

PROPUESTA DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA LOCALIZACIÓN DE
ALBERGUES TEMPORALES ANTE LA OCURRENCIA DE DESASTRES NATURALES
EN LA ZONA RURAL ALTA DEL MUNICIPIO DE BUGA

Isabella Tigreros Orjuela

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA

2023

PROPUESTA DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA LOCALIZACIÓN DE
ALBERGUES TEMPORALES ANTE LA OCURRENCIA DE DESASTRES NATURALES
EN LA ZONA RURAL ALTA DEL MUNICIPIO DE BUGA

Isabella Tigreros Orjuela

DIRECTOR

MSc Andrés Mauricio Paredes Rodríguez

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA

2023

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
3. ANTECEDENTES.....	13
4. MARCO TEÓRICO.....	16
5. DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS.....	19
1. Identificación de los peligros a los que se encuentran expuestos los habitantes de la zona rural de la ciudad de Buga.....	19
2. Definición de las variables y parámetros relacionados en la construcción de un modelo matemático y la consideración de un caso de estudio.....	22
3. Evaluación de resultados de implementación del modelo de localización de albergues temporales en el caso de estudio.....	32
6. CONCLUSIONES.....	39
7. TRABAJOS FUTUROS.....	40
8. BIBLIOGRAFIA.....	41
9. ANEXOS.....	43

INDICE DE ILUSTRACION

Ilustración 1 Condiciones climáticas Valle del Cauca	9
Ilustración 2 Municipios en alerta por lluvia (Valle del Cauca – 2021).....	10
Ilustración 3 Modelo de respuesta a emergencias incluyendo tiempos de traslado	38

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de probabilidad e impacto.....	20
Tabla 2 Zona rural Alta	26
Tabla 3 Matriz de Criterios para la Selección de Lugares Seguros	29
Tabla 4 Tiempo en minutos de traslado desde el centro de distribución, hasta los albergues temporales.....	30
Tabla 5 Tiempo en minutos de traslado desde las zonas inundadas donde están los damnificados, hasta los albergues temporales	30
Tabla 6 Centro de distribución abierto	33
Tabla 7 Albergue temporal abierto.....	33
Tabla 8 Albergues temporales que serán atendidos por un centro de distribución	34
Tabla 9 Cantidad de damnificados de cada zona atendidos por cada albergue temporal.....	35
Tabla 10 Damnificados atendidos en cada albergue temporal	36
Tabla 11 Total de damnificados atendidos en cada albergue temporal	37
Tabla 12 Tiempo total de respuesta.....	38

RESUMEN

Esta investigación propone un modelo de localización de albergues temporales para responder a emergencias causadas por desastres naturales en la zona rural de Buga. La investigación se basó en el análisis de la zona rural de Buga para identificar los eventos potenciales asociados a desastres naturales que son más representativos en la región a través del uso de una matriz de probabilidad e impacto.

El municipio de Buga, en particular su zona rural, enfrenta un alto riesgo de desastres naturales, como deslizamientos de tierra y avenidas torrenciales. Estos eventos pueden tener un impacto significativo en los sectores económico, social y ambiental, causando daños materiales, afectando la infraestructura educativa y de salud, y generando desempleo y escasez de alimentos.

Se diseñó una matriz de criterios para seleccionar lugares seguros para albergues temporales, considerando factores como infraestructura, servicios básicos, cercanía a hospitales, capacidad y la interrupción de actividades. Los lugares seleccionados fueron los coliseos IMDER Buga, Santa Barbara, La Sexta, Ciudadela Educativa Académico, y dos posibles centros de distribución: el Coliseo de Exposiciones Camilo José Cabal y el Estadio Hernando Azcárate Martínez.

La implementación de este modelo permitió un tiempo de traslado total de 102 minutos desde las zonas afectadas hasta los albergues temporales, garantizando una respuesta eficiente en situaciones de emergencia. Este enfoque contribuirá a la planificación de riesgos y desastres en Buga, minimizando los tiempos de espera y asegurando la entrega de suministros en un período razonable.

INTRODUCCIÓN

Los fenómenos naturales son eventos y procesos intrínsecos a la dinámica de la Tierra y su atmósfera, que surgen de interacciones complejas entre sus componentes geológicos, hidrológicos y atmosféricos. Estos eventos abarcan desde los movimientos de las placas tectónicas hasta los cambios climáticos, y su comprensión profunda es esencial para anticipar, adaptarse y responder de manera efectiva a sus consecuencias. Para lograr esto, se emplean métodos de medición que varían desde elementos de tecnología avanzada hasta observaciones directas en el terreno.

Los fenómenos naturales se extienden a través de una amplia gama de categorías. Los eventos sísmicos, como terremotos y tsunamis, son el resultado de la actividad tectónica y se miden mediante sismómetros y redes de monitoreo geofísico. Los fenómenos meteorológicos, como tormentas y huracanes, son medidos a través de radares y satélites meteorológicos que siguen su formación y trayectoria.

En Colombia, el 87% de los desastres ocurridos desde 1998 hasta el año 2020 fueron de origen hidrometeorológico, de estos el 31% estuvieron relacionados con sequías e incendios, 27% con inundaciones, 14% con movimientos en masa, 12% con vendavales y 2% con avenidas torrenciales, de acuerdo con consolidado de emergencias 2020.

Colombia se caracteriza por su topografía montañosa y su clima tropical. Estas condiciones hacen que las lluvias, especialmente durante el periodo de abril a noviembre, puedan causar deslizamientos de tierra y graves inundaciones. La población localizada en zonas con mayor potencial de inundación se encuentra distribuida en 79 municipios, que representan el 28% del total de la población nacional. Los departamentos con mayor población expuesta a inundaciones son Valle del Cauca, Atlántico, Cundinamarca, Magdalena, Antioquia, Córdoba, Cesar, Cauca y Meta (PNGRD 2015-2023, 2015)

Según el índice municipal de riesgo de desastres ajustado por capacidades (2018) el 40% del área del Valle del Cauca presenta condición de amenaza por desastres como movimientos en masa y flujos torrenciales. La causa principal de este último fenómeno mencionado es un aumento inusual en el nivel de agua de los ríos, generando su desbordamiento y en ocasiones puede llegar a ser destructivo por la velocidad y la gran cantidad de material de arrastre.

Estos eventos suelen ser impredecibles y, debido a su magnitud, pueden tener un impacto catastrófico en las comunidades y regiones afectadas, generando un atraso en el desarrollo social, económico y ambiental en los territorios afectados. Cabe aclarar que estos desastres no solo son causados por la naturaleza, sino también por la omisión, falta de prevención y mala planificación en cuanto a planes de emergencia, medidas de seguridad y sistemas de alerta por parte del ser humano (CEPAL, N., 2014).

Dada la información anterior, se debe tener en cuenta que la ocurrencia de este fenómeno genera tiempos cortos de acción por parte de la población más vulnerable, por ende, es necesario tener un plan de contingencia para responder de manera óptima ante este tipo de emergencias. Uno de los puntos claves durante la etapa de respuesta es la ubicación de albergues temporales. “Los albergues temporales tienen el propósito de asegurar habitabilidad temporal mientras se construyen viviendas definitivas, o las familias afectadas tienen la posibilidad de retornar a sus hogares.” (GUIA PARA LA GESTIÓN DE ALBERGUES TEMPORALES, 2021), también es importante conocer la zona, sus limitaciones y disposiciones.

En vista de la creciente necesidad de responder eficazmente a los desastres naturales que pueden afectar a la comunidad, se ha planteado la necesidad de desarrollar estrategias sólidas de prevención y respuesta. Ante la posibilidad de que eventos como terremotos, inundaciones, deslizamientos de tierra y otros fenómenos naturales ocurran, es crucial contar con un plan de contingencia eficiente (Bello, O., Bustamante, A., & Pizarro, P., 2020). En este sentido, se da paso a la propuesta de un modelo matemático diseñado para abordar uno de los aspectos más esenciales en la gestión de desastres, la localización estratégica de albergues temporales, este enfoque no solo busca reducir las distancias de trayecto para los damnificados, sino también disminuir significativamente los costos elevados asociados con la movilización.

