

MODELO DE LOCALIZACIÓN DE ALBERGUES EN CASO DE DESASTRES
APLICADO EN UN CASO DE ESTUDIO EN EL VALLE DEL CAUCA

MARITZA FERNANDA CAICEDO JARAMILLO

JUAN ÁNGEL HERNÁNDEZ ROMO

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PALMIRA

2018

MODELO DE LOCALIZACIÓN DE ALBERGUES EN CASO DE DESASTRES
APLICADO EN UN CASO DE ESTUDIO EN EL VALLE DEL CAUCA

MARITZA FERNANDA CAICEDO JARAMILLO

JUAN ÁNGEL HERNÁNDEZ ROMO

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR

MSc. RAÚL ANTONIO DÍAZ PACHECO

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PALMIRA

2018

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por brindarnos el don de la ciencia, por crearnos como seres de razón, darnos fortaleza en los momentos de debilidad, y mostrarnos el camino correcto para llegar a una meta que se hace realidad.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas las personas que se arriesgan por cumplir sus metas, aquellas que asumen retos, aquellas que ven en un problema una oportunidad.

CONTENIDO

GLOSARIO.....	9
ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS.....	12
1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
4. OBJETIVOS.....	21
4.1 OBJETIVO GENERAL	21
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
5. METODOLOGÍA	22
6. MARCO TEÓRICO	24
6.1 LOGÍSTICA HUMANITARIA	24
6.1.1. Aspectos generales.....	24
6.1.2. Desastres.....	27
6.1.3. Alojamientos temporales o albergues.	28
6.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA LOGÍSTICA HUMANITARIA EN COLOMBIA	
29	
7. MARCO REFERENCIAL	33
7.1 COSTOS DE PRIVACIÓN	33
7.2 INESTABILIDAD DE LA RED	36
7.3 LOCALIZACIÓN DE ALBERGUES	37
7.4 ENTREGA DE SUMINISTROS	41
8. MODELO DE LOCALIZACIÓN ALBERGUES	43
8.1 Modelo matemático	43
8.2 Escenarios de prueba.	47
8.3 RESULTADOS.....	51
9. MODELO DE ENTREGA DE SUMINISTROS	58
10. APLICACIÓN DE LOS MODELOS EN UN CASO DE ESTUDIO: TULUÁ ..	63
10.1 RESULTADO DE LOCALIZACIÓN	65
10.2 RESULTADO DE ENTREGA DE SUMINISTRO.....	72
11. CONCLUSIONES.....	75
12. BIBLOGRAFÍA.....	77

TABLAS

Tabla 1. Etapas de los desastres.	24
Tabla 2. Características especiales de la logística humanitaria.	26
Tabla 3. Procedimientos del Sistema Logístico de la UNGRD.	30
Tabla 4. Estado del arte de localización.	40
Tabla 5. Distancia de las zonas afectadas a los albergues (Km)	48
Tabla 6. Distancia de los centros de distribución a los albergues (Km)	49
Tabla 7. Cantidad de personas afectadas (Personas)	49
Tabla 8. Datos de los albergues.	49
Tabla 9. Apertura de albergues logística comercial.	51
Tabla 10. Costos por escenarios.	56
Tabla 11. Información demográfica.	64
Tabla 12. Capacidad de albergues.	64
Tabla 13. Proporción de personas que se dirigen a los albergues: Primer escenario.	66
Tabla 14. Cantidad de kits enviados desde los CD hacia los Albergues: Primer escenario.	67
Tabla 15. Costos sociales: Primer escenario.	68
Tabla 16. Proporción de personas que se dirigen a los albergues: Segundo escenario.	69
Tabla 17. Cantidad de kits enviados desde los CD hacia los Albergues: Segundo escenario.	70
Tabla 18. Costos sociales: Segundo escenario.	71
Tabla 19. Costos de entrega de suministros.	73

ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Escenario de prueba.	48
Ilustración 2. Asignación de zonas afectadas a albergues: Logística humanitaria.	52
Ilustración 3. Asignación de zonas afectadas a albergues: Logística comercial con riesgos.....	53
Ilustración 4. Asignación de zonas afectadas a albergues: Logística comercial. ..	53
Ilustración 5. Asignación de albergues a centros de distribución: Logística humanitaria.....	54
Ilustración 6. Asignación de albergues a centros de distribución: Logística comercial con riesgos.....	55
Ilustración 7. Asignación de albergues a centros de distribución: Logística comercial.....	55
Ilustración 8. Ruta de entrega de suministros.	58
Ilustración 9. Mapa de riesgos de Tuluá.....	65
Ilustración 10. Asignación de albergues a zonas afectadas: Primer escenario.	67
Ilustración 11. Asignación de centros de distribución a albergues: Primer escenario.....	68
Ilustración 12. Asignación albergues a zonas afectadas: Segundo escenario.	70
Ilustración 13. Asignación de centros de distribución a albergues: Segundo escenario.....	71
Ilustración 14. Solución entrega de suministro.	73

ANEXOS

Anexo 1. Costos de privación del escenario de prueba	80
Anexo 2. Costos de privación del caso de estudio	82

GLOSARIO

TERMINO	DEFINICIÓN
Amenaza	Peligro latente de ocurrencia de un hecho específico en este caso de inundación
Condiciones geológicas	Conjunto de características sobre la composición y estructura interna de la tierra
Condiciones hidrográficas	Conjunto de características referentes al agua, su ocurrencia, distribución, circulación, y propiedades físicas, químicas y mecánicas
Condiciones topográficas	Conjunto de características que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie terrestre, con sus formas y detalles
Costos logísticos	Costos asociados con el flujo de materiales y de información
Costos de privación	Costo asociado al sufrimiento representado como el tiempo que transcurre desde que ocurrió el desastre hasta que se cubren las necesidades básicas de la población afectada
Costos sociales	Es la suma de los costos logísticos y los costos de privación
Damnificado	Persona que ha sufrido un daño, en especial cuando es consecuencia de una desgracia colectiva.
Desastre	Evento que produce daños o destrucción de elementos tangibles e intangibles

Econometría	Rama de la economía que mediante modelos matemáticos realiza predicciones de variables como el precio de bienes y servicios
Inundación	Ocupación por parte de agua de zonas que habitualmente se encuentran secas, debido al desbordamiento de ríos, por lluvias, subidas de mareas, entre otros.
Laminas	Forma de expresar y visualizar la cantidad de agua existente o almacenada en el suelo
Modelos de elección discreta	Modelos que se basan en la hipótesis de la teoría de la utilidad aleatoria, dice que un individuo al tener varias alternativas de elección le asigna a cada una de estas un valor y elige la que le representa mayor utilidad según sea la situación.
Modelo Logístico Multinomial	Es un modelo de elección discreta que permite escoger la alternativa con mayor utilidad.
Morbilidad	Cantidad de personas que se enferman en un lugar y en un período de tiempo determinados en relación con el total de la población.
Mortalidad	Cantidad de personas que mueren en un lugar y en un período de tiempo determinados en relación con el total de la población.
Riesgo de inundación	La probabilidad de ocurrencia de una inundación en una zona determinada.
Utilidad sistemática	Función que agrupa los atributos de las alternativas a escoger con las características propias del individuo

Vulnerabilidad	Predisposición o susceptibilidad que tiene una comunidad de ser afectada en caso de un desastre
----------------	---

ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS

CD	Centros de Distribución	MTTA	Matriz de Tiempos de Transporte Acumulada
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas	MTT	Matriz de Tiempos de Transporte
FNC	Fondo Nacional de Calamidades	ONGs	Organizaciones No Gubernamentales
MNL	Modelo Logístico Multinomial	OSSO	Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente Colombiano
LH	Logística Humanitaria	SNGRD	Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres
MCPAA	Matriz de Costos de Privación Albergue – Albergue	UNGRD	Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres
MCPDA	Matriz de Costos de Privación Centro de Distribución – Albergues	ZA	Zonas Afectadas
MCPRD	Matriz de Costos de Privación Retorno al Centro de Distribución		

1. INTRODUCCIÓN

Desde 1970 en Colombia se ha presentado un crecimiento importante en el número de desastres (63,87%) y en la cantidad de damnificados (400%), esto debido a varios factores tales como el crecimiento acelerado de la población que los obliga a asentarse en zonas de alto riesgo, la degradación del ambiente y el uso descontrolado de los suelos. Si a estas condiciones se le agrega la propensión del país a la ocurrencia de desastres naturales, ratifica la vulnerabilidad del mismo y consigo la necesidad de articular los conocimientos científicos y las capacidades tecnológicas, para la gestión de estos procesos.

