en la ciudad, como es el actuar de cada uno de los actores y procedimientos. Pero no identifica lugares estratégicos en los cuales se puedan establecer los albergues temporales, lo que puede reducir el nivel de respuesta de las

organizaciones, retrasando la vinculación con toda la cadena de asistencia humanitaria que se activa para ayudar a las personas afectadas. Por esta razón, es importante empezar a localizar lugares potenciales para establecer los albergues temporales, para que, al momento de desarrollarse un terremoto, las personas tengan conocimiento previo de estos, y puedan salvaguardarse y poder ser más eficientes en la respuesta al desastre.

Con todo lo anterior, el proyecto busca responder a la pregunta ¿Cómo plantear un modelo de localización de albergues temporales preestablecidos en la ciudad de Cali en el caso de que se presente un sismo?.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo para localizar albergues temporales en caso de sismos en la ciudad de Santiago de Cali.

1.2 Objetivos específicos

I. Identificar la vulnerabilidad sísmica del municipio de Cali para precisar el riesgo de la ciudad.

II. Determinar las características de los albergues temporales para establecer los potenciales albergues en la ciudad de Cali.

III. Proponer las variables, parámetros, restricciones y función objetivo para definir el modelo de localización de albergues temporales.

2. Marco referencial

2.1 Estado del arte

La literatura relacionada con la problemática de la localización y asignación de albergues en respuesta a un desastre natural ha venido tomando mayor influencia con el paso de los años, una de las principales razones es que la gran mayoría de la población mundial reside en el área urbana y las grandes ciudades se están volviendo cada vez más vulnerables a los desastres naturales, especialmente bajo el rápido desarrollo de la economía global (J. Xu et al., 2016).

Existen muchos estudios sobre la selección de la ubicación de albergues temporales en caso de presentarse un terremoto, que se basan principalmente en criterios físicos y la eficiencia durante el proceso de evacuación (Lee et al., 2020), pero no es la única forma en la que se ha venido abordando el tema, dado que se han encontrado que en diferentes modelos de optimización multiobjetivo se incorporan tanto criterios monetarios y no monetarios simultáneamente (Praneetpholkrang et al., 2021).

En otras palabras, la ubicación de albergues se puede abordar de diferentes maneras, variando desde los criterios hasta las herramientas, modelos y función objetivo, porque estos no pueden considerarse solo como un espacio físico, también se debe observar las condiciones de vida que proporcionan, para poder brindar ambientes adecuados a quienes lleguen a usarlos (Tsioulou et al., 2020).

En la literatura, se encuentran investigaciones que teniendo en cuenta el costo de espera y la consideración de equidad simultáneamente, construyen un modelo de programación lineal de enteros mixtos para el proceso de ubicación y asignación de albergues en múltiples periodos (D. Wang et al., 2020); hay otros que desarrollan métodos de toma de decisiones bajo incertidumbre

para seleccionar la ubicación de los albergues (Wu et al., 2019), (J. Xu et al., 2016), (Esmaelian et al., 2015), (Liu et al., 2011).

Los modelos matemáticos multiobjetivo para la toma de decisiones son los más usados, pero no siempre se valoran los mismos criterios, ni cuentan con el mismo objetivo de decisión. Para el problema de ubicación y selección de albergues, se pueden considerar dos objetivos, la eficiencia de la evacuación y la inversión para equipar los albergues. En otras palabras, la eficiencia de la evacuación se considera como la distancia que se debe recorrer para llegar al refugio y la inversión se refleja en la cantidad de estos, donde siempre se busca la minimización (Praneetpholkrang et al., 2021). También buscan minimizar la distancia entre la comunidad y el albergue, pero combinándolo con el objetivo de minimizar el área del refugio, evaluando estos en diferentes escenarios (Ma et al., 2019), casos de estudios (Zhao et al., 2015), añadiendo más objetivos como la minimización del riesgo y el tiempo de trasladar las personas desde el albergue a un punto de atención médica (Tralha, 2009). Además, se pueden presentar con un modelo de programación lineal de enteros mixtos (Coutinho-rodrigues et al., 2012) o un modelo de programación no-lineal (J. Wang et al., 2019).

Otros estudios han optado por realizar modelos híbridos, entre diferentes teorías y modelos para abordar la decisión de ubicación y asignación de albergues. Algunos ejemplos son los siguientes: Híbridos entre la teoría difusa, toma de decisiones multicriterio (Analytic Hierarchy Process - AHP) y el modelo de programación de objetivos (GP) (Trivedi & Singh, 2016). Formulación de un modelo híbrido binivel con un modelo multiobjetivo (W. Xu et al., 2017). Desarrollo de un algoritmo genético para abordar un modelo multiobjetivo que permite minimizar la distancia de evacuación y el costo total (Hu et al., 2014).

El análisis de decisiones multicriterio para la jerarquización de estos también juega un papel importante, cuando se desea comparar locaciones para identificar la más adecuada para ser utilizada como albergue temporal (Tsioulou et al., 2020) (Trivedi & Singh, 2017). O para realizar un sistema de clasificación de criterios con puntuaciones predeterminadas, para ubicar los refugios de forma eficiente y combinarlo con un problema de ubicación de instalaciones (Taylor & Chen, 2013).

Algunos investigadores modifican algoritmos existentes para que estos puedan abordar el caso de estudio, por ejemplo, se puede modificar un algoritmo de optimización de enjambre de partículas (Hu et al., 2012), (Zhao et al., 2017), (Zhao et al., 2015).

3. Capítulo 1: Vulnerabilidad sísmica del municipio

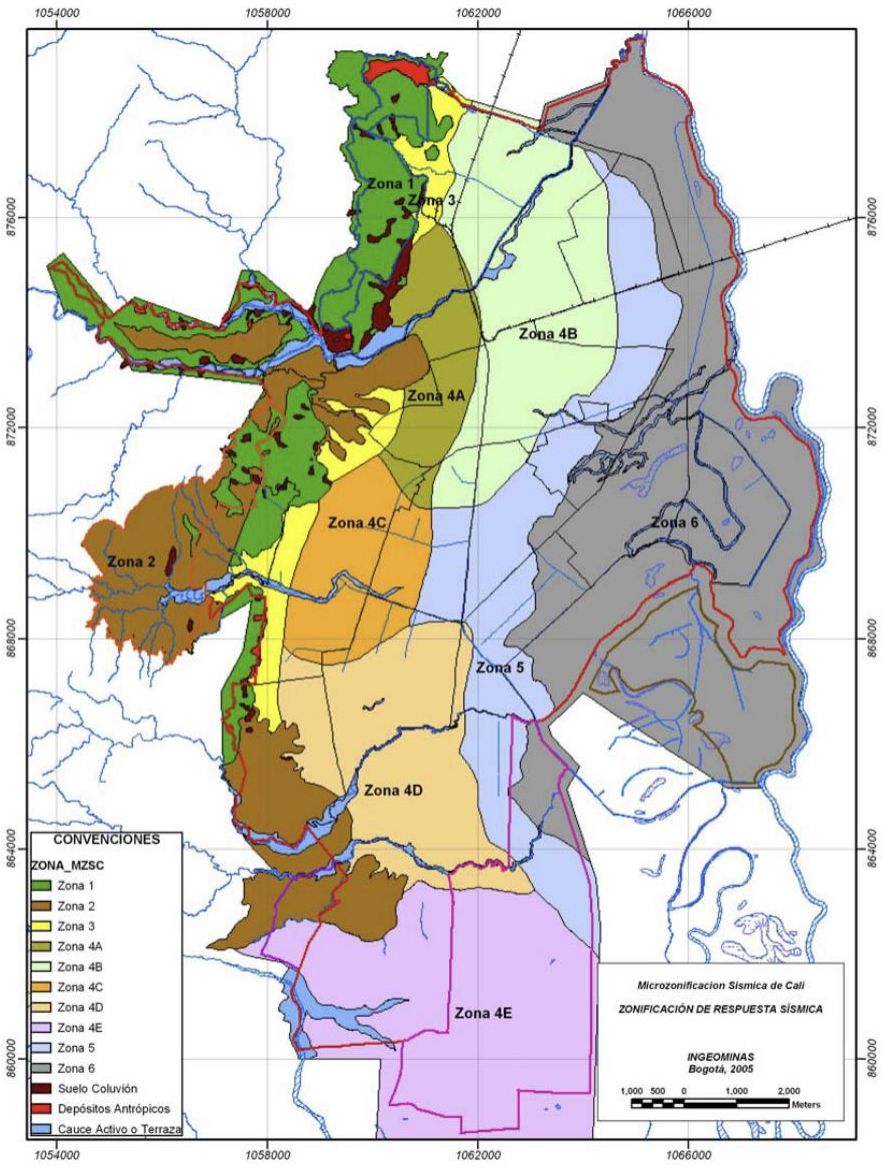
Por su ubicación geográfica y sus condiciones geológicas, orográficas, topográficas y climáticas, Colombia presenta un alto grado de exposición a amenazas de origen natural y socio naturales, como sismos, actividad volcánica, meteorológicos, entre otros, que conforman una amplia historia de eventos catastróficos (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2021). Se identifican que las tres amenazas que generan mayor afectación en el país son: inundaciones, deslizamientos y sismos, respectivamente (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres et al., 2012b).

Aproximadamente el 83% de la población colombiana está ubicada en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2024), la mayoría de las edificaciones del país se construyeron antes del desarrollo de la primera Norma sismorresistente, implementada en 1984 (Llanos López & Vidal Gómez, 2003) y muchas de las fallas geológicas se encuentran cerca a los grandes centros urbanos.