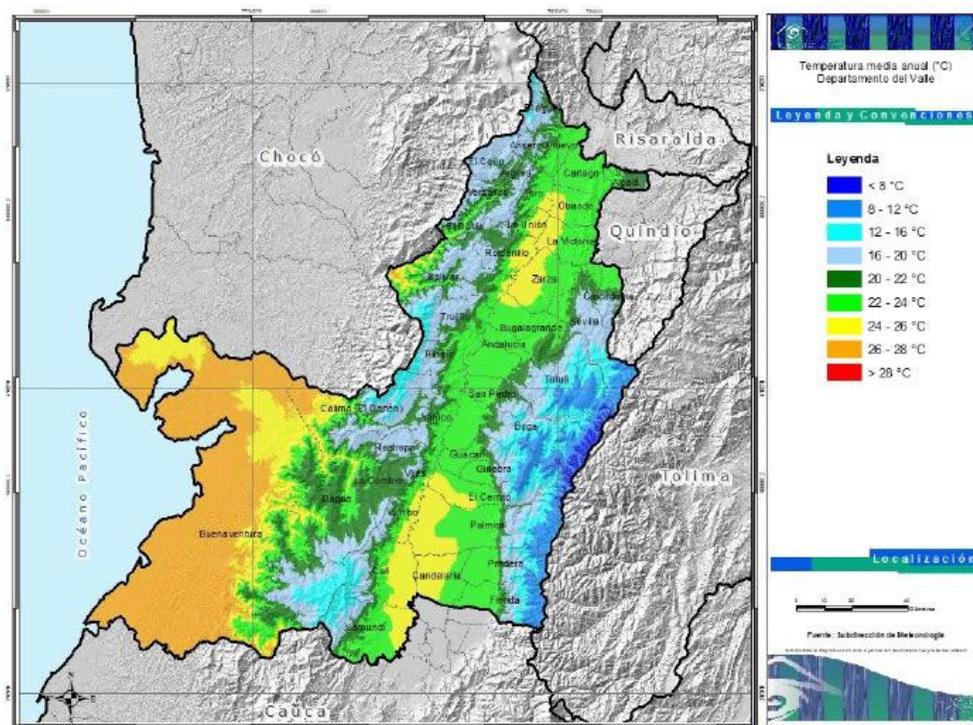
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia es un país ubicado en la región noroccidental de América del Sur, limitando al norte con el mar Caribe, al este con Venezuela y Brasil, al sur con Perú y Ecuador, y al oeste con el océano Pacífico, el país se encuentra en una posición estratégica que influye tanto en su biodiversidad como en su exposición a una variedad de fenómenos y desastres naturales.

Colombia se encuentra dentro de la Zona de Subducción del Pacífico, Reyes, C. J. (2019) expone en una entrevista a Luis Hernán Ochoa, profesor del departamento de geociencias de la Universidad Nacional, el cual detalla que el cinturón de fuego del Pacífico se extiende por todo el Océano, pasa por todo ese límite con el continente americano (Estados Unidos, México, Chile, Colombia) y llega hasta Japón, Nepal y Nueva Zelanda. Los movimientos de placas tectónicas pueden generar eventos sísmicos de diversa magnitud, con consecuencias que van desde daños estructurales hasta pérdidas humanas. Además, la ubicación costera de Colombia en el Pacífico y el Caribe aumenta el riesgo de tsunamis en áreas propensas y desencadenar situaciones de emergencia.

El Departamento del Valle del Cauca, en la región occidental de Colombia, presenta una geografía compleja que abarca desde las costas del océano Pacífico hasta las alturas de la Cordillera de los Andes. Según un artículo redactado por el País, R. E. (2023) esta variedad topográfica lo convierte en un territorio susceptible a una serie de fenómenos naturales. Al estar ubicado en la Zona de Subducción del Pacífico, enfrenta el riesgo de terremotos y tsunamis. Además, las lluvias intensas, en parte influenciadas por los patrones climáticos del fenómeno de El Niño y La Niña como se puede evidenciar en la ilustración 1, pueden desencadenar inundaciones y deslizamientos de tierra en zonas montañosas y laderas empinadas, lo que causa daños significativos en comunidades y la infraestructura, afectando tanto áreas urbanas como rurales (Fenomeno Niño y niña - IDEAM, s. f.)

Ilustración 1 Condiciones climáticas Valle del Cauca

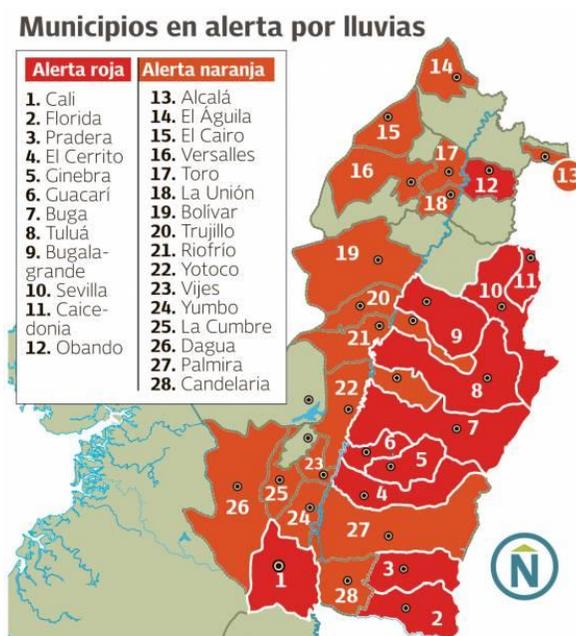


Fuente: Martínez, A. G. (2019a, abril 16). *todacolombia.com*.

Esta vulnerabilidad ante los desastres naturales se acentúa en el Valle del Cauca debido a su ubicación geográfica y a las condiciones geológicas e hidrográficas presentes en la región. Las lluvias torrenciales, en particular, provocan inundaciones y deslizamientos de tierra, exponiendo a la población y la infraestructura a peligros inminentes. Además, la falta de una planificación territorial adecuada ha resultado en la alta concentración de habitantes en zonas de riesgo, lo que a su vez ha generado víctimas fatales y pérdidas materiales significativas en eventos pasados. En situaciones extremas, la magnitud de los desastres ha llegado al punto de reducir el acceso a servicios básicos como alimentación, hidratación, refugio y privacidad (Guía de Atención a Población en Condiciones de Emergencia, 2020)

“Lluvias causan afectaciones a más de 70 mil vallecaucanos” artículo redactado por El País (2021), en el cual aseguran que, en marzo del año 2021, más de 70.000 personas del departamento se vieron afectadas a causa de las fuertes lluvias, en su gran mayoría habitantes de las zonas rurales, doce municipios del departamento se declararon en alerta roja y dieciséis en alerta naranja debido a las emergencias que estas causaron como lo muestra la ilustración 2.

Ilustración 2 Municipios en alerta por lluvia (Valle del Cauca – 2021)



Fuente: IDEAM y Secretaría de Gestión del Riesgo del Valle

Como caso de estudio se ha seleccionado el municipio de Buga, se puede evidenciar en la ilustración 2, que este es uno de los municipios en alerta roja, la zona rural de la ciudad corre mayor riesgo principalmente por la poca planeación territorial ante la ocurrencia de desastres naturales, en esta zona se han identificado dos sectores que se pueden ver afectados a causa de estos, están los habitantes ubicados en cercanía o sobre terrenos montañosos, donde el peligro por derrumbes o deslizamiento de tierra es latente y los habitantes ubicados en cercanía al río, ya que al aumentar su caudal pueden ocasionar inundaciones altamente peligrosas incrementando el riesgo de pérdida de vidas.

La ocurrencia de estos desastres puede impactar de manera negativa los sectores económico, social y ambiental, económicamente no solo es afectado el lugar de los hechos, ya que es una reacción en cadena desde el lugar de impacto, expandiéndose a nivel departamental y hasta nacional, afectando de manera significativa la agricultura y la industria paralizando sus actividades, también se debe tener en cuenta la cantidad de dinero que se emplea en recursos de ayuda humanitaria y reconstrucción (CEPAL, N., 2014). Cada periodo de gobierno tiene un presupuesto para la gestión de riesgos, no se puede medir la magnitud de los daños ocasionados a futuro por la posible ocurrencia de estos, por ende, los gastos pueden ser mayores o menores

a ese monto estipulado, desestabilizando el avance económico del país (PNGRD 2015-2030, 2015)

El impacto social por consecuencia de un desastre tiene repercusiones significativas en diversos aspectos, entre ellos la afectación directamente a la infraestructura, en el área de la educación, aumenta la deserción escolar, afectado el desarrollo y la continuidad educativa, asimismo, la pérdida de los cultivos involucra la escases de alimentos y desempleo, la contaminación de agua potable y el estancamiento de aguas residuales es el lugar indicado para la proliferación de vectores, los cuales pueden transmitir enfermedades entre personas (CEPAL, N., 2014)

A nivel ambiental, puede causar múltiples consecuencias, a) la suspensión de los servicios de energía, agua y desagüe, b) contaminación del aire por descomposición de materia orgánica o por el material de arrastre que trae el río, c) deterioro y contaminación de suelos por estancamiento de aguas negras, d) destrucción de la flora y fauna, y en el peor de los casos la destrucción total de la zona, teniendo que reubicar toda la población del sector rural en el área urbana. (Desastres naturales y su influencia en el medio ambiente, s. f.)

La logística humanitaria tiene un alto nivel de complejidad, ya que debe combinar actividades de logística de transporte, logística de almacenamiento y logística de distribución y dar respuesta inmediata a situaciones impredecibles, incluso en lugares propensos a desastres donde se cuenta con un plan de contingencia pueden ocurrir eventualidades que no estaban pronosticadas, por este motivo la agilidad es parte clave en estos procesos, teniendo en cuenta que las decisiones deben ser tomadas bajo criterios de humanidad, imparcialidad y neutralidad. (El papel de la logística humanitaria en el desastre natural ocasionado por el huracán Lota., s. f.)