En Colombia entre 1970 y 2011 se han registrado pérdidas en infraestructura por US\$ 7.100 millones causadas por 28.000 eventos desastrosos, de los cuales el 60% sucedieron después de 1990. Fenómenos naturales tales como inundaciones, deslizamientos y sismos causan más destrucción de viviendas (81%) y muertes (61%) que otros desastres naturales (Banco Mundial, 2012). Los desastres hacen que buscar la prevención y mitigación de los mismos sea explícita, con el fin de reducir las pérdidas por desastres y llevar a cabo eficazmente el trabajo de socorro tras un evento, pensar en el establecimiento de refugios de emergencia se ha convertido en una tarea de interés para dar una respuesta oportuna a los afectados.

La localización y asignación de refugios temporales es uno de los componentes importantes para las entidades que gestionan la atención a los desastres, ya que una correcta selección de estos permite la mitigación del sufrimiento. Estudios se han enfocado en dar solución a distintos problemas que se presentan en las actividades de la logística humanitaria, basados en modelos de la logística comercial, ejemplo de ello se encuentra en los trabajos de los autores Wei, Liang; Li, Weiping; Li, Kailing; Liu, Hongjia; Cheng, Liangxia (2012), Gaytan & Arroyo (2012), Camacho & Gonzales (2013) entre otros. No obstante, en los últimos años se han incluido características propias de los escenarios creados por un desastre en trabajos realizados por Cotes (2015) y Reyes (2015).

El presente trabajo de grado busca abordar los problemas de localización de albergues y entrega de suministros minimizando los costos sociales, que es la suma de los costos logísticos (costos incurridos en el transporte y la adecuación de los albergues) y los costos de privación, quienes miden el sufrimiento de las personas afectas por un desastre en términos económicos. Adicionalmente se presentará un escenario propuesto para comparar un modelo de localización que minimice los costos logísticos y otro que minimice los costos sociales. Después se presentará un heurístico que dará una solución a la entrega de suministros humanitarios; este modelo buscará también minimizar los costos sociales teniendo en cuenta los aspectos la función econométrica que mide los costos de privación.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Departamento del Valle del Cauca, las condiciones de tipo geológica, topográfica e hidrográfica, posibilitan la ocurrencia de los fenómenos naturales de diferentes orígenes como inundaciones, terremotos, sismos, deslizamientos, entre otros.

En el intervalo de tiempo de 1970 a 2002, se dio un crecimiento gradual de los desastres a nivel regional, durante esos 32 años se registraron 2.442 eventos en el Valle del Cauca de los cuales el 50% corresponden a inundaciones y deslizamientos, el 18,4% a incendios, el 3,3% pertenecía a los sismos y el 28,3% corresponde a otros desastres en menor proporción. La base de datos de DesInventar (Corporación OSSO-EAFIT, 2011) muestra que las inundaciones, deslizamientos y sismos acumulan los mayores porcentajes de pérdidas de vidas y viviendas destruidas en Colombia, ya que las primeras han ocasionado el 10% de las pérdidas de vidas y el 43% de las viviendas destruidas, los deslizamientos con un porcentaje de 36% y 10% respectivamente; seguida de los sismos con un porcentaje de 15% y un 28%. A partir de esta fuente se determinó que el Valle del Cauca en comparación con otros departamentos presenta el mayor número de registros por inundación con más de 1.000, seguido de Antioquia con 900 registros; en cuanto a mayor número de pérdidas de vidas en el Valle lo generan los deslizamientos, seguida de las inundaciones y en menor medida los sismos; por último, en términos de viviendas afectadas por las inundaciones el Valle ocupa el octavo lugar de los 32 departamentos del país.

La información disponible en materia de riesgos, sugieren que existen factores que pueden haber modificado y generado nuevos riesgos, como las consecuencias climáticas por el deterioro del medio ambiente y la intervención humana en el desarrollo territorial. Esto acrecienta la necesidad de enfocarse en realizar estudios que permitan mejorar el actuar antes, durante y después de un desastre.

Desde la ingeniería y la economía, el aporte más fuerte al tema humanitario ha sido mejorar la atención que se da una vez ocurrido el desastre, evaluando factores

económicos y sociales, esto es conocido como logística humanitaria (LH) o logística en atención a desastres.

La Logística humanitaria presenta un amplio campo de estudio que busca mejorar la atención a las zonas afectadas para aliviar el sufrimiento humano, lo que hace necesario entrar a considerar cuales son los factores más importantes a la hora de desarrollar modelos que tengan este objetivo. Por esta razón, el presente estudio buscará proponer dos modelos, el primero enfocado en uno de los temas esenciales de la LH, la localización de alojamientos temporales (o albergues) en caso de inundación, donde se encontró una amplia literatura del tema, y el segundo sobre el tema de entrega de suministros. Estos modelos acogerán datos de una zona del Valle del Cauca para realizar la aplicación.

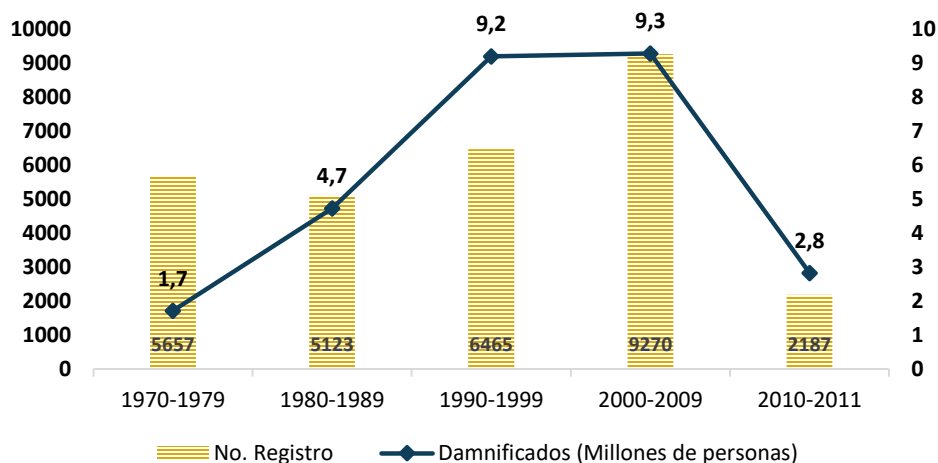
Teniendo en cuenta lo anterior, se generan las siguientes preguntas que requieren de un repaso a lo largo del proyecto, ¿Cómo dar una posible solución a los problemas de ubicación de albergues y entrega de suministros?, ¿Qué características se deben considerar a la hora de elaborar modelos de logística humanitaria?, ¿Que variables interactúan tras la ocurrencia de un desastres?

Ante esta situación, se formula una pregunta determinante en la problemática la cual plantea: ¿Cómo diseñar un modelo de localización de albergues y de entrega de suministros que permita atender oportunamente las necesidades generadas por posibles desastres en un Municipio del Departamento del Valle del Cauca?

3. JUSTIFICACIÓN

La creciente ocurrencia de desastres en Colombia en las últimas décadas (ver Gráfico 1.) se debe a factores tales como el uso descontrolado de los suelos, el crecimiento acelerado de la población que tiende a asentarse en zonas de alto riesgo o a desplazarse desde las zonas rurales a las urbanas, generando una mayor vulnerabilidad del país a ser afectado por los desastres de carácter natural.