Santiago de Cali se considera la ciudad más grande de Colombia ubicada en una zona de alta sismicidad (Yepes-Estrada et al., 2022b), con una aceleración máxima esperada de 0.25 g, (g = 9.81 m/seg^2). Las fuentes con mayor contribución a la amenaza sísmica del municipio son: Zona de Benioff Centro, Sistema de Fallas Cali-Patía sector Cali, Zona de Subducción Sur, Zona de Subducción Centro, Falla Dagua-Calima, Falla Palmira-Buga, Falla Guabas-Pradera, Falla Corozo, Falla Bellavista-Río Bravo, Falla Buenaventura, Zona Axial Cordillera Central y Falla Palmira- Guabas. Todo lo anterior contribuye a marcar las diferencias entre las zonas geotécnicas, lo cual se representa en el comportamiento dinámico de los depósitos ante cargas sísmicas (INGEOMINAS & DAGMA, 2005b).

El DAGMA e INGEOMINAS (2005c) realizaron un estudio de microzonificación sísmica que permite dividir el territorio de la ciudad en zonas caracterizadas por un comportamiento dinámico especifico (ver ilustración 1).

Ilustración 1. Zonificación de respuesta sísmica de la Ciudad de Cali.



Fuente: DAGMA, INGEOMINAS (2005).

Luego de integrar la información geológica, geofísica y la caracterización geotécnica del subsuelo, entre otros, se consiguen los datos de la tabla 3, en la cual se presenta la zona de

respuesta sísmica, zona geotectónica, la aceleración máxima del terreno y se obtiene el nivel de amenaza sísmica local del Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de Santiago de Cali (2018c), teniendo en cuenta que el nivel de amenaza sísmico en general para todo el municipio siempre es alto.

Tabla 3. Máxima aceleración de terreno, según su zona.

Zona de respuesta sísmica	**Zona geotécnica**	**Aceleración Máxima del terreno (g = 9.81 m/seg²)**	**Nivel de amenaza sísmica local**
Zona 1	Cerros - Roca y material intermedio	0.22	Alto- Bajo
Zona 2	Flujos y Suelo Residual	0.35	Alto- Medio
Zona 3	Piedemonte	0.35	Alto-Medio
Zona 4A	Abanico Medio de Cali	0.33	Alto- Medio
Zona 4B	Abanico Distal de Cali y Menga	0.28	Alto-Bajo
Zona 4C	Abanico de Cañaveralejo	0.40	Alto-Alto
Zona 4D	Abanico de Meléndez y Lili	0.28	Alto-Bajo
Zona 4E	Abanico de Pance	0.25	Alto-Bajo
Zona 5	Transición Abanicos – Llanura	0.28	Alto-Bajo
Zona 6	Llanura Aluvial	0.25	Alto-Bajo

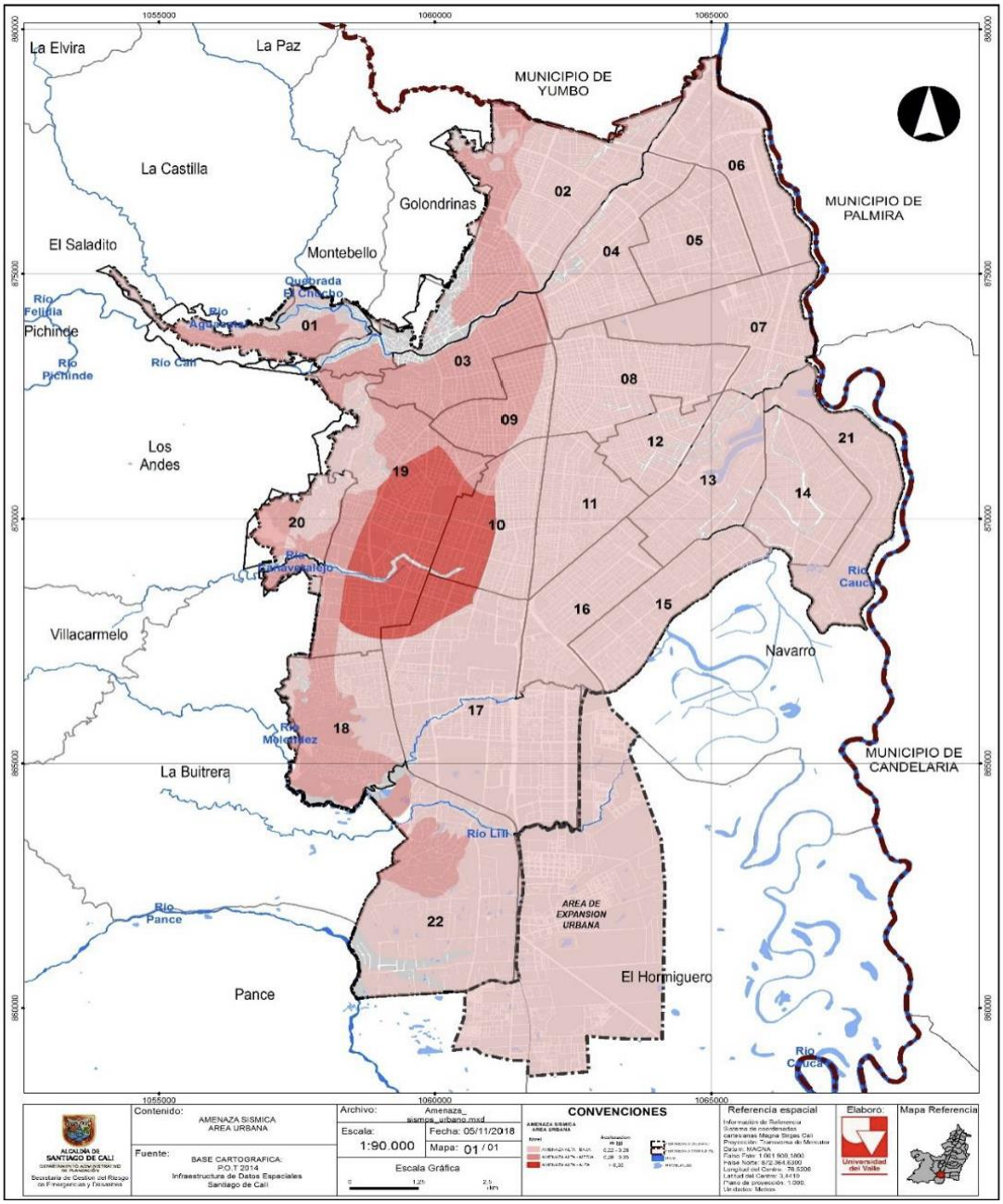
Fuente: DAGMA, INGEOMINAS (2005) – Plan de gestión del riesgo de desastres en Santiago de Cali.

De la tabla anterior se observa que la zona con mayor aceleración máxima del terreno es el Abanico de Cañaveralejo, con una amenaza sísmica local Alto-Alto. La zona se localiza al sur del abanico medio del Río Cauca, también se encuentran algunos barrios representativos de la ciudad como: El Cedro, San Fernando, Colseguros, Tequendama, Los Cambulos, Panamericano, Primero de Mayo, Los Fundadores, ente otros.

La Secretaría De Gestión de Riesgos de Emergencias y Desastres (2018b) representa la amenaza sísmica de la ciudad por comunas. En la ilustración 2, se observan 3 tonalidades de rojo, el rojo más claro nos representa una amenaza sísmica Alto-Bajo, el tono un poco más fuerte que se observa al occidente de la ciudad es Alto-Medio, y por último, el rojo más intenso que se

concentra en la comuna 19 y parte de la 10 y 17, es Alto–Alto, esta última es la zona del Abanico de Cañaveralejo.

Ilustración 2. Amenaza sísmica local, área urbana del municipio de Santiago de Cali.



Fuente: Secretaría De Gestión de Riesgos de Emergencias y Desastres.

Por otro lado, en una búsqueda documental realizada por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (2021), se registra que entre 1566 y 2018 ocurrieron 97 eventos sísmicos relevantes en la ciudad, los cuales han afectado a la infraestructura y las personas. En los primeros años investigados los daños se centran en lo que hoy se conoce como el centro de la ciudad, pero en los últimos años las afectaciones se registran principalmente en la zona del Abanico de Cañaveralejo.

4. Capítulo 2: Características de los albergues temporales

4.1 Albergues

Al presentarse un evento calamitoso, de origen natural, como los sismos, muchas personas y comunidades se ven obligadas a dejar sus hogares, existiendo el riesgo de perder acceso a satisfacer sus necesidades básicas, bajo estas circunstancias el Estado debe proveer protección y asistencia a las personas damnificadas, forzando a las comunidades a buscar alojamiento en albergues temporales (Desastres et al., 2012).

El Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, define un albergue como: "*instalaciones que sirven para proporcionar techo, alimentación, abrigo y seguridad a las víctimas de una emergencia o desastre. Los albergues deben ser temporales, es decir, mientras dura la fase crítica de la emergencia."* (Ministerio de Salud y Protección Social, n.d.).