Con base en lo anterior, se pretende dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cómo puede aportar a la planeación de riesgos y desastres del municipio un modelo de localización de albergues temporales para la población afectada de la zona rural de Buga durante la posible ocurrencia de desastres naturales?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Proponer un modelo de localización de albergues temporales para dar respuesta a las emergencias causadas por desastres naturales en el área rural de Buga

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un diagnóstico de la zona rural para identificar los peligros a los que se encuentran expuestos los habitantes
- Definir las variables y parámetros relacionados en la construcción de un modelo matemático
- Evaluar los resultados de implementación del modelo de localización de albergues temporales en el caso de estudio

3. ANTECEDENTES

La zona rural de Buga ha sido testigo de una serie de desastres naturales a lo largo de su historia. Estos eventos, que van desde inundaciones repentinas hasta deslizamientos de tierra y sismos, han dejado una marca indeleble en la comunidad y la región. Para comprender mejor la magnitud de estos desastres y cómo han impactado en la zona rural de Buga, es esencial explorar sus antecedentes y las lecciones aprendidas a lo largo del tiempo.

Esta revisión se adentrará en los antecedentes de ocurrencia de desastres naturales en la zona rural de Buga. Se exploran algunos eventos como las inundaciones causadas por fuertes precipitaciones, o deslizamientos de tierra, desencadenados por la topografía montañosa, que han afectado a las comunidades rurales. También se examinan la respuesta de los habitantes y las medidas de ayuda proporcionadas por las autoridades locales en medio de estas adversidades.

Toda la información recaudada ha sido extraída del plan municipal del riesgo de desastres (2019) diseñado por El CONSEJO MUNICIPAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES DE GUADALAJARA DE BUGA, el cual tiene como objetivo dirigir, orientar y coordinar la Gestión del Riesgo de Desastres, fortaleciendo las capacidades de las entidades públicas, privadas, comunitarias y de la sociedad en general, para contribuir al desarrollo sostenible del Municipio, a través del conocimiento del riesgo, su reducción y el manejo de los desastres asociados con fenómenos de origen natural, tecnológico y humano no intencional.

A continuación, presentamos los resultados de la identificación de escenarios de riesgo según el criterio de fenómenos amenazantes. Estos hallazgos son fundamentales para la toma de decisiones informadas y la implementación de medidas preventivas y de respuesta efectivas.

- a) Escenarios de riesgo asociados con fenómenos de origen hidrometeorológico que dan origen a inundaciones zona influencia del río Cauca, avenidas torrenciales del río Guadalajara, vendavales y afectaciones por el Cambio Climático

Con una cuenca de 13.589 hectáreas y un rango altitudinal entre 1400 y 3500 msnm, constituye un área de importancia estratégica debido a la red hídrica y su papel en el suministro de agua para consumo humano y otras actividades vitales para la ciudad de Buga.

Su mayor amenaza deriva del posible embalsamiento en la parte alta o cabecera del río, el cual al romperse afectaría más del 30% de la población en el casco urbano y rural, en la temporada invernal principalmente durante los meses de Abril y Mayo – Octubre y Noviembre se presentan avenidas torrenciales con flujos que oscilan entre los 100 a 200m³/seg.

Durante la influencia del fenómeno de la Niña, las inundaciones, avenidas torrenciales y los vendavales se incrementan aumentando el riesgo de afectación tanto en volumen de eventos como en tiempo de durabilidad de los mismos.

Igualmente existe en el municipio algunos sectores que se colapsan por deficiencia en el alcantarillado en momentos de lluvias torrenciales, los asentamientos humanos ubicados en zonas de protección del cauce en el sector de la Piscina, la Habana, La Magdalena, Crucebar, Puente Negro y La Granjita están en zona de alto riesgo.

El municipio de Guadalajara de Buga, resulto afectado por la fuerte ola invernal que se presentó en todo el territorio colombiano.

Entre los meses de noviembre y diciembre del año 2010, se presentaron emergencias en varios sectores del municipio que afectaron de manera considerable áreas tales como: viviendas, vías e infraestructura.

Los Factores que favorecieron la ocurrencia del fenómeno: El impacto ambiental en la zona alta y media de la cuenca del Rio Cauca, la ocupación de la zona de protección del cauce por parte de las haciendas vecinas y la construcción indiscriminada de barreras de protección de los cultivos.

- b) Escenarios de riesgo asociados con fenómenos de origen geológico que dan origen a sismos, movimientos en masa y activación de fallas geológicas

Dada la ubicación Geográfica, Geológica y topográfica del Municipio de Guadalajara de Buga se presenta alta posibilidad de fenómenos en remoción en masa, esta situación unida a la intervención inadecuada por el mal uso de los suelos de laderas (Tala indiscriminada de bosques, explotación agropecuaria sin técnicas apropiadas) incrementa la posibilidad de aparición de este tipo de eventos.

Según el PMGRD (Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres 2019) existen en el municipio identificado sitios de macro-deslizamientos como en los sectores del paso del Oriente sobre la quebrada del mismo nombre, vereda el Janeiro, vereda el Diamante y vereda Puente Negro, al igual de un centenar de fenómenos menores a lo largo de la cuenca del río Guadalajara y otras zonas rurales del municipio.

En los meses de marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre del año 2018 se presentaron fuertes lluvias las cuales originaron una serie de deslizamientos sobre el cauce del río Guadalajara y sus quebradas, esto genera embalsamientos en varios sitios los cuales generan avenidas torrenciales de gran magnitud en las zonas aledañas a estos cauces.

Los fenómenos asociados a esta situación fue la ocupación indebida de la zona de protección de los cauces por asentamientos humanos subnormales, además de esto es importante tener en cuenta el cambio y la variabilidad climática, también El impacto ambiental en la zona alta y media de la cuenca del Río Guadalajara, esto debido a la explotación irracional de la madera, el sobre-pastoreo por ganaderías extensivas, facilito el depósito de grandes cantidades de agua en las cuencas de las quebradas La Negra, La Granjita, El Janeiro, La Honda y Presidente esto unido a los deslizamientos y el arrastre de la vegetación afectada favorecieron la ocurrencia del fenómeno.

Esto afecto la bocatoma del acueducto de Buga, el muro de contención en el Janeiro, se perdieron varias cabezas de ganado, se tuvo perdida en cultivos agrícolas, pérdidas económicas y materiales de las comunidades afectadas.

4. MARCO TEÓRICO

La logística humanitaria es el proceso de planificación, control de flujo, almacenamiento y distribución de bienes, materiales e información a regiones más vulnerables (Humanitarian Logistics Conference 2004). Debido a los innumerables desastres que han ocurrido desde el siglo V a.C. Leiras (2014); Sheppard (2013; Whiting & Ayala (2009) aseguran que la logística humanitaria debe estar en una constante evolución para encontrar nuevos métodos y herramientas fundamentales para mitigar, prevenir o restaurar los efectos que dejan eventos como estos. El significado de logística humanitaria ha cambiado desde que Kreps & Bosworth (1993) hablaron del papel y el desempeño de las tareas de cada uno de los integrantes de las organizaciones que se encargan de la ayuda humanitaria, hasta la aplicación de metodologías y tecnología que contribuyen a mejorar la gestión de las diferentes organizaciones de ayuda humanitaria en las zonas afectadas por el desastre como lo desarrollan Rodríguez, Vitoriano y Montero (2012). Las actividades relacionadas con la logística humanitaria proponen un alto grado de complejidad, ya que son respuestas inmediatas a situaciones impredecibles, en las cuales se debe tener en cuenta el lugar, el tiempo y la cantidad no solo de los suministros sino también de las personas afectadas por estos sucesos. Con estas operaciones se pueden salvar vidas, recuperar lo poco que quede de infraestructura y brindar un apoyo a la sociedad.

La logística cumple el papel de conexión entre la preparación y respuesta de desastres, adquisición y distribución, sede y campo. Una operación de respuesta a desastres involucra el intercambio entre agilidad, costo y exactitud con respecto al tipo de bienes entregados y sus cantidades. En esta clase de sucesos no solo se pierden vidas humanas sino también pérdida de la flora y la fauna, también la infraestructura queda afectada, por ende, la recuperación de todo esto generan costos que asume tanto el sector público, como el sector privado, sin mencionar los costos adicionales que se deben asumir por las operaciones que realizan las organizaciones humanitarias (CEPAL, N., 2014).

Las fases generales de atención de riesgos son la mitigación, preparación, respuesta y recuperación (Rivera, et al., 2015). Después de haber realizado una revisión conceptual, López-Vargas, J. C., & Cárdenas-Aguirre, D. M. (2017) aseguran que la mitigación y la preparación se convierten en las fases más importantes, porque con una estrategia organizada y debidamente

coordinada se busca prevenir consecuencias como la pérdida de vidas humanas, daños al medio ambiente, destrucción de infraestructuras y pérdidas económicas.