Gráfico 1. Registros y damnificados por décadas



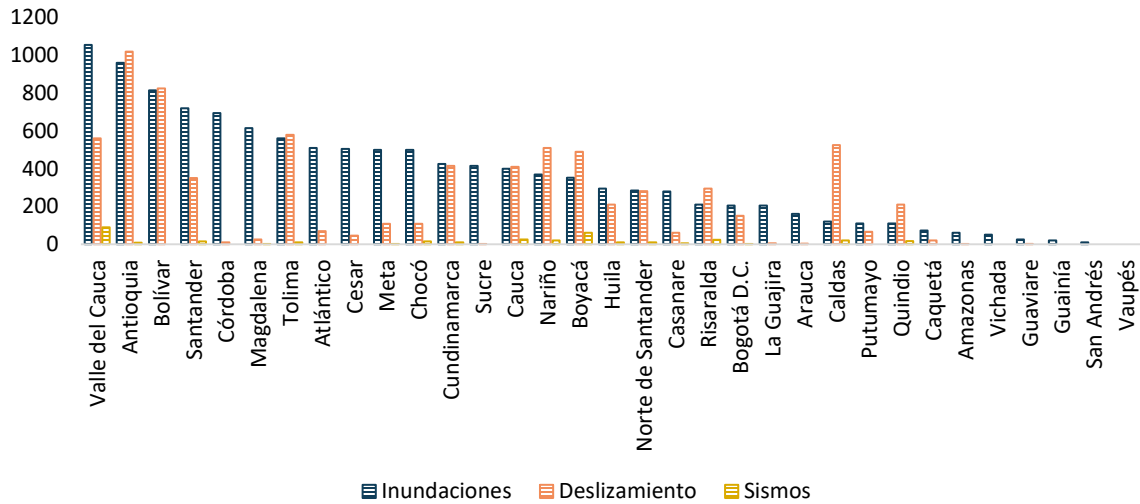
Fuente: Adaptado del Banco Mundial (2012).

De la Gráfica 1 se puede observar que entre el 2010 y el 2011 se reporta aproximadamente la cuarta parte de los registros de la década que comprende el intervalo de 2000 – 2009.

Según el Banco Mundial (2012), las inundaciones son los eventos con mayor número de registros históricos en la mayoría de los departamentos de Colombia, por consiguiente, el mayor número de pérdidas están asociadas con este fenómeno tal como se ve en la Gráfica 2.

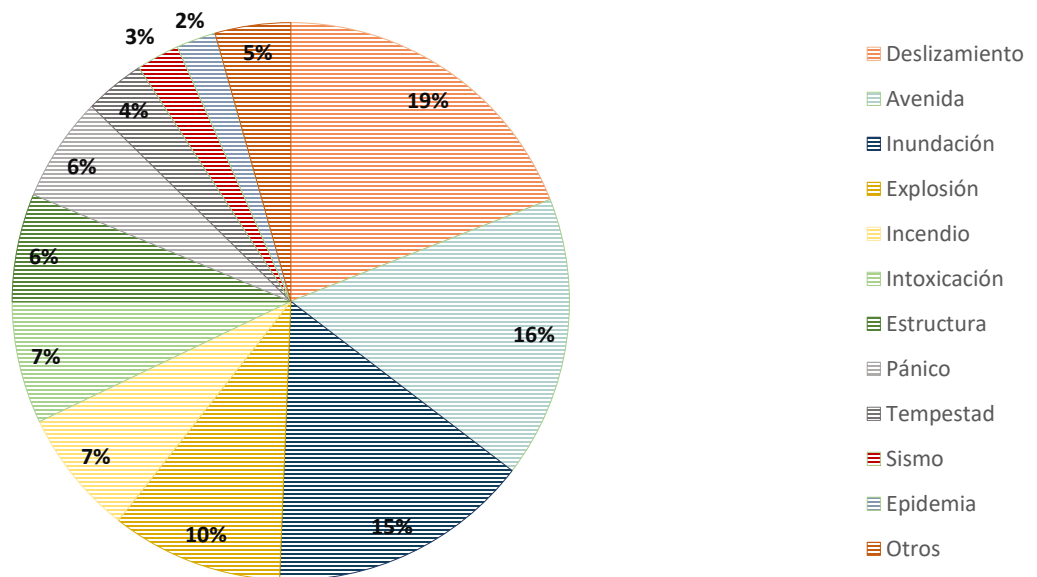
En el Valle del Cauca según DesInventar- OSSO (2011) las inundaciones son la tercera causa de víctimas con un 15,3% del total causado por algún desastre.

Gráfico 2. Número de registros de inundaciones, deslizamientos y sismos



Fuente: Adaptado del Banco Mundial (2012).

Gráfico 3. Porcentaje de víctimas fatales provocadas por desastres en el Valle del Cauca.



Fuente: DessInventar-OSSO (2011)

Al ver las gráficas 1, 2 y 3, se puede hacer un acercamiento sobre la cantidad de personas afectadas por los desastres las cuales en su momento debieron ser atendidas lo más rápido posible. Ante esto, considerar solo los costos logísticos puede que no sean suficientes para entregar soluciones adecuadas, pues desde lo ético y lo moral, vale más el bienestar de la población que los costos incurridos para auxiliarlos (Holguin-Veras et. al, 2013).

Pocas regiones del país cuentan con estructuras organizadas o con herramientas para dar respuesta oportuna a la población tras la ocurrencia de eventos de carácter natural, aumentando con ello la vulnerabilidad de las personas y propiciando la aparición de enfermedades provocadas por ausencia de sanidad o por vectores (son organismos vivos que pueden transmitir enfermedades infecciosas entre personas o de animales a personas); razones por las cuales el reto radica en el diseño de modelos que tengan en cuenta el sufrimiento que padecen las personas, por cada instante de tiempo que pasan privadas de los bienes y servicios básicos. Este componente anteriormente mencionado se materializa cuando se le asigna un costo a la privación de las necesidades básicas que sufren los individuos, sin dejar de lado los costos logísticos (Transporte y adecuación de instalaciones) lo que obliga a las entidades a operar de manera que se dé una respuesta oportuna a un costo aceptable.

La ocurrencia de un desastre genera una necesidad sobre la población que se puede percibir como un sufrimiento que va aumentando con el tiempo (Holguin-Veras et. al, 2016) y en escenarios de gran magnitud parte de este sufrimiento se calma con el desplazamiento de las personas hacia sitios donde pueden resguardarse mientras termina la fase de recuperación. Estos lugares son llamados alojamientos temporales o albergues.

En Colombia se hace interesante aplicar modelos de logística humanitaria debido a la geografía y la frecuencia de desastres. Desde la administración de cadenas de suministros se pueden dar soluciones viables ante la localización de albergues e

incluso la distribución de suministros hacia zonas afectadas, considerando factores importantes propios de la logística humanitaria.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un modelo de localización de albergues en caso de desastres que pueda ser aplicado en un caso de estudio en el Valle del Cauca.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer la situación actual de los planes de acción que tienen las diferentes entidades que les compete la gestión del riesgo y atención de desastres.
- Elaborar un modelo que permita evaluar los parámetros necesarios para la selección de los alojamientos temporales.
- Proponer un modelo de entrega de suministros que considere aspectos de la logística humanitaria.
- Validar los modelos propuestos con un caso de estudio en el Valle del Cauca considerando la información de la población que puede verse afectada por un desastre.