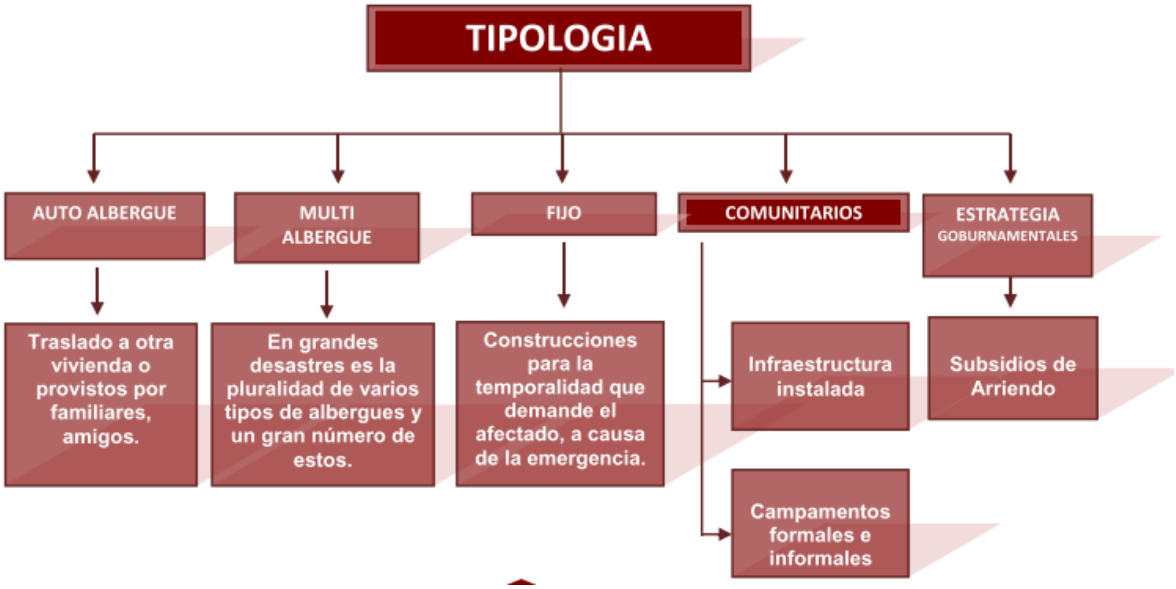
La federación Internacional de la Cruz Roja y la Media Luna Roja también define un albergue como*: "lugar físico creado e identificado como un lugar seguro, que cuenta con todos los medios necesarios para hospedar por un periodo corto, mediano y largo plazo a un grupo de personas afectadas por los resultados del impacto de una amenaza, con las garantías esenciales para garantizar la dignidad humana, conservando la unidad familiar y la cultura de las personas afectadas así como su estabilidad física (mental) y psicológica. Promoviendo la organización comunitaria"* (Sociedad Nacional de la Cruz Roja Colombiana & Dirección General del Socorro, 2008).

Un alojamiento temporal, es un espacio provisional que aloja a las personas damnificadas mientras se les guía a un albergue. Y un albergue temporal, como se describe anteriormente, es el lugar donde se proporciona techo, alimentación, abrigo y seguridad a las personas vulnerables.

Para este estudio, se van a homologar ambos términos, es decir, se considerará que un alojamiento temporal es igual que un albergue temporal.

Según la complejidad de la emergencia y la capacidad de respuesta local, regional o nacional, se deben considerar los diferentes tipos de albergues.

Ilustración 3. Tipología de albergues.



Fuente: Manual Nacional para el manejo de Albergues Temporales.

La consideración de un albergue temporal es la última opción a la que se acude cuando no existen otras soluciones para los damnificados (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres et al., 2012a). El ciclo del alojamiento temporal se divide en tres fases: 1. Instalación y apertura, 2. Cuidado y mantenimiento, 3. Cierre y soluciones duraderas.

La instalación del alojamiento temporal se puede dar de dos formas diferentes: 1. Espontáneos, donde se asentó activamente la población damnificada por sus propios medios, 2. Planeados, son aquellos donde la autoridad responsable asigna a la población damnificada un espacio definido (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres et al., 2012a).

Para este caso de estudio nos concentraremos en los albergues temporales comunitarios planeados, porque es infraestructura instalada, como escenarios deportivos, escuelas, colegios, salones comunales, entre otros, que permite el alojamiento de personas damnificadas de manera transitoria. Generalmente estos espacios cuentan con los servicios básicos, áreas comunes amplias, facilidad al acceso de salud y la administración del albergue. En muchas regiones la ubicación de este tipo de albergues se ve restringido, principalmente a escuelas y colegios, dado que esto dificulta retornar a las actividades para los que fueron construidos y su función es esencial en la recuperación de la comunidad (Sociedad Nacional de la Cruz Roja Colombiana & Dirección General del Socorro, 2008).

4.2 Características

En el estudio dirigido por Geng, Hou y Zhou (2021), se propone un modelo jerárquico bi—objetivo con dos etapas, la etapa del refugio temporal y la etapa del albergue a corto plazo, para esto se definen los siguientes factores cualitativos, topografía, tipo de geología, pendiente y vegetación. Por otro lado, Wang y Xu (2022a) construyen un modelo de decisión multiobjetivo de localización para albergues de emergencia, considerando los atributos de accesibilidad, escala, instalaciones de apoyo, entorno y tipos de albergues de emergencia, siendo los dos primeros atributos externos y los cuatro últimos atributos internos.

Ma et al. (2022), desarrollan un modelo de optimización de ubicación suplementaria multi-criterio, multi-objetivo y multi-escenario que proporciona un mayor grado de realismo al integrar la evaluación multi-criterio y la comparación de optimización en problemas de ubicación, para el estudio se evaluaron los siguientes criterios: 1) Seguridad, basado en las condiciones topográficas, geohidrológicas y fuentes de peligro alrededor de los albergues. 2) Conectividad, haciendo referencia a la conexión del albergue y las estaciones de bomberos,

hospitales, almacenes, entre otros. 3) Accesibilidad a los albergues. 4) Idoneidad, para este caso se consideran los criterios anteriores y se calculan los puntajes de idoneidad.

Otra investigación clasifica el concepto de habitabilidad en cuatro aspectos para construir un refugio. El aspecto de seguridad implica protección contra situaciones potencialmente peligrosas; salud, incluye instalaciones y servicios de higiene y asistencia médica; sociabilidad, hace referencia a la conectividad del refugio temporal con las instalaciones del barrio; confort, la privacidad de las personas y factores ambientales internos relacionados con el espacio vital (Kim et al., 2021).

Criterios geográficos, operacionales, sociales, de infraestructura y relacionados al riesgo, también son considerados en estudios de ubicación de albergues (Abikova, 2020). Características físicas del diseño urbano, del rango (medición del área seleccionada), densidad poblacional, accesibilidad a las redes de carreteras, cercanías a zonas verdes, estación de bomberos y hospitales, y características geográficas son otros criterios que se evidencian en estudios de localización de albergues (Jahangiri et al., 2020).

Según lo reportado en el Capítulo 7 “Ciclo de Vida del Alojamiento Temporal – Instalación y apertura” de la guía “Gestión de alojamiento temporal” (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres et al., 2012a) los criterios para la selección del lugar del alojamiento temporal se evalúan en seis grandes bloques: seguridad, accesibilidad, el tamaño de los alrededores (también se considera el tipo de suelo y terreno), disponibilidad de recursos (agua y leña), asuntos culturales y sociales y preocupaciones ambientales.

Tabla 4. Criterios para la selección del lugar del alojamiento temporal.

Seguridad	• El Alojamiento Temporal debe estar protegido del impacto del conflicto armado. • Evitar sitios que se encuentren en riesgo de inundación, vientos fuertes o cualquier otro riesgo ambiental. • Evaluación de los riesgos de salud inherentes al área. Por ejemplo, zonas con brotes de malaria o cólera.
Accesibilidad	• Los alojamientos temporales deben tener fácil acceso en cualquier época del año. Este acceso contempla: – Acceso a puestos/centros de salud, hospitales, mercados, centros educativos, etc. – Acceso a medios de vida para que la población albergada pueda garantizar su sustento. • Garantizar la movilidad de personas damnificadas, suministro de bienes/servicios, y el acceso a los servicios básicos en los alrededores.
El tamaño de los alrededores	• El área mínima de superficie por persona es de 45 m^2 (Norma Mínima Esfera), incluyendo carreteras, caminos, instalaciones de salud, colegios y otros espacios públicos. • Considere el tipo de suelo y terreno usado en el Alojamiento Temporal. • Considere la topografía y condiciones del terreno (particularmente asociado a las condiciones climáticas). • Planee para la posible expansión futura del Alojamiento Temporal.
Disponibilidad de recursos: agua y leña	• La disponibilidad de agua es uno de los criterios más importantes a la hora de escoger el sitio. • El agua debe estar disponible en cantidades suficientes en todas las épocas del año, teniendo en cuenta el nivel del agua durante los periodos de invierno o verano, así como también las necesidades básicas de la población (calculadas en mínimo 15 litros diarios por persona). • Medios para la cocción de alimentos. En caso de tratarse de leña, se requieren 0,6 kg diarios por persona. El no contemplar los medios para cocción de alimentos puede generar riesgos para la población al caminar largas distancias, problemas con las comunidades de acogida, y/o problemas medioambientales.
Asuntos culturales y sociales	• Consideraciones sociales y culturales deben tenerse en cuenta en la instalación del Alojamiento Temporal. En esta instancia la participación de la comunidad damnificada es esencial. • La organización debe ser contextualizada a nivel cultural. Para satisfacer las necesidades de las estructuras familiares y comunitarias de la mejor manera posible. • Considere establecer una relación cooperativa con la comunidad de acogida y sus miembros.
Preocupaciones ambientales	• El impacto negativo del establecimiento de un Alojamiento Temporal sobre el medio ambiente local debe ser crucialmente considerado. En particular para las fases subsecuentes del Ciclo de Vida del Alojamiento Temporal (incluyendo cierre y rehabilitación del lugar para su uso habitual y calidad). • El deshacerse de los residuos sólidos se debe hacer de manera adecuada, designando fosos de basura y letrinas dentro del lugar, o fuera de este.

Fuente: Ciclo de Vida del Alojamiento Temporal – instalación y apertura

Además de los criterios de selección, también existen criterios para la instalación del alojamiento temporal, que deben ser tenidos en cuenta.

Tabla 5. Criterios para la instalación del alojamiento temporal.