Con el paso del tiempo han aumentado los desastres naturales y a su vez la necesidad de sobrevivir a estos escenarios (Gutiérrez Vega, C. A., 2013). Cuando la población sufre estas adversidades quedan con múltiples necesidades como, por ejemplo, no contar con una vivienda justa y cómoda, alimentos dignos y sanos, atención médica inmediata, suministro de medicinas y/o apoyo psicológico, ya que en muchos casos sufren pérdidas de familiares (Goyes & Salazar, 2016).

Goyes (2016) afirma que las medidas a implementar deben asumirse como respuestas oportunas, ágiles y eficientes que satisfagan las necesidades del afectado final, ofreciendo una asistencia rápida a la población que sufrió algún tipo de desastre

Según Reyes (2015) al momento de presentarse un desastre natural, específicamente inundaciones, la población afectada queda totalmente vulnerable. IFRC (2010) International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, citato por Reyes et al. (2014) plantea que es necesario tener un plan de distribución de albergues temporales diseñados estratégicamente y de este modo atender una emergencia post-desastre, además, según investigaciones realizadas en Colombia “organizaciones como la Cruz Roja de Colombia mediante el desarrollo de programas de capacitación a la población e instituciones, paralelo a ello se han desarrollado una serie de protocolos y lineamientos para gestionar la situación del sector” (IFRC, 2010).

La logística humanitaria es el proceso de planificar, implementar y controlar de manera eficiente, el flujo y almacenamiento de materiales y de información relacionada, desde el punto de origen al punto de consumo, con el propósito de satisfacer las necesidades de los beneficiarios y aliviar el sufrimiento de la población vulnerable (Viera, Moscatelli, y Tansini, 2012), Esto incluye proveer de soporte, servicios, materiales y transporte a los involucrados en la asistencia a los damnificados.

Ante la ocurrencia de un desastre natural, se genera un sentimiento de incertidumbre ante la escasez de ayuda y la posible ubicación de alojamiento para víctimas, porque ante estos sucesos la infraestructura local puede declararse en pérdida total, por ende, las familias inician una búsqueda de alojamiento alternativo, hasta que se realice la respectiva reubicación de viviendas (Johnson, 2007).

En la revisión literaria se pudo identificar una variedad de diseños de modelos de programación entera mixta, todos estos con el objetivo de mejorar la atención de los damnificados por desastres, entre estos modelos encontramos el de Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008), estos autores desarrollaron un modelo de programación entera mixta para determinar el número y la ubicación de centros de distribución, así como la cantidad de suministros que debe almacenar cada uno de estos para satisfacer las necesidades de los damnificados. Los resultados de este modelo muestran un impacto en la financiación de ayuda en el antes y después del desastre, con un tiempo de respuesta eficiente y la proporción de la demanda satisfecha.

Repoussis, Panagiotis P. & Paraskevopoulos, Dimitris C. & Vazacopoulos, Alkiviadis & Hupert, Nathaniel (2016), formularon un modelo de programación entera mixta para dar respuesta después de un incidente con múltiples víctimas, los autores se centran en la capacidad hospitalaria, tratamientos disponibles y la gravedad de las heridas, con el objetivo de minimizar el tiempo de tratamiento de cada paciente, también buscan minimizar el tiempo de transporte de pacientes mediante un sistema de triaje, lo que disminuye la mortalidad.

Por otro lado, está el modelo de Chen, A. Y., & Yu, T. (2016) enfocado en la infraestructura de transporte necesaria para el funcionamiento de los Servicios Médicos de Emergencia (EMS), a parte de la programación entera mixta, también tiene en cuenta la partición basada en red para determinar la ubicación temporal de las instalaciones de EMS en el área del desastre. Se espera que los resultados sirvan como herramientas para la toma de decisiones y establecer puntos de referencia para la planificación futura de EMS después de un desastre.

5. DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS

1. Identificación de los peligros a los que se encuentran expuestos los habitantes de la zona rural de la ciudad de Buga

El método por utilizar para obtener la información y datos pertinentes ha sido fuentes directas como entrevistas y fuentes secundarias como acceso a metabuscadores donde se encuentran todos los recursos de información e investigación.

Para identificar los desastres naturales más latentes, se ha desarrollado una matriz de probabilidad e impacto con la información suministrada por las personas que han estado relacionadas de manera directa con este tipo de desastres, en este caso se han escogido de manera aleatoria 20 habitantes de la zona rural de Buga, entre los corregimientos de la Habana, la Magdalena, la María, Monterrey y El Placer, y las unidades de búsqueda y rescate (Cruz Roja Colombiana – sede Buga, Defensa Civil, Bomberos Voluntarios Buga).

En estas entrevistas se explicaron los diferentes eventos de desastres naturales a los que están más propensos en la zona rural, se explicó la manera de calificar cada uno de ellos en su nivel de probabilidad de ocurrencia y nivel de impacto. Con la información recopilada se procedió a elaborar la matriz de probabilidad e impacto, esta matriz es una herramienta utilizada en la gestión de riesgos y la planificación de desastres para evaluar y priorizar los eventos potenciales. Consiste en clasificar los eventos según dos criterios: la probabilidad de ocurrencia y el impacto potencial. Esto permite asignar una puntuación a cada evento para determinar su nivel de riesgo y prioridad en la planificación y preparación. Cada tipo de desastre se califica en una escala del 1 al 5, cuanto mayor sea la puntuación en esta matriz, mayor será la prioridad de atención y preparación. Los eventos seleccionados en la matriz de probabilidad e impacto se basan en la información proporcionada en el "Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres 2019"

Al obtener el resultado promedio de cada criterio se multiplica la puntuación de probabilidad por la puntuación de impacto para cada evento. Esto proporciona un puntaje de riesgo, de esta manera se clasifican los eventos de acuerdo a su puntaje como alto, medio, bajo. Los eventos

con los puntajes de riesgo más altos representan riesgos más significativos y deben abordarse como prioridad.

- Si el resultado es mayor o igual a 20, clasifica el evento como "Alto".
- Si el resultado está entre 10 y 19, clasifica el evento como "Medio".
- Si el resultado es menor o igual a 9, clasifica el evento como "Bajo".

Tabla 1 Matriz de probabilidad e impacto

Riesgo	Probabilidad (1-5)	Impacto (1-5)	Resultado	Clasificación
Sismos (Terremotos)	2,00	4,70	9,40	MEDIO
Vendavales	2,80	4,00	11,20	MEDIO
Heladas	2,00	2,45	4,90	BAJO
Sequías y Desertificación	2,00	2,55	5,10	BAJO
Inundaciones	4,95	4,70	23,27	ALTO
Avenidas Torrenciales	4,40	4,55	20,02	ALTO
Remoción en Masa	3,55	4,00	14,20	MEDIO
Granizadas	2,00	1,10	2,20	BAJO
Erosión	1,00	3,00	3,00	BAJO

Fuente: elaboración propia

Una vez completada la evaluación de riesgos y la construcción de la matriz de probabilidad e impacto, es esencial comprender los resultados de esta evaluación, es evidente que hay dos riesgos que se destacan como los de mayor importancia y potencial impacto en la zona rural de la ciudad de Buga. Después de realizar el análisis, se identifican los peligros desde un enfoque descriptivo y explicativo. La ciudad de Buga, al igual que muchas otras áreas urbanas en Colombia, está propensa a diversos desastres naturales, incluyendo inundaciones y avenidas torrenciales debido a su geografía y condiciones climáticas.

Inundaciones: tienen una alta probabilidad (casi 5) de ocurrir y un impacto significativo (4,70), por tal motivo se califica como categoría "ALTO" en la matriz de probabilidad e impacto. Esto significa que las inundaciones son una amenaza crítica para la zona rural de Buga. Pueden causar daños severos en la comunidad y la infraestructura, lo que incluye daños a viviendas, pérdida de cultivos y la necesidad de una respuesta de emergencia efectiva.

Avenidas Torrenciales: tienen una alta probabilidad (4,40) y un impacto significativo (4,55). Están clasificadas como "ALTO" en la matriz, lo que indica que representan una amenaza importante para la comunidad en la zona rural. Estas avenidas pueden desencadenar inundaciones repentinas y deben ser tratadas con precaución.

Con base en la información recopilada por el BENEMÉRITO CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS BUGA, se destaca que, para abordar estos peligros, es esencial que las autoridades locales y la comunidad estén preparadas y cuenten con planes de gestión de riesgos, sistemas de alerta temprana y medidas de mitigación. Esto incluye la identificación de zonas de riesgo, el fortalecimiento de la infraestructura de drenaje, la implementación de medidas de control de erosión, y la promoción de la conciencia pública sobre la importancia de la planificación urbana segura y sostenible.