5. METODOLOGÍA

- Reconocer la situación actual de los planes de acción que tienen las diferentes entidades que les compete la gestión del riesgo y atención de desastres.
 - Identificar las entidades que cumplen función de atención a desastres.
 - Recolectar manuales, guías, entre otros textos, que contengan información sobre el manejo de la logística humanitaria en Colombia.
 - Recolectar los informes de gestión de las entidades encargadas de la atención a desastres.
 - Consolidar en un texto la información recogida sobre la situación actual de la atención a desastres en Colombia.
- Elaborar un modelo que permita evaluar los parámetros necesarios para la selección de los alojamientos temporales.
 - Consultar trabajos de investigación que hayan realizado modelos que brinden solución al problema de localización de alojamientos temporales.
 - Resaltar los aspectos más importantes que deben de considerarse dentro de un modelo de localización de albergues.
 - Diseñar un modelo de localización de albergues con los parámetros más adecuados en la logística humanitaria.
 - Encontrar las bondades del modelo comparándolo con un modelo de logística comercial.
 - Concluir sobre las bondades del modelo de localización de albergues.
- Proponer un modelo de entrega de suministros que considere aspectos de la logística humanitaria.
 - Consultar trabajos de investigación que hayan realizado modelos que brinden solución al problema de entrega de suministros humanitarios.
 - Resaltar los aspectos más importantes que deben de considerarse dentro de un modelo de entrega de suministros humanitarios.
 - Diseñar un modelo de entrega de suministros con los parámetros más adecuados en la logística humanitaria.

- Comparar las características del modelo de logística humanitaria respecto a la logística comercial.
- Validar los modelos propuestos con un caso de estudio en el Valle del Cauca considerando la información de la población que puede verse afectada por un desastre.
 - Construir un caso de estudio con información demográfica y económica dentro del Valle del Cauca.
 - Aplicar el modelo de localización de albergues al caso de estudio.
 - Aplicar el modelo de entrega de suministros.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 LOGÍSTICA HUMANITARIA

6.1.1. Aspectos generales

La logística humanitaria en sus funciones es similar a la logística comercial, administra las actividades de almacenamiento y distribución de insumos que son necesarios para cubrir la demanda generada por un desastre, además de coordinar el despliegue de personal especializado en la atención de desastres; también desarrolla planes estratégicos como la localización de centros de distribución y albergues para las personas afectadas; todo esto se realiza con el propósito de actuar de la mejor manera en todas las etapas de un desastre . Según Altay & Green (2013) los desastres constan de cuatro etapas, las cuales se esbozan en la Tabla 1.

Tabla 1. Etapas de los desastres.

<i>Etapas de los desastres</i>	<i>Variables</i>	<i>Actividades</i>
<i>Mitigación</i>	Identificación de zonas y desastres: Contempla, entre otras, las siguientes variables: Probabilidad de ocurrencia de desastre; Tipo de desastre; Número de afectados; frecuencia de desastres; Cantidad de zonas afectadas.	1. Análisis de la vulnerabilidad de la infraestructura de un lugar determinado en caso de desastre.
<i>Preparación</i>	Planeación de actividades: Contempla, entre otras, las siguientes variables: Personas involucradas: afectados, rescatistas, voluntarios, etc; zonas con alta probabilidad de desastre; Rutas de acceso; Tipo de transporte.	1. Logística para mercadería en grandes cantidades refugiados y personas desplazadas. 2. Planes para responder ante un desastre en una

			localidad determinada.
Respuesta	Es cuando ya ocurrió un desastre y se deben realizar acciones para evitar que se incrementen las consecuencias desastrosas.	Modelo matemático para la distribución de insumos: Contempla, entre otras, las siguientes variables: Cantidad de empresas o personas donantes; Cantidad de centros de distribución; Cantidad de zonas afectadas; Tiempo de desplazamiento; Cantidad y tipo de insumos. En términos generales: Capacidad de la infraestructura, política de la situación, conflicto civil en el área civil	1. Traslado de suministros y equipo 2. Reubicación de personas afectadas a albergues temporales debido desastre 3. Traslado de víctimas y de personal
Recuperación	Es aquella en que se llevan a cabo las acciones que devuelvan a la normalidad a la zona afectada, ya sea a corto o mediano plazo.	Recuperación de zonas afectadas: Contempla, entre otras, las siguientes variables: Insumos necesarios para la reconstrucción de las zonas; Capital necesario para la recuperación; Involucrados en el plan de recuperación.	1. Suministros de reparación para sistemas de "Recursos Vitales" como suministros de agua. 2. Actividades de reconstrucción de viviendas, edificios, escuelas y hospitales

Fuente: Adaptado de Altay & Green (2013).

La diferencia entre la logística comercial y la logística humanitaria radica en la necesidad que cubre cada una de ellas. La logística comercial busca mejorar cada una de las decisiones que se toman y funciones que se ejecutan en cada uno de los eslabones de la cadena de suministro para mejorar el nivel de servicio con el cliente. Por su parte, la logística humanitaria realiza mejoras para disminuir el sufrimiento de las personas afectadas por un desastre. En la Tabla 2 se muestran características propias de la logística humanitaria.

Tabla 2. Características especiales de la logística humanitaria.

Características especiales de la logística humanitaria	
Imprevisibilidad de la demanda en tiempo, ubicación, tipo y tamaño, demanda de una gran cantidad y amplia variedad de suministros para cubrir en tiempos cortos y falta de recursos en cuanto a la oferta en términos de personal, tecnología, capacidad de transporte y recursos monetarios.	
Diversidad de participantes.	En las redes de suministro humanitarias los participantes son típicamente donantes, agencias de ayuda, ONG's, fuerzas militares, proveedores de servicios logísticos y gobiernos, entre otros.
Estructura de financiación y fondos.	Para este tipo de redes es frecuente que actores como agencias de ayuda y ONGs deben competir por los fondos y fuentes de financiación. Lo que puede causar retrasos en la ayuda prestada en las horas críticas de un desastre o al contrario, ineficiencia en la asignación y uso de los montos concedidos.
Alta Incertidumbre y ambientes de inseguridad.	Son varias las fuentes que pueden introducir incertidumbre a un sistema logístico humanitario, entre ellas pueden destacarse la demanda, el suministro, el compromiso de los participantes y la seguridad, entre otros.
Recursos limitados/ Sobre Suministro.	El personal y diferentes tipos de recursos como capital, e infraestructura además de los tecnológicos e informacionales se encuentran restringidos en las diferentes etapas de una operación humanitaria y no son fácilmente estimables o ajustables a los requerimientos reales.
Urgencia.	La urgencia es un factor sobreentendido especialmente en situaciones humanitarias, ésta implica altos niveles de intensidad, entendida como el número de tareas a ser

	ejecutadas divididas por el tiempo y los recursos disponibles.
Ambiente politizado.	El suministro en la red humanitaria puede verse afectado por las condiciones, relaciones e intereses políticos en los diferentes nodos y conexiones que la componen, tales como donantes, gobiernos, ONGs y población civil de la región afectada.
Inestabilidad de la red.	La red de suministro compuesta por nodos (puertos, aeropuertos, depósitos, centros de acopio, entre otros), conexiones (por ejemplo vías de acceso, líneas férreas, puentes y carreteras), e infraestructura de comunicaciones (redes de telefonía, internet), es vulnerable, principalmente en situaciones de desastre.

Fuente: Los autores.

6.1.2. Desastres.

Los desastres son fenómenos cuyo acontecimiento varía tanto en número de eventos como en la magnitud de personas afectadas, estos han venido aumentando por diversas condiciones que los dotan de características diferentes según la zona afectada y la relación con variables culturales, económicas y sociales.

Los desastres están definidos como:

“Daño grave o alteración grave, de las condiciones normales de vida en un área geográfica determinada, causada por fenómenos naturales o por efectos catastróficos de la acción del hombre en forma accidental, que requiera para ello de la especial atención de los organismos del estado, y de otras entidades de carácter humanitario o de servicio social” (Decreto N° 919, 1989).