Alojamiento	Al menos un área cubierta de piso de 3,5 m² por persona.
Puntos de agua	Al menos un punto de agua por cada 250 personas. El punto debe ser ubicado a máximo 500 m del Alojamiento Temporal.
Letrinas	Una por cada 20 personas. Las letrinas deben ubicarse a máximo 50 m de distancia del Alojamiento Temporal.
Desechos y recolección de basuras	A no más de 100 metros del Alojamiento Temporal.
Instalaciones comunitarias	• Instalaciones de salud. • Aulas. • Puntos para la distribución de ayudas. • Centros de gestión/recepción y punto de registro.
Carreteras, caminos, espacios para evitar propagación de fuego	Dos metros es la distancia mínima entre cada unidad habitacional. De ser posible, la carretera principal debe estar iluminada durante la noche. Por razones de seguridad y protección, se debe evitar en lo posible que las carreteras públicas atraviesen el Alojamiento Temporal.
Áreas comunales, productivas y recreativas	• Áreas de recreación. • Área de reunión. • Espacio para la congregación religiosa. • Espacio amable para niños o parque.
Agricultura y ganadería	Se debe considerar tierra adicional en caso de que la comunidad tenga ganado o quiera llevar a cabo actividades agropecuarias. Por medidas de salubridad las normas internacionales recomiendan identificar un espacio específico separado de los módulos habitacionales para resguardar mascotas y animales.

Fuente: Ciclo de Vida del Alojamiento Temporal – instalación y apertura

De la revisión de la literatura se observa que no existen criterios estándar para la evaluación de la localización de albergues temporales, esta selección de criterios está sujeta a las consideraciones del autor y los datos a los que tenga acceso.

Para el caso de estudio se va a trabajar con los siguientes criterios: la distancia de la zona afectada a los albergues y los centros de atención médica, la distancia entre el albergue y el

centro de atención médica, las características mecánicas del suelo y la capacidad estimada del albergue.

4.3 Obtención de la información

Para cada criterio ya hay definida información en la literatura. Este trabajo relacionará cada una de estas variables e información por comuna.

Distancia entre la zona afectada al albergue y los centros de atención médica ($\varepsilon 1$): En el momento de ocurrir un sismo de gran magnitud que requiera movilizar a las personas a un albergue, se debe considerar que la disposición de las personas a movilizarse disminuye con el aumento de la distancia, es decir, se va a preferir el albergue más cercano (Y. Wang & Xu, 2022b) . Por otra parte, los expertos deberán evaluar los daños a la infraestructura del sector y decretar una radio de seguridad, donde a partir de esa distancia se pueda iniciar la búsqueda de un albergue y un centro de atención médica.

La información para este criterio se obtiene con ayuda de herramientas digitales, en este caso Google maps, donde se ubica el lugar del incidente, el alojamiento temporal establecido y el hospital, esta herramienta muestra la distancia que hay entre estos.

Distancia del albergue a un centro de atención médica ($\varepsilon 2$): En caso de una emergencia que requiera el traslado de la persona a un centro de atención médica, el tiempo de desplazamiento puede jugar un papel fundamental para la vida de este. Según Alam y Haque (2021), la vulnerabilidad de las personas es baja cuando un centro médico se encuentro a una distancia menor de 500 m, es vulnerabilidad media si encuentra entre 500 m a 1 km, y cuentan con alta vulnerabilidad cuando la distancia es superior a 1 km.

Este criterio en muy similar al criterio anterior, la información también se obtiene de herramientas digitales, localizando en Google maps la ubicación del albergue al centro de salud, se obtiene la distancia a recorrer.

Capacidad: Considerar el área del albergue es importante, dado que esto nos permite calcular el aforo aproximado del lugar y la capacidad de cubrir las zonas afectadas, evitar confinamientos y respetar las normas que indican que a cada persona se le debe garantizar al menos un espacio de 3.5 m2 (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres et al., 2012a). El área del albergue se puede obtener de diferentes fuentes, ya sea de noticias locales o de herramientas de medición digital que provee, por ejemplo, Google maps.

Características mecánicas del suelo ($\varepsilon 3$): Los datos de este criterio se obtienen de la tabla 3 y cotejando la información de la ilustración 1 y 2, permitiendo identificar el valor aproximado de la aceleración máxima que le corresponde a cada comuna. Se debe considerar que hay comunas que son atravesadas por más de una zona geotécnica, así que se pondrá el valor de la zona que se considere que abarque más área.

4.4 Alternativas de albergues

Las alternativas de albergues temporales, se basará en una muestra de lugares de administración pública, privada o mixta, como centros recreacionales, colegios, coliseos y parques.

Tabla 6. Selección de potenciales albergues en la ciudad de Cali.

Comuna	Albergue	Capacidad de personas	Dirección
1	IE Isaías Gamboa sede: Alejandro Cabal Pombo	291	Cl. 26 Oe. #6 Oeste-7
1	Coliseo La Mutis	307	Av 6ª oeste entre calles 16 y 17

1	IE Isaías Gamboa - Sede Principal	738	Av. 4 Oe. #12-05
2	Institución Universitaria Antonio José Camacho	731	Av. 6 Nte. #28N - 102
2	Intenalco - Educación superior	863	Av 4N # 34AN 18
3	IE Santa Librada - Sede Luis Carlos Peña	88	Cl. 7 #14 - 36
3	Escuela Salvador Iglesias	287	Cl. 2a #22 - 70
3	Instituto Técnico Industrial San Juan Bosco	1,620	Calle 8 No. 14 – 75
4	Coliseo EL SENA	377	Esquina Carrera 2D, Cl. 47
4	IE María Panesso	529	Cl. 47 #2e2
5	Polideportivo Chiminangos 2	3,751	Cl. 62 #1A-118
5	SENA - Salomia	7,101	Cra 2 #52 - 154
6	Unidad Recreativa Petecuy I	1,762	Cra. 2e #78-17
6	Unidad Recreativa de Floralia	8,362	Cl. 72c Nte. #3BN-51
7	Colegio José María Villegas	462	CL 82 KR 7 D 1
7	IE Manuel María Mallarino	779	Cl. 63, Los Pinos
7	Centro docente Rafael Pombo	3,037	Cra. 7r Bis #72-124
8	IE Villacolombia	1,010	Cra. 12e #48-36
8	IE Evaristo García Sede José Hilario López	2,499	Cl. 27 #17g - 19
9	IE Nuestra señora de los Remedios	712	KR 17D 18 46
9	Instituto Técnico Industrial Antonio José Camacho	5,117	Cra 16 # 12 - 00
10	IE José María Carbonell sede Honorario Villegas	1,334	Cra. 36a & Cl. 13C
10	Unidad Recreativa El Guabal	1,881	Cra. 40b #13-47
10	Unidad Recreativa Los Castores	3,000	Cl. 11 #41a - 36
10	Unidad Recreativa olímpico	5,645	Cr 36A #12-00
10	Centro deportivo San Juan Bautista	7,799	Cra. 42a #13b-25
11	Unidad Recreativa Descubrimiento	958	Cl. 25 #35-00
11	Unidad Recreativa Villa del Sur	9,258	Cra. 43 & Cl. 26b
12	IE Eva Riascos Plata - Sede Hernando Caicedo	307	Cra 29 # 26-69
12	Colegio Hernando Navia Varón	3,518	KR 26 P 50 39
13	IE Santa Rosa - Sede Principal	777	Cl. 72X #28 - 35
13	IE Bartolomé Loboguerrero - Sede Central	1,224	Calle 71 #26E - 25
14	Colegio Compartir	658	Cra 25a #89-16
14	Unidad Recreativa Manuela Beltrán	1,898	Cra 26q #116-1
15	IE Técnico Industrial Carlos Holguín Mallarino	576	Cra. 30a & Cl. 55A
15	IE Llano Verde - Sede principal	1,215	Cra 47, Navarro
15	Unidad Recreativa El Vallado I	5,791	Cl 54 #40-3
16	Colegio Santa Isabel De Hungría	908	Cl. 42 #5032 50- a

16	Unidad Recreativa Marino Rengifo Salcedo	4,306	Cra. 41h #38-75
17	Complejo deportivo El Calderón futbol 6	79	Cra. 80 #2814 #28- a
17	Unidad Recreativa Primero de Mayo	914	Cra. 51 #13E-89
17	Canchas sintéticas 511	1,325	Cra. 56 #12A - 01
17	Unidad Recreativa Ciudadela Comfandi	1,733	Carrera 80C
17	Polideportivo Ciudadela Comfandi 2	1,739	Cl. 34 #83-54
17	Unidad Recreativa Cañaverales	3,053	Cra. 61 #18a35
17	Club Deportivo Morumbi	3,200	Esquina Calle 13B, Cra. 70 #13A-1
17	Universidad del Valle	261,310	Cl. 13 #100-00
18	IE General José María Cabal	2,313	Cl. 2C Oe. #83 - 30
18	Unidad Recreativa Horizontes	5,321	Cl 3 A #92-135
19	IE Juana de Cayzedo y Cuero	37	Cra 50
19	Unidad Recreativa Santiago de Cali	1,071	Cl. 5e #46 - 55
19	Unidad Recreativa Cañaveralejo	1,850	Cra. 61 #6A-31
19	Unidad Recreativa Quintas del refugio	2,057	Cra. 68 #1B - 34
20	IE Juana de Cayzedo y Cuero - Sede Antonia Santos	213	Cra. 38c 1 #3-14
20	IE Técnica Industrial Multipropósito	2,215	Cra. 56 #1-19
21	IE Santa Isabel De Hungría - Sede Invicali Decepaz	1,111	Cra. 23 #12016 120d- a
21	IE Santa Isabel De Hungría - Sede Calimio	1,682	Cl. 123 #263
22	Polideportivo Valle del Lili	2,457	Cra. 102 #20-4
	Capacidad Total	**385,157**	

5. Capítulo 3: Diseño del modelo de localización de albergues temporales

5.1 Modelo

Teniendo en cuenta lo expresado en capítulos anteriores, se formula el modelo de la siguiente manera:

5.1.1 Conjuntos

- $i = (1, 2, 3, \dots . n),\ donde\ i\ representa\ los\ diferentes\ albergues.$
- $j = (1, 2, 3, \dots m),\ donde\ j\ representa\ los\ diferentes\ centros\ de\ salud.$
- $l = (1, 2, 3, \dots . p),\ donde\ l\ representa\ las\ diferentes\ comunas.$

5.1.2 Conjuntos inducidos

- Subconjunto de albergues i que se le pueden asignar a la comuna l.

$$\forall l, \exists k\ \subseteq i : k \in\ \{1,2,3, \dots, n'\}\ sujeto\ a\ D_{li} \geq\ \varepsilon 1$$

- Subconjunto de centros de salud j que se le pueden asignar a la comuna l.

$$\forall l, \exists r\ \subseteq j : r \in\ \{1,2,3, \dots, m'\}\ sujeto\ a\ A_{lj} \geq\ \varepsilon 1$$

5.1.3 Parámetros

- $V_l\ = Número\ de\ afectados\ de\ la\ comuna\ l.$
- $C_i = Capacidad\ en\ número\ de\ personas\ del\ albergue\ i.$
- $B_i = Características\ mecanicas\ del\ suelo\ del\ albergue\ i.$
- $H_{ij} = Distancia\ del\ albergue\ i\ al\ centro\ de\ salud\ j.$
- $D_{li} = Distancia\ entre\ los\ afectados\ de\ la\ comuna\ l\ y\ el\ albergue\ i.$
- $A_{lj} = Distancia\ entre\ los\ afectados\ de\ la\ comuna\ l\ y\ el\ centro\ de\ salud\ j.$
- $\varepsilon 1 = Distancia\ mínima\ entre\ la\ zona\ afectada\ al\ albergue\ y\ los\ centros\ de\ salud.$
- $\varepsilon 2 = Distancia\ máxima\ entre\ el\ albergue\ y\ el\ centro\ de\ salud.$

- $\varepsilon 3 = Característica\ mecánica\ máxima\ del\ suelo.$

5.1.4 Variables de decisión

- $X_{li} = 1$ *si se asigna a los damnificados de la comuna l al albergue factible i, 0 en caso contrario.*
- $T_{ij} = 1$ *si se escoge el centro de salud j respecto al albergue i, 0 en caso contrario.*
- $R_i = 1$ *si se escoge el albergue factible i, 0 en caso contrario.*
- $N_{li} = Número\ de\ afectados\ de\ la\ comuna\ l\ enviados\ al\ albergue\ i.$

5.1.5 Restricciones

- $\forall_i \sum_l N_{li} * X_{li} \leq C_i * R_i$ *, Asegura que las víctimas de la comuna l enviadas al albergue i, no supere la capacidad del albergue i.*
- $\forall_i \sum_j T_{ij} \geq 1 * R_i$ *, Garantizar que al menos un centro de salud j debe ser seleccionado para atender a los afectados del albergue i.*
- $\forall_i R_i * B_i \leq \varepsilon 3$ *Las características mecánicas del suelo donde se encuentra el albergue i deben ser menores o iguales a* $\varepsilon 3$*.*
- $\forall_l \sum_i N_{li} * X_{li} = V_l$ *, Garantiza que todos los afectados sean ubicados en un albergue.*
- $\forall_i \forall_j H_{ij} * T_{ij} \leq \varepsilon 2 + H_{ij} * (1 - R_i)$, *La distancia del albergue i al centro de salud j no puede ser mayor a una distancia determinada, esto asegura que los afectados del albergue i tengan atención médica cercana.*

$$\forall_{(l,i,j)} N_{li}, C_i, B_i, H_{ij}, D_{li}, A_{lj} \geq 0$$

$$X_{li}, T_{ij}, R_i, \in \{1,0\}$$

5.1.6 Función objetivo

La función objetivo buscará minimizar la distancia total recorrida entre las víctimas de una comuna y el albergue asignado.

$$Min\ z = \sum_i \sum_l X_{li} * D_{li}$$

5.2 Validación del modelo

La validación del modelo de localización de albergues temporales en la ciudad de Cali en caso de sismo se realizará con datos reales de personas expuestas a daños en su integridad física cuando se presente el fenómeno natural, los datos se encuentran en el documento de Evaluación de Riesgo Sísmico para Santiago de Cali (Ver ilustración 5).

5.2.1 Selección de datos

Los datos seleccionados para la validación del modelo fueron 58 albergues (ver tabla 6), 76 centros de salud (ver tabla 7) y puntos medios aproximados por comuna que simularán el epicentro de la zona afectada.

La muestra de centros de atención medica identificados para el ejercicio, son los siguientes:

Tabla 7. Centros de atención medica seleccionados.

Comuna	Centros de atención médica	Dirección
1	I.P.S Terrón Colorado	Avenida 4 oeste No. 19-00
1	I.P.S. La Paz	Avenida 8 oeste No. 19-103
1	I.P.S. Bellavista	Carrera 3 oeste No. 13-00
2	Clínica Nuestra Señora de los Remedios	Avenida 2 # 24 – 157
2	Clínica Sebastián de Belalcázar	Avenida 4 N # 7 – 81
2	Hospital San Juan de Dios	Cra 4 # 17 – 67
2	Clínica Versalles	Av 5 Nte # 23N-59
2	Clínica Rafael Uribe	Av 3 Bis N 24-150
2	IPS La Campiña	Avenida 9 N norte Calle 47

3	Hospital Cañaveralejo Ladera	Calle 3 oeste No. 12A-20
3	I.P.S. San Pascual	Calle 13A No. 13A-49
3	Clínica Nueva de Cali	Cra. 6 # 6-63
3	Clínica Occidente	Calle 18 Nte. # 5- 34
3	Hospital Cañaveralejo	Cra. 44 # 9c-178
3	Hospital Infantil Club Noel	Calle 5 # 22 – 76
4	IPS Calima	Calle 67 Carrera 6N
4	IPS La Isla	Calle 38NN No. 8n - 40
4	IPS Popular	Carrera 2 No. 45 A N - 77
4	IPS Porvenir	Calle 31 A # 4 B - 22
5	IPS La Rivera	Carrera 1 G No. 65 - 35
6	IPS Floralia	Calle 82 E Carrera 3 AN - 00
6	IPS Petecuy II	Calle 74 Carrera 1C1 - 1
6	IPS Petecuy III	Carrera 1 Calle 75 - 00
6	IPS San Luis I	Calle 71 No. 1 A 10 - 53
6	IPS San Luis II	Calle 72 C No. 1 A 2 - 61
7	Hospital Joaquín Paz Borrero	Cra 7 A BIS CLE 72-00
7	IPS Alfonso López III	Calle 74 Carerra 7M Bis
7	IPS Las Ceibas	Calle 65 Carrera 7D Bis
7	IPS 7 de Agosto	Carrera 11 B Calle 72
7	IPS Puerto Mallarino	Carrera 9 No. 76 - 35
8	Hospital Primitivo Iglesias	Carrera 16A # 33D-20
8	IPS Primitivo Crespo	Carrera 17G # 27-08
9	IPS Obrero	Calle 23 # 11B-47
9	IPS Bretaña	Carrera 23 # 10-15
9	IPS Belalcazar	Calle 17 # 19a-07
10	IPS Cristóbal Colón	Calle 15 # 33-71
10	IPS Panamericana	Calle 13 # 46A-00
10	IPS Alfonso Yung	Calle 23 # 43-13
10	IPS Divino Niño	Carrera 41A # 14C-50
10	Clínica Nuestra Señora del Rosario	Calle 10 # 33 – 51
11	IPS Luis H Garcés	Carrera 29 # 31A-39
11	IPS Primavera	Calle 35 # 32B-00
11	IPS Aguablanca	Carrera 25a # 25-105
12	IPS El Rodeo	Calle 39 # 25B-21
12	IPS Santiago Rengifo	Carrera 26M1 # 50-12
12	IPS Doce de Octubre	Calle 49 # 28G-00
13	Hospital Carlos Holmes Trujillo	Calle 72 U # 28 E - 00
13	I.P.S Diamante	Calle 41 Cra 33 C Esquina
13	I.P.S Charco azul	Diagonal 72 Cra 22
13	I.P.S Ulpiano Lloreda	Calle 72B Cra 24
14	I.P.S Manuela Beltrán	Cra 26K Calle 108
14	I.P.S Alirio Mora Beltrán	Calle 73A # 26-00

14	I.P.S Alfonso Bonilla Aragón	Cra 26 U Calle 76
15	Hospital Isaías Duarte Cansino	Calle 96 # 28 E – 3 – 01
16	Hospital Carlos Carmona Montoya	Carrera 43 No 39a – 00
16	Centro de Salud Antonio Nariño	Carrera 39D No 39-00
16	Puesto de Salud Unión de Vivienda Popular	Carrera 41D # 45-100
16	Puesto de Salud de Mariano Ramos	Calle 45 No 47B – 00
17	I.P.S Primero de Mayo	Carrera 56 No. 13G-10
18	I.P.S Meléndez	Carrera 94 No. 4C-65
18	I.P.S. Alto Polvorines	Calle 4 oeste No. 91-83
18	I.P.S. Nápoles	Carrera 76B No. 2C-16
18	I.P.S. Lourdes	Carrera 73 No. 1B-13
18	I.P.S. Alto Nápoles	Calle 2B oeste A No. 82D-11
18	Hospital Departamental Mario Correa Rengifo	Calle 2A Oeste # 76 - 35
19	Clínica los Farallones	Cra 46 # 9 C – 85 P – 3
19	Clínica San Fernando	Calle 5 # 38 – 48
19	Hospital Universitario del Valle Evaristo García	Calle 5 # 36 – 08
19	Centro Médico Imbanaco de Cali	CR 38 # 5A-100
19	Cruz Roja Colombiana	Carrera 38 Bis # 5 - 91
19	Clínica Rey David	Carrera 34 # 7-00
20	I.P.S. Brisas de Mayo	Calle 54 oeste No. 10-00
20	I.P.S. La Sirena	Barrio La Sirena, Sector Andes
21	I.P.S Decepaz	Cra 26 A # 123-10
21	I.P.S Potrero Grande	Cra 28 D2 # 123 - 01
22	Clínica Fundación Valle del Lili	Cra 98 # 18 – 49