Para terminar de identificar peligros, variables y parámetros se llevó a cabo una revisión bibliográfica en metabuscadores y bases de datos como Dialnet, Google académico, ProQuest, entre otros, todo esto con el fin de identificar lo que un modelo de localización de albergues temporales en zonas rurales puede ayudar en situaciones de emergencia desde el punto de vista de diferentes autores. También se ha decidido acudir a las entidades de socorro municipales para obtener datos y cifras relevantes de las emergencias ocurridas durante la última década en el sector, que permitan abordar el segundo objetivo planteado, donde la información recolectada se utilizará como base para desarrollar modelos matemáticos que permitan dar una solución eficaz post – desastre, estableciendo parámetros, variables, función objetiva y restricciones que permitan un correcto desarrollo del modelo.

2. Definición de las variables y parámetros relacionados en la construcción de un modelo matemático y la consideración de un caso de estudio

Localización de centro de distribución y albergues temporales

Este modelo de localización de albergues es un modelo matemático de programación lineal entera mixta, el cual será utilizado para determinar el lugar ideal para establecer el centro de distribución y los albergues temporales que pueden ser abiertos de acuerdo a la magnitud de la emergencia, esto con el fin de minimizar el mayor tiempo posible en el transporte de suministros y personal capacitado desde el centro hacia los albergues temporales y se busca brindar una atención oportuna a los damnificados, tener mayor cobertura de la zona afectada y realizar una correcta distribución de recursos materiales y humanos.

El modelo que se muestra a continuación fue una adaptación del Modelo matemático de programación lineal entera mixta para LOCALIZACIÓN DE ALBERGUES Y CENTRO DE DISTRIBUCIÓN (Marín Gómez, K. V., & Morales Corredor, J. D., 2018)

Supuestos

1. La zona rural de la ciudad de Buga no cuenta con una buena infraestructura o terrenos aptos para localizar albergues ante una posible inundación, por ende, se toma como opción utilizar instalaciones educativas, coliseos o parques de la zona
2. Los damnificados abandonan la zona de emergencia y son enviados a los a los albergues temporales
3. Cada damnificado recibe un kit personal el cual contiene cobija, almohada y colchoneta
4. Los kits estarán ubicados en el centro de distribución bajo la supervisión de un encargado de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres
5. Los tiempos de distribución, ruteo y cantidad de damnificados son determinísticos

Conjuntos

- CS: Nodos seguros para la instalación del centro de distribución indexado por i
- AS: Nodos seguros para la instalación de albergues temporales indexado por j
- DI: Zonas inundadas donde están los damnificados indexado por k

Parámetros

- $TPCS_{ij}$: Tiempo de traslado desde el centro de distribución i hasta los albergues temporales j
- $TPDI_{kj}$: Tiempo de traslado desde las zonas inundadas donde están los damnificados k hasta los albergues temporales j
- $DAFI_k$: Cantidad de damnificados ubicados en la zona inundada k que requieren atención
- $CDAFI_j$: Capacidad del albergue temporal j para atender a los damnificados
- $CONK$: Consumo de kits personales por cada damnificado
- CCS_i : Capacidad del centro de distribución para almacenar los suministros necesarios para la atención de los damnificados

Variables de decisión

1. X_i binaria: 1 si el centro de distribución es ubicado en la zona i , de lo contrario 0
2. Y_j binaria: 1 si el albergue temporal es ubicado en la zona j , de lo contrario 0
3. Q_{ij} binaria: 1 si el centro de distribución i atiende al albergue temporal j , de lo contrario 0
4. G_{kj} : cantidad de damnificados k que son atendidos en el albergue temporal j
5. V_{kj} binaria: 1 si los damnificados de la zona k son atendidos en el albergue j , de lo contrario 0
6. F_{ij} : cantidad de suministros suministrados desde el centro de distribución i hasta el albergue temporal j

Función objetivo

Minimizar el tiempo de traslado desde el centro de distribución ubicado en la zona i y zona de damnificados k hasta los albergues temporales ubicados en la zona j , cabe aclarar que el tiempo arrojado es en minutos

$$\sum_{\forall i,j} TPCS_{i,j} * Q_{i,j} + \sum_{\forall k,j} TPDI_{k,j} * V_{k,j}$$

Restricciones

1. Una zona solo puede ser utilizada para el centro de distribución o el albergue temporal

$$X_i + Y_j \leq 1 \quad \forall i \in \mathbf{CS}, j \in \mathbf{AS}, i = j$$

2. Solo se debe abrir un centro de distribución i

$$\sum_{i \in \mathbf{CS}} X_i = 1$$

3. El centro de distribución atiende al albergue temporal j

$$\sum_{i \in \mathbf{CS}} Q_{ij} = Y_j \quad \forall j \in \mathbf{AS}$$

4. Centro de distribución i abierto para ser asignado a los albergues temporales j

$$\sum_{k \in \mathbf{DI}} Q_{ij} \leq X_i \quad \forall i \in \mathbf{CS}$$

5. Garantizar la atención de damnificados de la zona k en el albergue temporal j

$$\sum_{k \in \mathbf{DI}} G_{kj} \leq CDAFI_j * Y_j \quad \forall j \in \mathbf{AS}$$

6. El albergue recibe todos los damnificados de la zona

$$G_{kj} = V_{kj} * DAFI_k \quad \forall j \in \mathbf{AS}, k \in \mathbf{DI}$$

7. Los damnificados de la zona k son atendidos en el albergue j

$$\sum_{j \in \mathbf{AS}} V_{kj} = 1 \quad \forall k \in \mathbf{DI}$$

8. El albergue temporal se abre solo si el número de damnificados afectados a atender supera el 10% de la capacidad del albergue

$$\sum_{k \in \mathbf{DI}} G_{kj} \geq 0.1 * CDAFI_j * Y_j \quad \forall j \in \mathbf{AS}$$

9. Cada albergue que se abra debe tener la capacidad suficiente para atender a los damnificados de la zona k

$$\sum_{k \in \mathbf{DI}} DAFI_k * V_{kj} \leq CDAFI_j * Y_j \quad \forall j \in \mathbf{AS}$$

10. La cantidad de suministros que se envían desde el centro de distribución hacia el albergue temporal no debe superar la capacidad del centro de distribución

$$\sum_{j \in \mathbf{AS}} F_{ij} \leq CCS_i * X_i \quad \forall i \in \mathbf{CS}$$

11. La cantidad de suministros que se envían desde el centro de distribución hacia el albergue temporal no debe superar la capacidad del albergue temporal

$$\sum_{i \in \mathbf{CS}} F_{ij} \leq CONK * CDAFI_j * Y_i \quad \forall j \in \mathbf{AS}$$

12. El total de damnificados a atender en el albergue j de la zona k debe ser el total de damnificados de la zona afectada

$$\sum_{j \in \mathbf{AS}} G_{kj} \geq DAFI_k \quad \forall k \in \mathbf{DI}$$

13. Garantizar que los albergues temporales sean suficientes para atender la población afectada

$$\sum_{j \in \mathbf{AS}} Y_j \geq \frac{\sum_{k \in \mathbf{DI}} DAFI_k}{\sum_{j \in \mathbf{AS}} CDAFI_j}$$

14. Garantizar que se envíe la cantidad de suministros suficientes para cubrir la demanda del albergue

$$\sum_{i \in \mathbf{CS}} F_{ij} \geq CONK * \sum_{k \in \mathbf{DI}} G_{kj} \quad \forall j \in \mathbf{AS}$$

15. Restricciones obvias

$$X_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in \mathbf{CS}$$

$$Y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in \mathbf{AS}$$

$$Q_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in \mathbf{CD}, j \in \mathbf{AS}$$

$$V_{kj} \in \{0,1\} \quad \forall k \in \mathbf{DI}, j \in \mathbf{AS}$$

$$G_{kj} \geq 0 \quad \forall k \in \mathbf{DI}, j \in \mathbf{AS}$$

$$F_{ij} \geq 0 \quad \forall k \in \mathbf{DI}, j \in \mathbf{AS}$$

CASO DE ESTUDIO

El Municipio está situado en la Zona Centro del Departamento del Valle del Cauca, donde se hace más angosto el valle geográfico del río Cuaca, gozando no solamente de la belleza del paisaje, de su variada y hermosa topografía sino también de la fertilidad y productividad de sus tierras, constituyéndose en una verdadera despensa agrícola y ganadera (CONSEJO MUNICIPAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES DE GUADALAJARA DE BUGA, 2019)

La ciudad está asentada en las estribaciones de la Cordillera Central, sobre el margen derecho del Río Guadalajara, que en su recorrido atraviesa la ciudad de oriente a occidente en la parte más crítica del cono aluvial; se encuentra a 74Km de Santiago de Cali, la capital del departamento y a 126Km del Puerto de Buenaventura, el más importante del occidente colombiano (CMGR, 2019)

Su ubicación geográfica es privilegiada y estratégica, pues la coloca en un verdadero cruce de caminos, en el lugar de convergencia de las principales vías terrestres que cruzan el occidente del país (CMGR, 2019). Como se puede evidenciar en la Tabla 2 Buga cuenta con un conjunto de corregimientos que conforman su zona rural, donde la belleza natural se entremezcla con las comunidades que han habitado estas tierras por generaciones. Sin embargo, esta área no está exenta de amenazas naturales, como inundaciones, deslizamientos de tierra y fenómenos climáticos extremos, que pueden afectar la vida y la infraestructura de estas comunidades rurales.