Holguin-Veras et.al (2012) hace énfasis en la diferencia entre los desastres y las catástrofes. Cuando se habla de desastre se refiere a un evento atípico que afecta una población y los recursos de la misma (recursos locales) son suficientes para atender la situación. Mientras tanto las catástrofes son eventos de gran magnitud que requieren ayuda humanitaria de agentes externos al lugar donde se produjo. Por esto a la hora de modelar la red logística se debe establecer si se trata de un desastre o de una catástrofe pues habría que considerar diferentes agentes dentro de los eslabones sea cual sea caso.

Estos afectan los aspectos tangibles e intangibles que posee una comunidad y pueden ser a consecuencia de escenarios naturales, tecnológicos, sociales o de orden público.

Los diversos efectos que estos acontecimientos le causan a la población generan diferentes tipos de necesidades y requerimientos que deben ser resueltos. Por esta razón es importante distinguir cuales son las características comunes de los sistemas. Sin embargo, estos patrones no son absolutos, ya que la forma en que se presentan y el impacto que generan tienen relación con las particularidades del lugar donde se desarrollan.

6.1.3. Alojamientos temporales o albergues.

Los albergues están definidos 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 asegurar 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” Federación Internacional de la Cruz Roja y la Media Luna Roja (2008).

La frecuente ocurrencia de desastres naturales de gran impacto afirma la necesidad de disponer de un conocimiento en temas relacionados con el acceso adecuado, herramientas requeridas, lineamientos y recursos técnicos en el manejo de albergues temporales. Cuando sucede algún desastre por lo general le crea a la población una serie de problemáticas principalmente en referencia a la incapacidad que tienen de acceder a sitios seguros y adecuados para refugiarse, y más aún en situaciones en que no se puede garantizar una atención inmediata para resolverla.

6.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA LOGÍSTICA HUMANITARIA EN COLOMBIA

El Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, es el conjunto de entidades nacionales que tiene como objetivo llevar a cabo el proceso de la gestión del riesgo con el fin de ofrecer protección a la población en todo el territorio nacional y así mejorar la calidad de vida, seguridad y bienestar de la comunidad. Actualmente está compuesto por 6 instancias de orientación y coordinación, quienes optimizan el desempeño y la gestión de las distintas entidades en la ejecución de acciones. Estas 6 instancias hacen parte de una estructura jerárquica donde el nivel superior se encuentra encabezado por el Presidente de la República, los ministros, el Departamento Nacional de Planeación y el Director de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) y donde el último nivel son los consejos departamentales, distritales y municipales quienes garantizan la efectividad de los procesos en la entidad territorial.

A nivel nacional existen manuales elaborados por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) que sientan las bases sobre el cómo actuar ante la ocurrencia de un desastre. El Manual de Logística para la Atención de Emergencias ofrece una guía con los requerimientos mínimos para la gestión, control, almacenamiento y distribución de suministros. En la Tabla 3 se muestran los procedimientos que se describen en el manual con sus respectivas actividades.

Tabla 3. Procedimientos del Sistema Logístico de la UNGRD.

Procedimiento	Actividades
Gestión de suministros	• Abastecimiento. • Recepción de suministros. • Creación de bodega y/o punto de acopio y distribución logística. • Descargue de suministros. • Control de calidad y revisión de documentos y suministros.
Sistema de control de suministros	• Entrada, inventarios y salidas de suministros. • Estado de los elementos del inventario. • Políticas de flujo de inventarios. • Formas para el control y verificación de inventarios.
Almacenamiento	• Formas de almacenamiento. • Zonas a tener en cuenta dentro de una bodega.
Distribución	• Alistamiento. • Planeación. • Transporte y entrega. • Cross docking. • Entrega a las familias beneficiadas. • Legalización de la asistencia humanitaria de emergencia.

Fuente: Adaptado de UNGRD (2016).

El manual enuncia los requisitos mínimos de cada una de las actividades descritas en la Tabla 3.

En materia de desastres, La UNGRD, el Fondo Nacional de Gestión del Riesgo, los Comités Nacionales de Conocimiento del Riesgo, y otras instituciones se han articulado para aunar esfuerzos y según estadísticas en el 2016 lograron reducir en

24% el número de personas afectadas por desastres, en 49% el número de heridos, en 88% las viviendas destruidas y en 69% las averiadas con respecto al promedio de los últimos 12 años. (UNGRD, 2016)

Se presenta hasta el año 2016 un aumento de las estrategias para la ejecución de la respuesta a emergencias con una inversión de \$ 68.747 Millones con la entrega de kits de cocina, kit de aseo, colchonetas, hamacas y toldillos; 1164 familias de 18 municipios atendidos se beneficiaron de alojamientos temporales, con una asistencia humanitaria de emergencia que se moviliza en menos de 72 horas (UNGR, 2016).

Otras instituciones como la Cruz Roja Colombiana que hacen parte del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres (SNAPD), del Sistema Nacional de Salud y de los Comités Técnicos de la Organización Panamericana de la Salud y de forma conjunta con los demás organismos de socorro, tienen como propósito no sólo actuar ante la prevención, atención y respuesta, sino también participar en la toma de decisiones de las mismas.

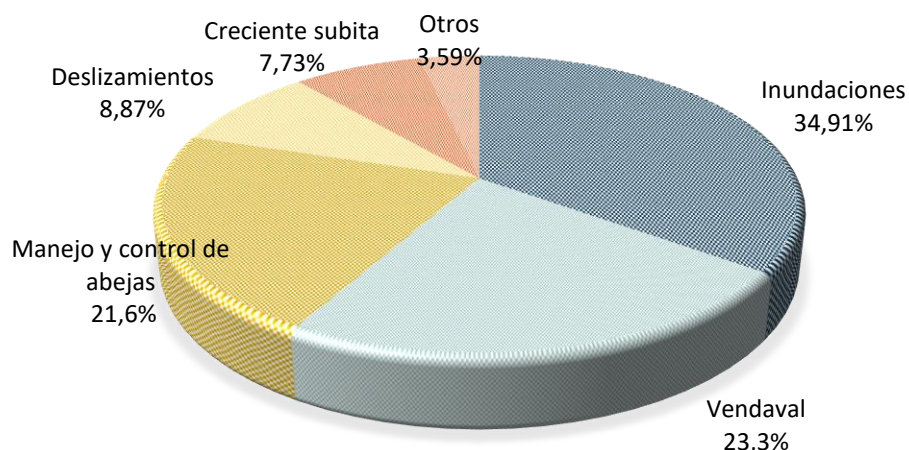
El Manual Nacional Para El Manejo De Albergues Temporales realizado por la Cruz Roja Colombiana contribuye a la consolidación de información que definen y clasifican los albergues, además describe los parámetros de duración, gestión de recursos, infraestructura y responsabilidad política.

Desde el año 2011 al 2016 esta institución de carácter privado que cuenta con su propio sistema de financiación, ha mostrado una disminución en actividades de respuesta en un 87% debido a que se ha enfocado en la reducción del riesgo de desastre a través de proyectos comunitarios y procesos de autogestión y sostenibilidad, donde se han beneficiado más de 80.000 personas en estos 5 años.

Por otra parte, la Dirección Nacional de la Defensa Civil se creó mediante Decreto No. 606 del 6 de abril de 1967 bajo dependencia y orientación de la Presidencia de la República; conformada por dos niveles: el oficial, constituido por los empleados públicos adscritos a la actual Dirección General y sus dependencias, y el privado constituido por los voluntarios que se organizan en Juntas de Defensa Civil. A partir

del planeamiento estratégico del Plan Nacional de Desarrollo 2006 - 2010, amplió su alcance, ya que además de atender las emergencias y desastres, se dedica a la gestión ambiental dentro del proceso de Prevención de Emergencias y a la Acción Humanitaria de Emergencia, en el proceso de atención posterior a las emergencias presentadas.

Gráfico 4. Emergencias de origen natural atendidas por la defensa civil 2017



Fuente: Adaptado de Defensa Civil Colombiana (2018).