5.2.2 Identificación de valores para ε

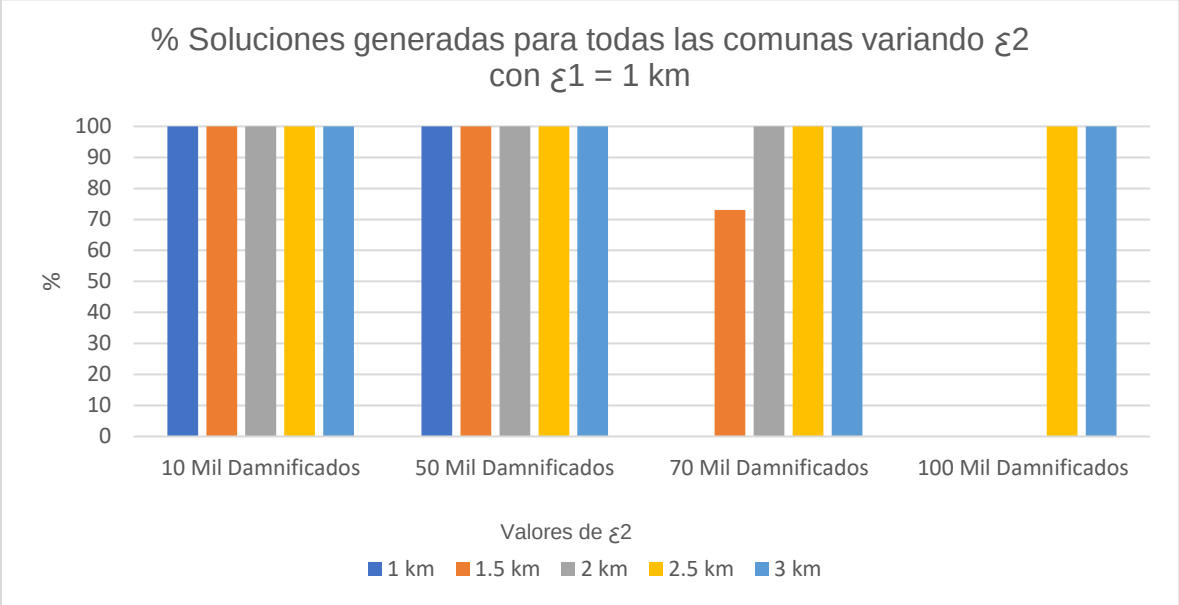
- $\varepsilon 3$:

Este ε define las características mecánicas del suelo, como el ejercicio supone situar a las personas damnificadas en sitios seguros, los albergues seleccionados deberán contar con una aceleración máximo igual o menor a 0.35 g.

- $\varepsilon 2$:

Este valor hace referencia a las distancias entre el albergue y el centro de atención médica, busca el menor valor posible que permita contar con solución para todas las comunas. Para este caso se corre el modelo con un $\varepsilon 1$ constante de 1 km, variando el número de damnificados en 10 mil, 50 mil, 70 mil y 100 mil, y la distancia de $\varepsilon 2$ en 1 km, 1.5 km, 2 km, 2.5 km y 3 km.

Ilustración 4. Soluciones generadas para todas las comunas variando ε2 con ε1=1 km.



De la gráfica anterior, se identifica que entre los albergues y centros de atención medica seleccionados, la mínima distancia que debe haber entre estos es de 2.5 km para encontrar una solución para todas las comunas, dejando a las personas en una alta vulnerabilidad.

- $\varepsilon 1$:

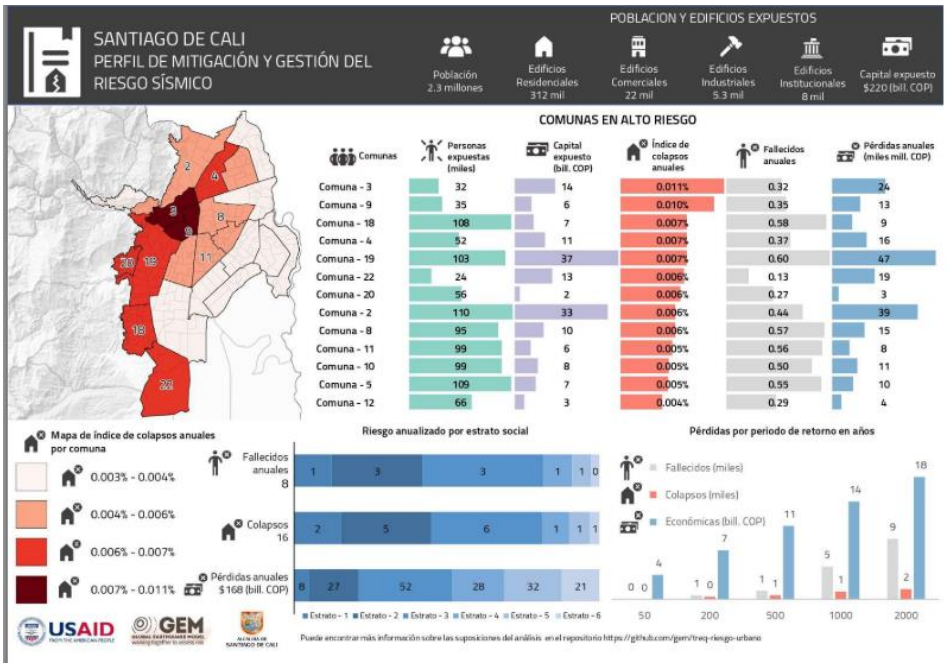
Esta es la distancia de seguridad entre la zona afectada, los albergues y centros de atención medica en caso de que se presenten daños en la infraestructura, debe ser determinada por el comandante de incidentes (Secretaria de Gestión del Riesgo de Emergencias y Desastres de Santiago de Cali, 2018b) en el momento que ocurra el siniestro y luego de evaluar los daños.

Dado que no es posible predecir el radio de la zona que se puede considerar como “peligrosa” al momento de presentarse el siniestro, para la validación se define $\varepsilon 1$ en 2 km, considerándolo un radio seguro y una distancia que permite el desplazamiento de las personas.

5.2.3 Pruebas

El documento de Evaluación de Riesgo Sísmico para Santiago de Cali (2022a) genera un perfil de riesgo sísmico para el municipio, modelando las posibles afectaciones que pueden dejar estos eventos en el transcurso de los años por comunas.

Ilustración 5. Perfil de mitigación y gestión del riesgo a largo plazo para Cali.



Fuente: Evaluación de Riesgo Sísmico para Santiago de Cali.

Para la validación del modelo se toman los datos de personas expuestas por comuna, se corre el modelo para cada una de las comunas en dos casos distintos, que se tenga daño en la infraestructura y se requiera ejercer un radio de seguridad, y el caso en el que no.

Cada una de estas pruebas arrojo como resultado la selección del albergue a la Universidad del Valle que cuenta con una capacidad aproximada de alojar a 261,310 personas, y con la cercanía de la Clínica Valle del Lili.

Por la naturaleza del modelo que busca la minimización de la distancia total recorrida y que la Universidad del Valle es el lugar con mayor capacidad, la respuesta optima en todos los casos es agrupar a las personas en un lugar que dividirlos en albergues por toda la ciudad.

Se puede observar que cuando el número de afectados es muy alto, ascendiendo las 20,000 víctimas, para el modelo siempre será optimo enviar a todas las personas al único lugar que cuenta con esa capacidad, por lo que no permite una validación completa de la efectividad de este. Por esta razón, se genera el supuesto donde los afectados fueron 3,000 personas y de esta forma analizar el comportamiento del mismo.

Los resultados se pueden ver a continuación:

Tabla 8. Simulaciones del modelo con 3,000 víctimas en cada comuna.

C	V	Riesgo a la infraestructura			Sin riesgo a la infraestructura		
		Albergues	**Capacidad**	**Centro de salud**	**Albergues**	**Capacidad**	**Centro de salud**
1	3,000	Instituto técnico industrial Antonio José Camacho	5,117	H. San Juan de Dios	Instituto técnico industrial Antonio José Camacho	5,117	H. San Juan de Dios
2	3,000	Instituto técnico industrial Antonio José Camacho	5,117	IPS San Pascual	Instituto técnico industrial Antonio José Camacho	5,117	H. San Juan de Dios
3	3,000	IE Evaristo García Sede José Hilario López	2,499	H. Primitivo Iglesias	Instituto técnico industrial	5,117	H. San Juan de Dios