Tabla 2 Zona rural Alta

ITEM	CORREGIMIENTOS/VEREDAS	AREA(Has)	VIVIENDAS	HABS.
1	LA MARÍA	2.801,20	210	1.555
	La María			983
	La Primavera			165
	Los Medios			120
	Guadualejo			287
2	LA HABANA	5.807,60	220	1.878
	La Habana			260

	La Magdalena			450
	El Janeiro			297
	La Piscina			151
	Alaska			239
	El Diamante			96
	Alto Cielo			55
	Las Frías			140
	La Cabaña			51
	La Planta			47
	La Granjita			92
3	RIO LORO / LA MESA	20.044	35	150
4	EL PLACER	5.442,50	69	250
5	LOS BANCOS	2.888,60	39	324
	La Venta			192
	El Jardín			132
6	CRUCERO NOGALES	1.161,50	43	210
7	FRISOLES	2.364,10	49	423
	Frisoles			302
	La Florida			121
8	EL SALADO	5.563,80	26	109
	El Salado			29
	San Agustín			80
9	EL ROSARIO	7.539,90	25	92
	Santa Rosa			60
	Santa Rita			32
10	LA PLAYA DEL BUEY	5.267,10	23	109
	La Playa del Buey			80
	El Topacio			29
Total:		58.880,30	739	9.590

Fuente: Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres 2018

Con el modelo anteriormente propuesto se pretende ubicar de manera óptima un centro de distribución y albergues temporales ante de la ocurrencia de posibles desastres naturales en la zona rural alta del municipio, y de esta manera brindar una atención oportuna a los damnificados, minimizando el tiempo de traslado de los suministros y del personal capacitado hasta la zona afectada, realizando una correcta distribución de recursos materiales y del personal.

La información utilizada como base para la aplicación del modelo se extrajo de los antecedentes registrados por el municipio de Guadalajara de Buga en la zona rural durante el año 2018. Durante los meses de marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre de ese año, se registraron situaciones de emergencia debido a una fuerte ola invernal, la cual se atribuye a factores climáticos, incluyendo la posible influencia del fenómeno de La Niña. Esta influencia climática desencadenó inundaciones en varios sectores de la zona rural, agravando la situación. Además, la ocupación indebida de la zona de protección de los cauces por asentamientos humanos subnormales contribuyó a la problemática. Estas emergencias afectaron diversos sectores como la vereda La Piscina (DI1), la vereda Cruce – bar (DI2), la vereda Puente Negro (DI3) y la vereda El Janeiro (DI4), todos ubicados en la zona rural alta (CMGR, 2019).

Después de haber identificado las zonas afectadas, se deben establecer los lugares seguros, para la posible ubicación de los albergues temporales. Para facilitar la selección de estos, se ha diseñado una Matriz de Criterios que considera varios factores clave como se puede evidenciar en la tabla 3, se tuvo en cuenta 5 factores importantes para la elección:

1. Infraestructura: Evalúa la calidad y disponibilidad de la infraestructura del lugar, considerando la capacidad de albergar a personas de manera segura.
2. Servicios Básicos: Evalúa la disponibilidad de servicios esenciales como agua y energía en el lugar.
3. Cercanía a Hospitales: Mide la proximidad del lugar seguro a hospitales o centros de atención médica, lo que facilita la asistencia médica en caso de emergencias.
4. Capacidad: Evalúa la capacidad del lugar para albergar a un gran número de personas de manera efectiva y segura.
5. Interrupción de Actividades: Evalúa en qué medida la elección del lugar seguro interrumpirá las actividades académicas y laborales en instituciones educativas u otros lugares.

Tabla 3 Matriz de Criterios para la Selección de Lugares Seguros

Lugar Seguro (AS/CS)	Infraestructura	Servicios Básicos	Cercanía a Hospitales	Capacidad	Interrupción de Actividades
AS1: Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina"	Alta	Bueno	Moderada	Alta	Baja
AS2: Coliseo Santa Bárbara	Moderada	Bueno	Baja	Moderada	Baja
AS3: Coliseo La Sexta	Alta	Bueno	Moderada	Moderada	Baja
AS4: Coliseo Ciudadela Educativa Académico	Alta	Bueno	Baja	Moderada	Alta
AS5: Cic coliseo Santa Rita	Baja	Bueno	Baja	Alta	Baja
AS 6: Coliseo Colegio Santa Mariana de Jesús	Moderada	Bueno	Baja	Alta	Alta
CS1: Coliseo de exposiciones Camilo José Cabal	Alta	Bueno	Alta	Alta	Baja
CS2: Estadio Hernando Azcárate Martínez	Alta	Bueno	Moderada	Alta	Baja

Fuente: elaboración propia

Finalmente los lugares seleccionados fueron: el Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1), Coliseo Santa Barbara (AS2), Coliseo La Sexta (AS3), Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4) y para la ubicación del centro de distribución se tuvieron en cuenta dos posibles lugares el Coliseo de exposiciones Camilo José Cabal (CS1) el cual está ubicado en cercanía a la Fundación hospital San José de Buga y la E.S.E. Hospital Divino Niño, también se tuvo en cuenta el Estadio Hernando Azcárate Martínez (CS2) por su tamaño y capacidad, no se tuvieron en cuenta todas las instituciones educativas oficiales o los centros de salud, ya que en el momento de la ocurrencia de una emergencia se estaría interviniendo en las actividades académicas y laborales, además de esto, los centros de salud deben estar con libre acceso para el ingreso de los damnificados que requieran atención médica.

Después de haber realizado la selección de los lugares seguros, se consideró el tiempo de traslado desde el lugar del desastre hasta los albergues temporales seleccionados y desde los centros de distribución hasta los albergues temporales, reflejado en la Tabla 3 y Tabla 4

Tabla 4 Tiempo en minutos de traslado desde el centro de distribución, hasta los albergues temporales

	AS1: Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina"	AS2: Coliseo Santa Barbara	AS3: Coliseo La Sexta	AS4: Coliseo Ciudadela Educativa Académico
CS1: Coliseo de exposiciones Camilo José Cabal	9	5	6	9
CS2: Estadio Hernando Azcarate Martínez	1	7	4	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Tiempo en minutos de traslado desde las zonas inundadas donde están los damnificados, hasta los albergues temporales

	AS1: Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina"	AS2: Coliseo Santa Barbara	AS3: Coliseo La Sexta	AS4: Coliseo Ciudadela Educativa Académico
DI1 vereda La Piscina	31	34	31	32
DI2 vereda Cruce – bar (DI2)	18	20	17	17
DI3 vereda Puente Negro (DI3)	26	28	25	26
DI4 vereda El Janeiro (DI4)	26	28	25	27

Fuente: Elaboración propia

El personal involucrado, las entidades o grupos especializado para la atención de desastres son:
Bomberos Voluntarios, Defensa Civil y Cruz Roja Colombiana

El personal calificado para identificar la población afectada y entrega de ayudas humanitarias son: CMGR, Policía Nacional, Defensa Civil Junta Centro del Valle, Defensa Civil Buga, Ejercito Nacional, Cruz Roja Colombiana.

El personal calificado para realizar el montaje del centro de distribución y albergues temporales son: CMGR, Policía Nacional, Ejercito Nacional, ICBF, Secretaría de Salud, Secretaria de Obras Públicas, Secretaria de planeación y Secretaria de gobierno.

Por último, es relevante mencionar que el municipio dispone de una flota de vehículos que desempeñarán un papel esencial en las operaciones de traslado de personal, damnificados y suministros. Ambulancias y camionetas se encuentran entre los recursos movilizables que asegurarán una respuesta ágil y coordinada en caso de desastre.

3. Evaluación de resultados de implementación del modelo de localización de albergues temporales en el caso de estudio

Los resultados finales son el producto de un modelo matemático desarrollado para la localización de albergues temporales en la zona rural alta del municipio de Buga ante la ocurrencia de desastres naturales. Este modelo, detallado en el anexo 1, fue resuelto utilizando Neos Solvers CPLEX en formato AMPL.

Los resultados incluyeron un total de 54 variables, compuestas por 30 variables binarias y 24 variables lineales. Asimismo, se establecieron 54 restricciones, todas de naturaleza lineal, con 198 valores distintos de cero. La función objetivo, lineal, con 24 valores distintos de cero, se centró en minimizar el tiempo de traslado de recursos y personal.

Resultados arrojados por Neos Solvers CPLEX

54 variables:

30 variables binarias

24 variables lineales

54 restricciones, todas lineales; 198 distintos de cero

27 restricciones de igualdad

27 restricciones de desigualdad

1 objetivo lineal; 24 distintos de cero.

En la Tabla 6, se especifica que el Estadio Hernando Azcárate Martínez (CS2) ha sido seleccionado como el único centro de distribución abierto para coordinar la distribución de recursos y personal en caso de emergencia. Esta elección es parte de la estrategia para minimizar el tiempo de traslado de estos recursos.