La Defensa Civil dio respuesta a 4.965 emergencias con atención a 444.330 personas damnificadas en el 2016 lo que representa un incremento del 44% frente al año 2013, que atendió aproximadamente a 2.205 personas, lo que demuestra mayor efectividad de la respuesta dada a los eventos de crisis presentados (Gráfico 4).

Esta situación evidencia el compromiso de las instituciones por dar cobertura a más zonas y por dar servicio efectivo en las situaciones de emergencia y fortalece la idea de buscar nuevas formas de mejorar la logística en los procesos de respuesta.

7. MARCO REFERENCIAL

7.1 COSTOS DE PRIVACIÓN

Los trabajos que abordan la logística humanitaria (LH) buscan mejorar medidas de eficiencia tales como el costo, el tiempo y la distancia, adaptando modelos de la logística comercial a la atención a desastres. Las circunstancias en las que se activan las cadenas de abastecimiento humanitarias son especiales, el cambio en las características del mercado y la urgente necesidad de distribuir la ayuda gratuita a las personas que se han visto afectadas cambia totalmente la naturaleza de las actividades económicas implicadas (Holguín-Veras et. al, 2013). La ocurrencia de un desastre hace que las acciones que se realizan para atender a las personas afectadas tengan en cuenta factores que no se contemplan dentro de una cadena de abastecimiento comercial. Estos factores, también llamados externalidades, juegan un papel importante a la hora de tomar decisiones como la ubicación de instalaciones (centros de acopio, centros de distribución, albergues, entre otros) y la entrega de suministros a la población afectada. La siguiente ecuación describe en forma general lo que sería una adecuada función objetivo para cualquier modelo LH.

$$\textit{Min Costos} = \textit{Costos logísticos} + \textit{Externalidades}$$

Según Holguín-Veras et. Al (2013), la logística humanitaria debe ocuparse del sufrimiento humano, externalidad que debe minimizarse dentro de cualquier modelo. El sufrimiento humano es medido como el tiempo que transcurre desde que ocurrió el desastre hasta que se cubren las necesidades básicas de la población afectada, en términos económicos esto se conoce como costos de privación. Para la LH se hace interesante considerar el bienestar económico (o también, bienestar social), el cual es la suma del costo o bienestar logístico con costos o beneficios

provocados por externalidades, cuyo objetivo sería de minimización en caso de los costos o maximización en caso de beneficios.

$$\text{Min Costos} = \text{Costos sociales}$$

En un estudio desarrollado por Cantillo et. al (2017), se establecen cuatro modelos econométricos de elección discreta para calcular el costo de privación por persona, esto lo hace partiendo del cálculo de la utilidad que las personas le dan a las alternativas de comprar un kit de salvamento que incluye elementos de primera necesidad para 72 horas o esperar a que llegue ayuda humanitaria donde se entregará un kit con los mismos insumos. La función de esta utilidad que un individuo le asigna a una alternativa j puede verse como:

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj}$$

Donde V_{nj} es la función de utilidad sistemática y ε_{nj} es una variable aleatoria que tiene en cuenta los gustos de cada individuo. En el trabajo de Cotes (2015) se seleccionó uno de los modelos microeconómicos del trabajo de Cantillo et. al (2017), el cual considera características y gustos idénticos para toda la población, y contiene una función exponencial. El modelo es el siguiente:

$$U_{\text{compra}} = \text{ASC} + \beta_I * \text{AI} + \beta_C * C + \beta_{t1} * e^{(\beta_{t2} * \text{DT})}$$

$$U_{\text{espera}} = \beta_{t1} * e^{(\beta_{t2} * \text{DT})}$$

Donde

U_{compra} = Utilidad percibida por la persona al decidir comprar el kit de insumos.

U_{espera} = Utilidad percibida por la persona al esperar por la ayuda gratuita.

ASC = Constante específica que captura el efecto promedio de todos los factores que no se han observado en la utilidad y las alternativas que no están incluidas en el modelo.

β_I = Parámetro asociado a los ingresos disponibles.

β_C = Parámetro asociado al costo del kit de insumos.

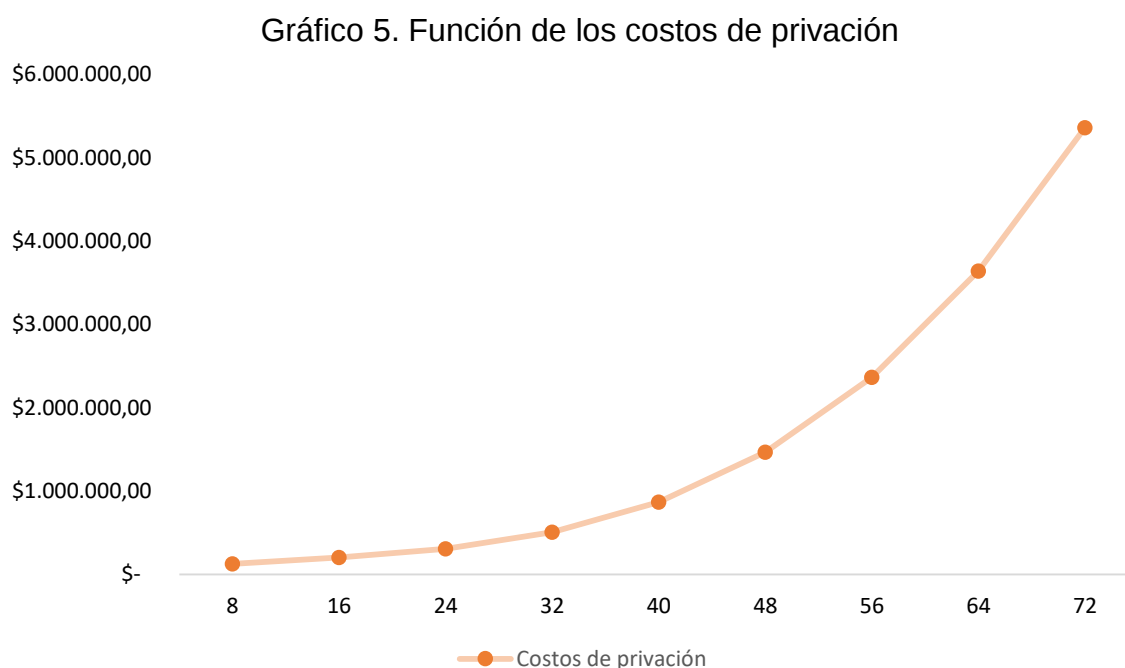
β_{t1}, β_{t2} = Parámetros de la atribución asociada al tiempo de privación.

AI = Ingreso disponible.

C = Costo del kit de insumos.

DT= Tiempo de privación.

Cantillo et. Al (2017) dentro de su trabajo, ajustan las funciones econométricas debido a la dificultad que estas presentan para formar parte de un modelo de programación lineal, este trabajo utilizará la función $CP(DT) = 22.795 * DT^3 - 906.94 * DT^2 + 21550 * DT$, que presenta una varianza de 0.999 respecto a los resultados que se obtienen con la función econométrica, esto probado para un tiempo de privación menor a 72 horas. Esta función está calibrada en pesos colombianos por persona. La gráfica 6 muestra el comportamiento exponencial de la función de costos de privación a través del tiempo.



Fuente: Adaptado de Cantillo et al (2017)

7.2 INESTABILIDAD DE LA RED

Una de las consecuencias generadas por un desastre es que destruye el modelo convencional de una cadena de suministros. La población, quien es considerada como cliente, presenta necesidades que hay que cubrir lo más rápido posible y los ofertantes, como tiendas de barrio, supermercados e incluso droguerías, se pueden volver inaccesibles debido a posibles efectos del desastre como la afectación de infraestructura o el daño en las vías lo que provoca afectaciones en la cadena de suministro.

Acontecimientos naturales como un terremoto, una inundación o un deslizamiento pueden bloquear o destruir carreteras, problemas como estos provocan inestabilidad de la red. La conectividad entre nodos cambia, haciendo que las distancias se hagan más grandes y afecten el cumplimiento con la demanda.