		IE Nuestra señora de los Remedios	712	H. San Juan de Dios	Antonio José Camacho		
4	3,000	SENA – Salomia	7,101	IPS La Rivera	SENA – Salomia	7,101	IPS Popular
5	3,000	Unidad Recreativa de Floralia	8,362	IPS Floralia	Polideportivo Chiminangos 2	3,751	IPS La Rivera
6	3,000	Polideportivo Chiminangos 2	3,751	IPS La Rivera	Polideportivo Chiminangos 2	3,751	IPS La Rivera
7	3,000	Polideportivo Chiminangos 2	3,751	IPS La Rivera	Centro docente Rafael Pombo	3,037	H. Joaquín Paz Borrero
8	3,000	Colegio Hernando Navia Varón	3,518	IPS Luis Garcés	Colegio Hernando Navia Varón	3,518	IPS Luis H Garcés
9	3,000	Unidad Recreativa Villa del Sur	9,258	IPS Alfonso Yung	IE Evaristo García Sede José Hilario López	2,499	IPS San Pascual
					IE Nuestra señora de los remedios	712	H. San Juan de Dios
10	3,000	Unidad Recreativa Villa del Sur	9,258	IPS Primavera	Unidad Recreativa Villa del Sur	9,258	IPS Alfonso Yung
11	3,000	Unidad Recreativa Marino Rengifo Salcedo	4,306	IPS Alfonso Yung	Unidad Recreativa Villa del Sur	9,258	IPS Alfonso Yung
12	3,000	Unidad Recreativa Villa del Sur	9,258	IPS Alfonso Yung	Colegio Hernando Navia Varón	3,518	IPS Luis H Garcés
13	3,000	Unidad Recreativa Marino Rengifo Salcedo	4,306	IPS Alfonso Yung	Colegio Hernando Navia Varón	3,518	IPS Luis H Garcés
14	3,000	Centro docente Rafael Pombo	3,037	Hospital Joaquín	Centro docente Rafael Pombo	3,037	Hospital Joaquín

				Paz Borrero			Paz Borrero
15	3,000	Unidad Recreativa Marino Rengifo Salcedo	4,306	IPS Alfonso Yung	Unidad Recreativa El Vallado I	5,791	IPS Diamante
16	3,000	Unidad Recreativa Villa del Sur	9,258	IPS Alfonso Yung	Unidad Recreativa Marino Rengifo Salcedo	4,306	IPS Alfonso Yung
17	3,000	Universidad del Valle	261,310	Clínica Fundación Valle del Lili	Club Deportivo Morumbi	3,200	IPS Primero de Mayo
18	3,000	Unidad Recreativa Horizontes	5,321	IPS Meléndez	Unidad Recreativa Horizontes	5,321	IPS Meléndez
19	3,000	Instituto técnico industrial Antonio José Camacho	5,117	H. San Juan de Dios	Instituto técnico industrial Antonio José Camacho	5,117	H. San Juan de Dios
20	3,000	Unidad Recreativa Cañaverales	3,053	IPS Panamericana	Unidad Recreativa Cañaverales	3,053	IPS Panamericana
21	3,000	Centro docente Rafael Pombo	3,037	Hospital Joaquín Paz Borrero	Unidad Recreativa Manuela Beltrán	1,898	IPS Manuela Beltrán
					IE Santa Isabel de Hungría – Sede Invicali Decepaz	1,111	IPS Manuela Beltrán
22	3,000	Universidad del Valle	261,310	Clínica Fundación Valle del Lili	Universidad del Valle	261,310	Clínica Fundación Valle del Lili

Con lo anterior, se observa que, al contar con un número menor de víctimas el modelo puede brindar más opciones de albergues, esto se debe a que los posibles albergues detectados

para la ciudad de Cali cuentan con una capacidad baja, lo que deja a la ciudad (especialmente a las zonas norte, centro, oriente y occidente) en una alta vulnerabilidad al momento que se desarrolle un sismo de alto impacto.

Este ejercicio deja el precedente que Cali no cuenta con albergues de la capacidad que requiere para atender a las posibles personas afectadas por comuna en caso de sismos, a excepción de la Universidad del Valle, lo que invita a la evaluación económica de asegurar el lugar como un albergue o de evaluar que otros lugares en la ciudad pueden ser desarrollados y adaptados como alojamientos temporales.

6. Trabajos futuros y conclusiones

6.1 Trabajos futuros

Durante el desarrollo de la investigación han surgido interrogantes que se han dejado abiertos con el propósito de que sirvan de insumos para investigaciones futuras. A continuación, se presentan los interrogantes que debido al alcance del trabajo no han podido ser tratados en profundidad.

- Abarcar criterios de selección para los centros de atención médica, que no solo se limiten según la distancia que tienen con respecto a los albergues, de esta manera se puede contar con una selección de albergues y centros de salud óptimos, según el número de damnificados o el nivel de atención medica que requieran las víctimas.
- Extender el modelo con un enfoque multiobjetivo, para considerar más criterios en el momento de emitir una respuesta y brindar una perspectiva más amplia.
- Integrar el modelo de localización de albergues en un sistema o plataforma que permite a las organizaciones competentes correr el modelo en tiempo real, y les brinde una perspectiva rápida de la mejor forma de actuar en pro de salvaguardar la integridad de los damnificados.

6.2 Conclusiones

La ciudad de Cali se encuentra expuesta a un alto nivel de amenaza sísmica, pero se identifica que hay un mayor riesgo en la zona del Abanico de Cañaveralejo, esto se debe por el comportamiento dinámico especifico de la zona, que comprende una gran extensión de la comuna 10 y 19, y una pequeña sección de la comuna 17.

Los criterios para la selección de albergues temporales pueden abarcar diferentes aristas, estas pueden ser tan extensas y sofisticadas como el autor lo defina, cada estudio cuenta con sus particularidades, desde las características geográficas del lugar afectado como la información a la que se tiene alcance, por esta razón, no se evidencia una estandarización de criterios para este tipo de estudios.

La distancia mínima que permite relacionar a todos los albergues con un centro de atención médico en la ciudad de Cali, según la muestra, es de 2.5 km, lo que según la literatura expone a las personas a una alta vulnerabilidad, se debería asegurar como máximo una distancia de 1 km entre estos dos lugares, para garantizar la atención inmediata de las personas que lo necesiten. Esto deja en evidencia que se debe considerar la ubicación de los puestos de atención médica y los albergues, según su cercanía.

El alto riesgo sísmico de la ciudad de Cali y la cantidad de personas expuestas a daños y/o pérdidas materiales, revela que se debe empezar a considerar a la Universidad del Valle como un punto estratégico logísticamente e iniciar planes que permitan la rápida articulación de todos los actores logísticos en caso de sismo en la ciudad.

La Secretaria de Gestión del Riesgo de Emergencias y Desastres de Santiago de Cali, requiere identificar albergues de gran capacidad alrededor de la ciudad, para no dejar vulnerables

a las personas que habitan en el norte, centro, occidente y oriente, de esta forma garantizar la movilización de afectados a los puntos designados como albergues, dado que entre mayor cercanía al punto de afectación, mayor disposición a movilizarse.

El modelo cumple el objetivo de proporcionar al menos un albergue a los damnificados en caso de presentarse un sismo en la ciudad de Cali, la respuesta abarca la mínima distancia total recorrida entre la zona afectada al alojamiento temporal, teniendo siempre la cercanía de un centro de atención médica.

Referencias

Abikova, J. (2020). Application of fuzzy DEMATEL–ANP methods for siting refugee camps. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, *10*(3), 347–369. https://doi.org/10.1108/JHLSCM-12-2018-0078

Afshar, A., & Haghani, A. (2012). Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences*, *46*(4), 327–338. https://doi.org/10.1016/j.seps.2011.12.003

Alam, Md. S., & Haque, S. M. (2021). Multi-dimensional earthquake vulnerability assessment of residential neighborhoods of Mymensingh City, Bangladesh: A spatial multi-criteria analysis based approach. *Journal of Urban Management*, *September*, 1–22. https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.09.001

Arcila, M., García, J., Montejo, J., Eraso, J., Valcárcel, J., Mora, M., Viganó, D., Pagani, M., & Díaz, F. (2020). Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia. In *Bogotá: Servicio Geológico Colombiano y Fundación Global Earthquake Model.* https://doi.org/10.32685/9789585279469

Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management*, *11*(April 2008), 101–121. https://doi.org/10.1080/13675560701561789

Coutinho-rodrigues, J., Tralhão, L., & Alçada-almeida, L. (2012). *Solving a location-routing problem with a multiobjective approach : the design of urban evacuation plans*. *22*, 206–218. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.01.006

Desastres, U. N. para la G. del R. de, Colombia humanitaria, Organización internacional para las migraciones, Naciones Unidas, Pisani, M., Fonnegra, A., Castañeda P., S. Z., Sánchez Ardila, H., & Botero Cadavid, A. (2012). *Introducción a la gestión de alojamientos temporales*.

DesInventar on-line . (n.d.). Retrieved May 8, 2021, from https://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp

Esmaelian, M., Tavana, M., Arteaga, F. J. S., & Mohammadi, S. (2015). *A multicriteria spatial decision support system for solving emergency service station location problems*. *May*, 37–41. https://doi.org/10.1080/13658816.2015.1025790

Fritz Institute, Thomas, A. S., & Kopczak, L. R. (2005). *FROM LOGISTICS TO SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: THE PATH FORWARD IN THE HUMANITARIAN SECTOR*.

Geng, S., Hou, H., & Zhou, Z. (2021). A hybrid approach of vikor and bi-objective decision model for emergency shelter location–allocation to respond to earthquakes. *Mathematics*, *9*(16). https://doi.org/10.3390/math9161897

Hasanzadeh, H., & Bashiri, M. (2015). An efficient network for disaster management: Model and solution. *Applied Mathematical Modelling*, *40*(5–6), 3688–3702. https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.09.113

Hu, F., Xu, W., & Li, X. (2012). *A modified particle swarm optimization algorithm for optimal allocation of earthquake emergency shelters*. *August 2014*, 37–41. https://doi.org/10.1080/13658816.2011.643802

Hu, F., Yang, S., & Xu, W. (2014). *A non-dominated sorting genetic algorithm for the location and districting planning of earthquake shelters*. *October*, 37–41. https://doi.org/10.1080/13658816.2014.894638

INGEOMINAS, & DAGMA. (2005a). ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SANTIAGO DE CALI. In *Informe No.1-4 Estudio de Sismicidad Histórica Regional* (Issue 1).