Tabla 6 Centro de distribución abierto

CENTROS DE DISTRIBUCION	ABIERTO (1,0)
	CERRADO (0,0)
Coliseo de exposiciones Camilo José Cabal (CS1)	0,0
Estadio Hernando Azcarate Martínez (CS2)	1,0

La Tabla 7 presenta los albergues temporales que han sido habilitados para recibir damnificados en situaciones de emergencia y especifica qué albergues temporales están disponibles para su uso. En este caso el Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1) es el único albergue temporal abierto. Los otros albergues temporales, como el Coliseo Santa Barbara (AS2), el Coliseo La Sexta (AS3) y el Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4), permanecen cerrados.

Tabla 7 Albergue temporal abierto

ALBERGUES TEMPORALES	ABIERTO (1,0)
	CERRADO (0,0)
Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1)	1,0
Coliseo Santa Barbara (AS2)	0,0
Coliseo La Sexta (AS3)	0,0
Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4)	0,0

En la Tabla 8, se detalla la relación entre los centros de distribución y los albergues temporales. Se indica qué albergues temporales serán atendidos por cada centro de distribución. Esto es crucial para garantizar la distribución de recursos y personal en función de la ubicación de los albergues temporales. El Estadio Hernando Azcárate Martínez (CS2) se encargará de atender el albergue temporal Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1).

Tabla 8 Albergues temporales que serán atendidos por un centro de distribución

CENTROS DE DISTRIBUCIÓN	ALBERGUES TEMPORALES	ABIERTO (0,1) CERRADO (0,0)
Coliseo de exposiciones Camilo José Cabal (CS1)	Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1)	0,0
Coliseo de exposiciones Camilo José Cabal (CS1)	Coliseo Santa Barbara (AS2)	0,0
Coliseo de exposiciones Camilo José Cabal (CS1)	Coliseo La Sexta (AS3)	0,0
Coliseo de exposiciones Camilo José Cabal (CS1)	Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4)	0,0
Estadio Hernando Azcarate Martínez (CS2)	Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1)	1,0
Estadio Hernando Azcarate Martínez (CS2)	Coliseo Santa Barbara (AS2)	0,0
Estadio Hernando Azcarate Martínez (CS2)	Coliseo La Sexta (AS3)	0,0
Estadio Hernando Azcarate Martínez (CS2)	Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4)	0,0

La Tabla 9 muestra un desglose completo de la cantidad de damnificados de cada zona específica que serán atendidos en cada uno de los albergues temporales. Esta información es fundamental para planificar y coordinar la distribución de personas afectadas en función de su ubicación. Aquí, podemos observar que cada una de las veredas afectadas será atendida en su totalidad por el albergue temporal Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1).

Tabla 9 Cantidad de damnificados de cada zona atendidos por cada albergue temporal

ZONAS AFECTADAS	ALBERGUES TEMPORALES	CANTIDAD DE DAMNIFICADOS
vereda La Piscina (DI1)	Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1)	56,0
vereda La Piscina (DI1)	Coliseo Santa Barbara (AS2)	0,0
vereda La Piscina (DI1)	Coliseo La Sexta (AS3)	0,0
vereda La Piscina (DI1)	Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4)	0,0
vereda Cruce – bar (DI2)	Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1)	32,0
vereda Cruce – bar (DI2)	Coliseo Santa Barbara (AS2)	0,0
vereda Cruce – bar (DI2)	Coliseo La Sexta (AS3)	0,0
vereda Cruce – bar (DI2)	Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4)	0,0
vereda Puente Negro (DI3)	Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1)	44,0
vereda Puente Negro (DI3)	Coliseo Santa Barbara (AS2)	0,0
vereda Puente Negro (DI3)	Coliseo La Sexta (AS3)	0,0
vereda Puente Negro (DI3)	Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4)	0,0
vereda El Janeiro (DI4)	Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1)	66,0
vereda El Janeiro (DI4)	Coliseo Santa Barbara (AS2)	0,0
vereda El Janeiro (DI4)	Coliseo La Sexta (AS3)	0,0
vereda El Janeiro (DI4)	Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4)	0,0

En la Tabla 10, se muestra la asignación específica de damnificados a cada uno de los albergues temporales. Esto permite visualizar la distribución de personas afectadas en cada uno de los albergues temporales seleccionados.

Tabla 10 Damnificados atendidos en cada albergue temporal

ZONAS AFECTADAS	ALBERGUES TEMPORALES	ATENDIDOS (0,1) NO ATENDIDOS (0,0)
vereda La Piscina (DI1)	Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1)	1,0
vereda La Piscina (DI1)	Coliseo Santa Barbara (AS2)	0,0
vereda La Piscina (DI1)	Coliseo La Sexta (AS3)	0,0
vereda La Piscina (DI1)	Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4)	0,0
vereda Cruce – bar (DI2)	Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1)	1,0
vereda Cruce – bar (DI2)	Coliseo Santa Barbara (AS2)	0,0
vereda Cruce – bar (DI2)	Coliseo La Sexta (AS3)	0,0
vereda Cruce – bar (DI2)	Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4)	0,0
vereda Puente Negro (DI3)	Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1)	1,0
vereda Puente Negro (DI3)	Coliseo Santa Barbara (AS2)	0,0
vereda Puente Negro (DI3)	Coliseo La Sexta (AS3)	0,0
vereda Puente Negro (DI3)	Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4)	0,0
vereda El Janeiro (DI4)	Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1)	1,0
vereda El Janeiro (DI4)	Coliseo Santa Barbara (AS2)	0,0
vereda El Janeiro (DI4)	Coliseo La Sexta (AS3)	0,0
vereda El Janeiro (DI4)	Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4)	0,0

Finalmente, la Tabla 11 presenta el número total de damnificados que serán atendidos en cada uno de los albergues temporales, se puede evidenciar que el albergue temporal Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1) brindará refugio a un total de 198 damnificados

Tabla 11 Total de damnificados atendidos en cada albergue temporal

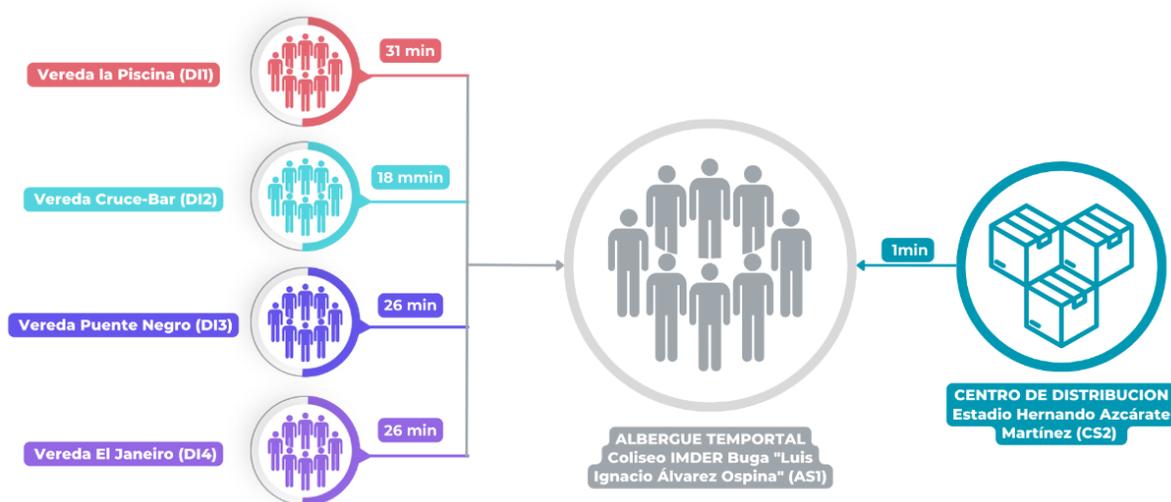
CENTROS DE DISTRIBUCIÓN	ALBERGUES TEMPORALES	CANTIDAD DE KITS
Coliseo de exposiciones Camilo José Cabal (CS1)	Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1)	0,0
Coliseo de exposiciones Camilo José Cabal (CS1)	Coliseo Santa Barbara (AS2)	0,0
Coliseo de exposiciones Camilo José Cabal (CS1)	Coliseo La Sexta (AS3)	0,0
Coliseo de exposiciones Camilo José Cabal (CS1)	Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4)	0,0
Estadio Hernando Azcarate Martínez (CS2)	Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1)	198,0
Estadio Hernando Azcarate Martínez (CS2)	Coliseo Santa Barbara (AS2)	0,0
Estadio Hernando Azcarate Martínez (CS2)	Coliseo La Sexta (AS3)	0,0
Estadio Hernando Azcarate Martínez (CS2)	Coliseo Ciudadela Educativa Académico (AS4)	0,0

El modelo determinó la selección de ubicaciones óptimas para el establecimiento de un centro de distribución y un albergue temporal. Específicamente, se decidió abrir el Estadio Hernando Azcárate Martínez (CS2) como el único centro de distribución y el Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" (AS1) como el único albergue temporal.