En la logística humanitaria, los bloqueos de vías de acceso suponen un reto, pues el objetivo de minimizar el sufrimiento de la población se ve afectado por que tomaría mayor tiempo llegar a las zonas afectadas.

Los modelos logísticos deben considerar dentro sus características la inestabilidad de la red para obtener un resultado más cercano a la realidad. La información debe ser recopilada lo más rápido posible apoyándose en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Otra información relevante dentro de las decisiones estratégicas y operativas de la LH es el riesgo que existe en que se replique el desastre o se acreciente el radio de afectación. Un caso aplicable sería en la localización de albergues los cuales cumplen la función de resguardar personas damnificadas mientras se logra recuperar la zona afectada, ahí es importante considerar el riesgo puesto que abrir un albergue en una zona con alta probabilidad de verse afectada por el desastre no sería conveniente.

7.3 LOCALIZACIÓN DE ALBERGUES

Los trabajos de investigación relacionados con la formulación de modelos matemáticos para la localización de albergues en situación post-desastre, están enfocados en dar apertura a locaciones según distintos criterios. Dentro de los artículos estudiados se pudo evidenciar que en su mayoría, las funciones objetivo se definieron con base en modelos clásicos utilizados en la logística comercial.

Boomee et al (2017) afirman que para resolver el problema de ubicación de instalaciones de logística humanitaria de emergencia existen dos enfoques, el primero es el que busca soluciones a través de algoritmos heurísticos y el segundo a través de algoritmos exactos, pero resaltan la importancia de la utilización del segundo enfoque para verificar el uso de algoritmos heurísticos, así que en este artículo se encuentra un consolidado de modelos matemáticos básicos clasificados según el problema de ubicación de la instalación y las categorías de los método de optimización: determinista, estocástica, dinámica y robusta.

Reyes (2015) propone un modelo funcional para diseñar de manera estratégica la red de instalaciones y la entrega de suministros de servicios requeridos por la población afectada en el menor tiempo posible y fue probado en la inundación que sufrió el municipio de Santa Lucia en el departamento del Atlántico, Colombia en el 2010. El modelo consta de dos partes, la primera determina los lugares potenciales para ubicar los albergues o el punto de distribución, considerando el tiempo de viaje entre locaciones y el riesgo de inundación de la zona potencial, y la segunda parte muestra un modelo que permite hacer la asignación y la definición de las rutas de las unidades móviles disponibles para la atención a la población afectada.

Por otro lado, Wei et. al (2012) abordan el tema de la ubicaciones de refugios urbanos a través de un método cualitativo donde evalúa el principio de cercanía para la construcción de los mismo, que sean instalaciones con que se puedan usar para otros propósitos de carácter público, el principio de seguridad y carreteras accesible. Posteriormente a través del Problema de Cobertura de Conjuntos determinan el número mínimo de albergues que garantice que cubra todos los sitios

requeridos y finalmente apoya la decisión con el Máximo Problema de Ubicación de Cobertura donde los sitios de instalación fijas dadas no pueden cubrir todos los sitios requeridos, se debe encontrar la alternativa con la cobertura más grande de los sitios de instalaciones cuando se cuenta con un límite presupuestario. El artículo desarrollado muestra los modelos para un caso de estudio de una pequeña ciudad llamada Lueyang en China.

Pérez et. al (2017) proponen la utilización de modelos de optimización para resolver el problema de la ubicación del refugio y la asignación de víctimas después de un desastre. Los modelos incluyen el transporte de las víctimas a los refugios, la asistencia médica y psicológica, y la calidad del servicio ofrecido por los refugios. Con respecto a la función objetivo definido en los modelos de optimización, el modelo básico esencialmente trata de minimizar la distancia total de los hogares a los refugios. En contraste con el modelo básico, una de sus extensiones, HMCAs (Modelo jerárquico capacitado con selección de atributos de refugio), supone que en el momento de la toma de decisiones hay más información sobre los refugios, por lo que es posible diferenciar a priori los posibles refugios como tipo A o tipo B. La segunda extensión del modelo básico, HMCAsDt (Modelo jerárquico capacitado con selección de atributos de refugio y umbral de distancia máxima), fortalece el criterio de minimizar las distancias totales en la función objetivo al limitar la distancia máxima que una víctima debe viajar a un refugio y luego disminuir los riesgos asociados con esa reubicación. El modelo matemático básico se ilustra con datos de un barrio de la ciudad de Curicó, Chile, una de las ciudades más afectadas por el terremoto que ocurrió en Chile en 2010.

Gaytán et. al (2012) exponen en su artículo un modelo de programación lineal entera con dos objetivos el primero busca minimizar el costo total que incluye el costo de apertura de albergues y centros de distribución, el costo de tener un inventario y el costo de transporte de damnificados o kits de ayuda humanitaria hacia los albergues; el segundo objetivo minimiza el tiempo total para desalojar a los individuos afectados. Tras obtener los resultados, la ruta a seguir para transportar a los damnificados se definió a partir de la aplicación del algoritmo Floyd-Warshall.

El modelo se desarrolló en la ciudad de Villahermosa, Estado de Tabasco, ubicado en la república mexicana.

Los trabajos que se tuvieron en cuenta en la revisión de literatura se apoyan en la investigación de operaciones, ya que este trabajo aplicó dicha herramienta para su desarrollo. De acuerdo a lo estudiado, la metodología de programación lineal entera mixta es considerada como la mejor forma de abordar la localización de albergues.

Tabla 4. Estado del arte de localización.

	Características											
Autores	A	B	C	D	MC	PR	CC	MS	LR	PC	LD	CP
(Wei, Li, Li, Liu, & Cheng, 2012)					X		X					
(Gaytan Iniestra & Arroyo López, 2012)	X		X						X			
(Camacho Vallejo & González Rodríguez, 2013)	X											
(Reyes Rubiano, 2015)	X					X						
(Kilci, Yetis, & Bozkaya, 2015)				X								
(Cotes Niebles, 2015)			X									X
(Xu, Yin, Chen, An, & Nie, 2016)												
(Pérez Galarce, Canales, Vergara, & Candia, 2017)		X						X				
(Boonmee, Arimura, & Asada, 2017)		X			X		X			X	X	

A: Minimización del tiempo de viaje
 B: Minimización de distancia total recorrida
 C: Minimizar costos
 D: Maximizar el peso mínimo

PR: Penalización del riesgo

CC: Cobertura de Conjuntos

MC: Máxima Cobertura de Conjuntos

MS: Múltiple servicio

PC: P - Center

LD: Ubicación de instalaciones dinámicas

CP: Costos de privación

Los modelos de localización se pueden caracterizar por: 1). Minimizar el tiempo de viaje entre los múltiples albergues ubicados en la zona J y el punto de distribución ubicado en la zona I , 2). Minimizar la distancia total recorrida desde los hogares a los refugios. 3). Maximizar el peso mínimo de las áreas de refugio abierto, tiene como propósito seleccionar la mejor combinación posible de áreas de refugio asignando cada zona al área de refugio abierto más cercano.