INGEOMINAS, & DAGMA. (2005b). ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SANTIAGO DE CALI. In *Informe No.1-9 Evaluación de la Amenaza Sísmica Regional en Santiago de Cali* (Issues 1–9, p. 51).

INGEOMINAS, & DAGMA. (2005c). ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SANTIAGO DE CALI. In *Informe No.5-2 Análisis y Modelación de la Respuesta Sísmica Local del Subsuelo en Santiago de Cali* (Issue 1).

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (2024). *Caracterización General del Escenario de Riesgo Sísmico*.

Jahangiri, K., Borgheipour, H., Gendeshmin, S. B., Matin, A., & Monazami Tehrani, G. (2020). Site selection criteria for temporary sheltering in urban environment. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, *11*(1), 58–70. https://doi.org/10.1108/IJDRBE-06-2018-0025

Kim, M., Kim, K., & Kim, E. (2021). Problems and implications of shelter planning focusing on habitability: A case study of a temporary disaster shelter after the pohang earthquake in south korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(6), 1–16. https://doi.org/10.3390/ijerph18062868

Kovács, G., & Spens, K. M. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. In *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* (Vol. 37, Issue 2). https://doi.org/10.1108/09600030710734820

Lassiter, K., Khademi, A., & Taaffe, K. M. (2015). A robust optimization approach to volunteer management in humanitarian crises. *International Journal of Production Economics*, *163*, 97–111. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.018

Lee, Y. H., Lee, J. S., Baek, S. C., & Hong, W. H. (2020). *Spatial Equity with Census Population Data vs . Floating Population Data : The Distribution of Earthquake Evacuation Shelters in Daegu , South Korea*.

Liu, Q., Ruan, X., & Shi, P. (2011). Selection of emergency shelter sites for seismic disasters in mountainous regions : Lessons from the 2008 Wenchuan Ms 8 . 0 Earthquake , China. *Journal of Asian Earth Sciences*, *40*(4), 926–934. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.07.014

Llanos López, L. F., & Vidal Gómez, L. M. (2003). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali: Una propuesta metodológica*. Universidad del Valle.

Logistics Cluster. (2020). *This is Logistics Cluster preparedness.* https://logcluster.org/preparedness

López-vargas, J. C., & Cárdenas-Aguirre, D. M. (2018). *Factores de influencia en la coordinación logística para la preparación y atención de desastres – Una revisión de literatura*. *15*, 41–56. https://doi.org/https://doi.org/10.24050/reia.v15i30.1146

Ma, Y., Liu, B., Zhang, K., & Yang, Y. (2022). Incorporating multi-criteria suitability evaluation into multi-objective location–allocation optimization comparison for earthquake emergency shelters. *Geomatics, Natural Hazards and Risk, 13*(1), 2333–2355. https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2118623

Ma, Y., Xu, W., Qin, L., Zhao, X., & Du, J. (2019). Emergency shelters location-allocation problem concerning uncertainty and limited resources : a multi-objective optimization with a case study in the Central area of Beijing , China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *10*(1), 1242–1266. https://doi.org/10.1080/19475705.2019.1570977

Maharjan, R., Shrestha, Y., Rakhal, B., Suman, S., Hulst, J., & Hanaoka, S. (2020). Mobile logistics hubs prepositioning for emergency preparedness and response in Nepal. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*. https://doi.org/10.1108/JHLSCM-01-2020-0004

Ministerio de Salud y Protección Social. (n.d.). *Albergues*. Retrieved November 12, 2020, from https://www.minsalud.gov.co/salud/PServicios/Paginas/albergues.aspx

Praneetpholkrang, P., Huynh, V. N., & Kanjanawattana, S. (2021). A multi-objective optimization model for shelter location-allocation in response to humanitarian relief logistics. *Asian Journal of Shipping and Logistics*. https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2021.01.003

Salcedo-Hurtado, E. de J., & Pérez, J. L. (2016). Caracterización sismotectónica de la región del Valle del Cauca y zonas aledañas a partir de mecanismos focales de terremotos. *Boletin de Geologia*, *38*(3), 89–107. https://doi.org/10.18273/revbol. v38n3-2016006

Secretaria de Gestión del Riesgo de Emergencias y Desastres de Santiago de Cali. (2018a). *Estrategia de respuesta a emergencias de Santiago de Cali.*

Secretaria de Gestión del Riesgo de Emergencias y Desastres de Santiago de Cali. (2018b). *Estrategia de respuesta a emergencias de Santiago de Cali.*

Secretaria de Gestión del Riesgo de Emergencias y Desastres de Santiago de Cali. (2018c). *Plan de gestión del riesgo de desastres*.

Sismicidad Histórica de Colombia. (n.d.). Retrieved May 9, 2021, from http://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irATablaCompleta&opciones=MAPA_ACTUAL_SISMOS

Sociedad Nacional de la Cruz Roja Colombiana, & Dirección General del Socorro. (2008). *Manual Nacional para el manejo de Albergues Temporales*.

Taylor, P., & Chen, Z. (2013). *The temporal hierarchy of shelters : a hierarchical location model for earthquake-shelter planning*. *May*, 37–41. https://doi.org/10.1080/13658816.2013.763944

Tralha, L. (2009). *A Multiobjective Approach to Locate Emergency Shelters and Identify Evacuation Routes in Urban Areas*. *41*, 9–29.

Trivedi, A., & Singh, A. (2016). A hybrid multi-objective decision model for emergency shelter location-relocation projects using fuzzy analytic hierarchy process and goal programming approach. *International Journal of Project Management*. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.12.004

Trivedi, A., & Singh, A. (2017). *Prioritizing emergency shelter areas using hybrid multi - criteria decision approach : A case study*. *July 2016*, 1–13. https://doi.org/10.1002/mcda.1611

Tsioulou, A., Walker, J. F., Lo, D. S., & Yore, R. (2020). A method for determining the suitability of schools as evacuation shelters and aid distribution hubs following disasters : case study from Cagayan de Oro , Philippines. *Natural Hazards*, *0123456789*. https://doi.org/10.1007/s11069-020-04380-3

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2019). Atlas de Riesgo de Colombia: Revelando los desastres latentes. In *Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres*.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2021). *Investigaciones en gestión del riesgo de desastres para Colombia. Avances, perspectivas y casos de estudio*.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Colombia humanitaria, Organización internacional para las migraciones, Naciones Unidas, Pisani, M., Fonnegra, A., Castañeda P., S. Z., Sánchez Ardila, H., & Botero Cadavid, A. (2012a). *Ciclo de Vida del Alojamiento Temporal – instalación y apertura*. *July*, 1–23.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Colombia humanitaria, Organización internacional para las migraciones, Naciones Unidas, Pisani, M., Fonnegra, A., Castañeda P., S. Z., Sánchez Ardila, H., & Botero Cadavid, A. (2012b). *La gestión del riesgo de desastres en Colombia*.

Van Wassenhove, L. N. (2006). Blackett memorial lecture humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, *57*(5), 475–489. https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602125

Wang, D., Xi, M., & Chen, Y. (2020). *A Dynamic Shelter Location and Victim Resettlement Model Considering Equitable Waiting Costs*.

Wang, J., Situ, C., & Yu, M. (2019). *The post-disaster emergency planning problem with facility location and people / resource assignment*. *71671071*. https://doi.org/10.1108/K-04-2019-0289

Wang, Y., & Xu, Z. (2022a). A Multi-objective Location Decision Making Model for Emergency Shelters Giving Priority to Subjective Evaluation of Residents. *International Journal of Computers, Communications and Control*, *17*(4). https://doi.org/10.15837/ijccc.2022.4.4749

Wang, Y., & Xu, Z. (2022b). A Multi-objective Location Decision Making Model for Emergency Shelters Giving Priority to Subjective Evaluation of Residents. *International Journal of Computers, Communications and Control*, *17*(4). https://doi.org/10.15837/ijccc.2022.4.4749

Wu, H., Ren, P., & Xu, Z. (2019). Addressing site selection for earthquake shelters with hesitant multiplicative linguistic preference relation. *Information Sciences*. https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.12.059

Xu, J., Yin, X., Chen, D., & Nie, G. (2016). Multi-criteria location model of earthquake evacuation shelters to aid in urban planning. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.10.009

Xu, W., Ma, Y., Zhao, X., Li, Y., Qin, L., & Du, J. (2017). A comparison of scenario-based hybrid bilevel and multi-objective location-allocation models for earthquake emergency shelters : a case study in the central area of Beijing , China. *International Journal of Geographical Information Science*, *00*(00), 1–21. https://doi.org/10.1080/13658816.2017.1395882

Yepes-Estrada, C., Calderón, A., Acevedo, A. B., & Perez, H. (2022a). *Evaluación de Riesgo Sísmico para Santiago de Cali. GEM-TREQ Reporte Técnico D2.6.2*. 0–78.

Yepes-Estrada, C., Calderón, A., Acevedo, A. B., & Perez, H. (2022b). *Evaluación de Riesgo Sísmico para Santiago de Cali. GEM-TREQ Reporte Técnico D2.6.2*. 0–78.

Yi, W., & Özdamar, L. (2007). A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European Journal of Operational Research*, *179*(3), 1177–1193. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.03.077

Zhao, X., Xu, W., Ma, Y., & Hu, F. (2015). *Scenario-Based Multi-Objective Optimum Allocation Model for Earthquake Emergency Shelters Using a Modified Particle Swarm Optimization Algorithm : A Case Study in*. 1–16. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144455

Zhao, X., Xu, W., Ma, Y., Qin, L., Zhang, J., & Wang, Y. (2017). Relationships Between Evacuation Population Size , Earthquake Emergency Shelter Capacity , and Evacuation Time. *International Journal of Disaster Risk Science*. https://doi.org/10.1007/s13753-017-0157-2