Estas elecciones se basaron en un análisis detallado de la situación y las necesidades. El modelo priorizó la atención de los 198 damnificados procedentes de las veredas afectadas por la ola invernal: vereda La Piscina (DI1), vereda Cruce – bar (DI2), vereda Puente Negro (DI3) y vereda El Janeiro (DI4), todas ubicadas en la zona rural alta del municipio.

La ilustración 2 representar de manera gráfica estos resultados, proporcionando una visualización clara de las decisiones tomadas en cuanto a la apertura de los centros de distribución y albergues temporales, así como la asignación de damnificados a estos albergues para una respuesta en situaciones de emergencia.

Ilustración 3 Modelo de respuesta a emergencias incluyendo tiempos de traslado



Fuente: Elaboración propia

Un aspecto relevante es que la implementación de este modelo permitirá un tiempo total de traslado de 102.0 minutos desde las zonas donde están los damnificados, hasta los albergues temporales y tiempo de traslado desde el centro de distribución, hasta los albergues temporales como se evidencia en la Tabla 12, lo que garantiza una respuesta minimizando los tiempos de espera y asegurando la entrega de suministros en un período de tiempo razonable.

Tabla 12 Tiempo total de respuesta

ZONAS AFECTADAS	AS1: Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina"
DI1 vereda La Piscina	31
DI2 vereda Cruce – bar (DI2)	18
DI3 vereda Puente Negro (DI3)	26
DI4 vereda El Janeiro (DI4)	26
CS2: Estadio Hernando Azcárate Martínez	1
Tiempo total de traslados en minutos	102

6. CONCLUSIONES

Este estudio se centró en abordar los desafíos de gestión de riesgos y planificación de desastres en la zona rural alta del municipio de Buga, que es afectada ante la ocurrencia de posibles desastres naturales. Se llevaron a cabo análisis detallados de probabilidad e impacto para identificar estos peligros críticos. Tras completar esta evaluación, se identificaron dos riesgos que destacan como los más críticos en la zona rural de Buga: las inundaciones y las avenidas torrenciales. Estos eventos han sido clasificados como "ALTO" en la matriz, lo que indica su alta probabilidad de ocurrencia y su impacto significativo en términos de daños y consecuencias.

Como respuesta a estas amenazas, se desarrolló un modelo matemático basado en programación lineal entera mixta que optimiza la ubicación de albergues temporales y centros de distribución. El modelo minimiza el tiempo de traslado de recursos y personal, asegurando una respuesta efectiva en situaciones de emergencia.

El caso de estudio del municipio de Buga en 2018 sirvió como base para la implementación del modelo, identificando lugares seguros y estableciendo una colaboración entre diversas entidades de socorro. El modelo arrojó resultados satisfactorios al determinar que el Estadio Hernando Azcárate Martínez y el Coliseo IMDER Buga "Luis Ignacio Álvarez Ospina" son las ubicaciones óptimas para el centro de distribución y el albergue temporal, respectivamente.

En conjunto, este enfoque proporciona una estrategia efectiva para mejorar la capacidad de respuesta ante desastres naturales en la zona rural alta de Buga, protegiendo a la comunidad y minimizando los impactos negativos.

7. TRABAJOS FUTUROS

La implementación de este modelo matemático es un paso en la gestión de riesgos y la planificación de desastres en la ciudad, ya que es un proceso continuo de mejora y adaptación. Se identificaron varios trabajos futuros que pueden fortalecer aún más la capacidad de respuesta de la zona rural de Buga ante desastres naturales

1. Incorporar datos en tiempo real y pronósticos meteorológicos actualizados puede mejorar la precisión del modelo. La incorporación de estos datos puede permitir una respuesta más ágil a las emergencias, ya que se pueden realizar ajustes en función de la situación actual.
2. Realizar investigaciones adicionales sobre la optimización de recursos, como la asignación eficiente de personal y suministros a los albergues temporales. Esto puede incluir el desarrollo de algoritmos que gestionen la logística de manera más eficaz en función de la demanda en constante cambio.
3. Integrar tecnologías de información y comunicación avanzadas puede mejorar la comunicación y coordinación durante situaciones de emergencia. El desarrollo de aplicaciones móviles, sistemas de información geográfica (SIG) y plataformas de comunicación específicas para la gestión de desastres.
4. Organizar ejercicios de simulación y capacitación para el personal de respuesta a desastres y la comunidad en general. Estos ejercicios ayudarán a garantizar que todos estén familiarizados con el plan de respuesta y sepan cómo actuar en caso de una emergencia.
5. Realizar evaluaciones de vulnerabilidad regulares para garantizar que el modelo siga siendo relevante y efectivo.
6. Evaluar y mejorar la infraestructura de los albergues temporales, como la capacidad de almacenamiento, las instalaciones sanitarias y la accesibilidad, para garantizar la seguridad y la comodidad de los damnificados.
7. Evaluar periódicamente las amenazas a las que se encuentran expuestas las comunidades de la zona rural y de este modo fortalecer continuamente su capacidad de respuesta ante desastres y mantener la seguridad y bienestar de la comunidad.

8. BIBLIOGRAFIA

- Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). *Facility location in humanitarian relief*.
- Bello, O., Bustamante, A., & Pizarro, P. (2020). Planificación para la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.
- CEPAL, N. (2014). Manual para la Evaluación de Desastres.
- Chen, A. Y., & Yu, T. (2016). Network based temporary facility location for the emergency medical services considering the disaster induced demand and the transportation infrastructure in disaster response. *Transportation Research Part B: Methodological*, 91, 408-423. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.06.004>
- Desastres naturales y su influencia en el medio ambiente. (s. f.). https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v04_n7/desast_nat.htm
- DNP (2018). Índice Municipal de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades. Bogotá D.C., Colombia.
- El País (Marzo 17, 2021) Lluvias causan afectaciones a más de 70 mil vallecaucanos. <https://www.elpais.com.co/valle/lluvias-causan-afectaciones-a-mas-de-70-mil-caucanos.html>
- *Fenomeno Niño y niña - IDEAM*. (s. f.). <http://www.ideam.gov.co/web/siac/ninoynina>
- Guía de Atención a Población en Condiciones de Emergencia. (2020). *Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia*.
- Gutiérrez Vega, C. A. (2013). La resiliencia como factor clave en la recuperación de destinos turísticos: aplicación al caso de un desastre natural en Chile.
- Kreps, G. A., & Bosworth, S. L. (1993). Disaster, Organizing, and Role Enactment: A Structural Approach. *American Journal of Sociology*, 99(2), 428–463. <http://www.jstor.org/stable/2781684>
- López-Vargas, J. C., & Cárdenas-Aguirre, D. M. (2017). Gestión de la logística humanitaria en las etapas previas al desastre: revisión sistemática de la literatura. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 7(2), 203-216.
- Lozano-Borrero, J. P. (2018). Cadena de suministro aplicada en logística humanitaria: Caso batallón de movilidad de infantería de marina. *Revista científica anfibios*, 1(1), 32-39.

- Marín Gómez, K. V., & Morales Corredor, J. D. (2018). Propuesta de un modelo de localización de albergues temporales y ruteo de personal especializado, para la atención de una población vulnerable ante un desastre de la región.
- Osorio, C. (2014). <<Evolución de la investigación en logística humanitaria>> Colombia
- País, R. E. (2023, 17 septiembre). URGENTE | Vuelve a temblar este domingo en Colombia: esta es la magnitud y el epicentro. *Noticias de Cali, Valle y Colombia - Periodico: Diario El País*. <https://www.elpais.com.co/colombia/temblor-hoy-en-colombia-en-vivo-este-17-de-septiembre-siga-en-directo-el-epicentro-y-magnitud-del-ultimo-sismo-1750.html>
- PMGRD (2019). Plan Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres. Alcaldía Municipal de Guadalajara de Buga.
- PNGRD 2015-2030 (2015) Plan Nacional De Gestión Del Riesgo De Desastres 2015-2030
- Repoussis, P. P., Paraskevopoulos, D. C., Vazacopoulos, A., & Hupert, N. (2016). Optimizing emergency preparedness and resource utilization in mass-casualty incidents. *European Journal of Operational Research*, 255(2), 531-544. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.05.047>
- Reyes, C. J. (2019, 9 agosto). ¿Por qué hay lugares en el mundo que son más propensos a los sismos? El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/mundo/mas-regiones/por-que-hay-lugares-mas-propensos-a-los-terremotos-y-sismos-398832>
- Rivera, J. C., Afsar, H. M., & Prins, C. (2015). A multistart iterated local search for the multitrip cumulative capacitated vehicle routing problem.
- Rodríguez, J., Vitoriano, B., & Montero, J. (2012). A general methodology for data-based rule building and its application to natural disaster management. *Computers & Operations Research*, 39(4), 863-873. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.11.014>
- Whiting, M. C., & Ayala-Öström, B. E. (2009). Advocacy to promote logistics in humanitarian aid. *Management Research News*.

9. ANEXOS

1. Anexo 1: Archivos textos

[Archivo de modelo](#)

[Archivo de datos](#)

[Archivo de comandos](#)