Entre las principales características que se encontraron al considerar un modelo de localización se encuentran: 1). El problema de Localización de Cobertura de Conjuntos (LSCP), dado que no se limita al número de sitios de las instalaciones, debe encontrar el menor número de instalaciones que cubra toda la población requerida. 2). El Máximo Problema de Ubicación de Cobertura considera que las instalaciones no pueden cubrir todos los sitios requeridos, así que de las múltiples soluciones obtenidas por el LSCP selecciona la alternativa que contenga la cobertura más grande. 3) El Múltiple Servicio se da debido a que un desastre provoca un grado de daño material, por lo tanto, la población está impactada por el desastre. Además, se asume un daño psicológico por la pérdida material, lesiones y muertes potenciales. Debido a problemas de servicio en hospitales y otras instalaciones de salud provocadas por el exceso de demanda y la destrucción de esas instalaciones, es necesario contar con lugares adicionales para atender las necesidades básicas de las personas afectadas. 4) P- Center buscar determinar el conjunto de las localizaciones de p centros que minimiza el máximo de las distancias entre cada nodo de demanda y el centro asignado

7.4 ENTREGA DE SUMINISTROS

Los problemas de transporte en la logística comercial son complejos para su solución y su importancia hace que estos sean prioritarios a la hora de llevar a cabo mejoras en las actividades de las empresas, esto debido a que, el transporte representa entre uno y dos tercios de los costos logísticos. (Ballou, 2004, p. 225)

Según Yepes (2003) tener una buena estrategia de transporte le permite a las empresas tener una ventaja competitiva y obtener beneficios sociales y ambientales con tan solo reducir en un pequeño porcentaje sus costos, estos últimos beneficios se deben a que la optimización de rutas puede llevar a una disminución en la contaminación y efectos sociales que produce esta actividad.

Pero en la logística humanitaria los temas de ventaja competitiva no son relevantes pues no existe competencia, además los beneficios sociales vienen implícitos al lograr satisfacer la demanda provocada por un desastre y disminuir así los costos de privación.

En la LH, la entrega de suministros es de vital importancia, ya que una mala solución en los problemas de última milla puede generar pérdida de vidas debido al incumplimiento con la demanda. Para la LH la distribución de la última milla es la entrega de la cantidad correcta de suministros, en el momento adecuado, para el lugar correcto, disminuyendo los costos de transporte y la penalización por la entrega tardía de los suministros (Decker, 2014)

Abordando el trabajo de Ahmadi, Seifi y Tootooni (2015) se muestra un modelo que crea rutas que atenderán a una población afectada después de un desastre teniendo en cuenta el uso de diferentes vehículos y el tiempo de socorro estándar, este último es definido como el tiempo máximo en el que se debe brindar ayuda a los afectados. Según Mitsotakis y Kassaras (2010) el tiempo de socorro estándar es de 72 horas, este límite Ahmadi, Seifi y Tootooni (2015) lo usó para calcular la demanda no atendida la cual tiene su participación económica en la función objetivo.

Al construir un modelo para la entrega de suministros humanitarios se debe integrar los costos de privación tal y como lo recomienda Holguín-Veras et. al (2013) donde se tenga en cuenta el tiempo en que se demora en cubrir la demanda humanitaria y no verlo sólo como una penalización ante un incumplimiento.

8. MODELO DE LOCALIZACIÓN ALBERGUES

8.1 Modelo matemático

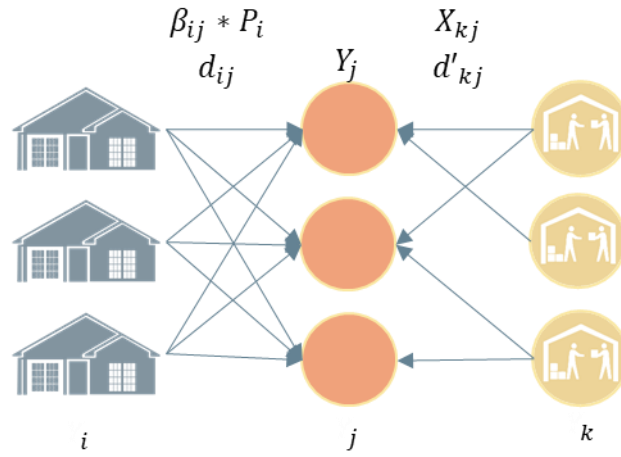
Teniendo en cuenta el marco teórico, el modelo de localización que se propondrá en este trabajo tendrá en cuenta los siguientes aspectos:

- Se penalizará con un factor de riesgo a cada alternativa de albergue, esto dependerá de la distancia que tenga este a las zonas altamente afectadas. Este factor afectará el costo fijo de adecuación del albergue.
- Este modelo contará con los costos de privación como factor de la función objetivo además de los costos de transporte y los costos fijos mencionados anteriormente.

Supuestos

- Los centros de distribución ya cuentan con los kit de suministros, por lo que el tiempo de recolección de ayudas y alistamiento no será tenido en cuenta. La capacidad de estos se considera ilimitada.
- Los albergues pueden recibir personas de cualquier zona afectada y recibir ayuda de un solo centro de distribución.
- Cada kit de suministros cubre las necesidades de una familia por 72 horas, una familia está conformada por 5 personas según el Compendio de Instructivos a Enero 31 de 2011 para acceder a los recursos del Fondo Nacional de Calamidades

Gráfico 6. Red logística humanitaria.



Fuente: Los autores.

Conjuntos

I: Conjunto de zonas afectadas por la inundación indexado por i.

J: Conjunto de posibles albergues indexado por j.

K: Conjunto de centros de acopio y distribución indexado por k.

Parámetros

CT_{ij} = Costo de transporte desde la zona afectada i hasta el albergue j [\$/persona.km].

CT'_{kj} = Costo de transporte desde el centro de acopio k hasta el albergue j [\$/Kit de suministro.Km].

CAP_j = Capacidad de albergues [Personas].

CF_j = Costo fijo o de adecuación del albergue j [\$].

d_{ij} = Distancia desde la zona afectada i hasta el albergue j [Km].

d'_{kj} = Distancia desde el centro de acopio k hasta el albergue j [Km].

P_i = Población afectada en la zona i [Personas].

α_j = Riesgo de inundación en el albergue j [%].

F = Cantidad de personas que conforman una familia [Personas/Familia].

$\gamma(t_{kj})$ = Costo de privación [\$/persona], donde t_{kj} es el tiempo de recorrido desde el centro de acopio hasta el albergue.

Variables.

β_{ij} = Proporción de personas que serán transportadas desde la zona i hasta el albergue j [%].

$Y_j \begin{cases} 1, Si el el albergue j se abre. \\ 0, Lo contrario \end{cases}$

X_{kj} = Cantidad de Kit de suministros enviados desde el centro de acopio k, hasta el albergue j [Kit de suministros].

$A_{kj} \begin{cases} 1, Si el centro de distribución k abastece el albergue j \\ 0, Lo contrario \end{cases}$

.

(1)

$$\begin{aligned} Min \text{ Costos} = & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J CT_{ij} d_{ij} P_i \beta_{ij} + \sum_{j=1}^J CF_j (1 + \alpha_j) Y_j + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J CT'_{kj} d'_{kj} X_{kj} \\ & + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \gamma(t_{kj}) X_{kj} F + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \gamma(t_{ij}) P_i \beta_{ij} \end{aligned}$$

$$(2) \sum_{i=1}^I P_i \beta_{ij} \leq Y_j CAP_j \quad \forall j \in J$$

$$(3) \sum_{k=1}^k X_{kj} \leq \frac{Y_j CAP_j}{F} \forall j \in J$$

$$(4) \sum_{k=1}^k A_{kj} = Y_j \forall j \in J$$

$$(5) X_{kj} \leq A_{kj} M \forall j \in J, k \in K$$

$$(6) \sum_{j=1}^J \beta_{ij} = 1 \forall i \in I$$

$$(7) 0 \leq \beta_{ij}, \alpha_j \leq 1$$

$$(8) Y_j \in [0,1]$$

$$(9) X_{jk} \in z^+$$

La función objetivo del modelo propuesto tienen en cuenta los factores más importantes identificados a través de la revisión de literatura debido a que se ajustan más a las necesidades reales provocadas por un desastre. El primer término son los costos de transportar las personas desde el lugar afectado hacia los albergues. El segundo término son los costos fijos o de adecuación de los lugares que actuarán como albergues, aquí se tiene en cuenta el riesgo de afectación que presenta el albergue ante la inundación. El tercero son los costos de transporte de los kit de suministros desde los centros de acopio hasta los albergues. Los últimos dos términos representan los costos de privación (al transportar las personas de las zonas afectadas a los albergues y al entregar los suministros desde los centros de acopio hasta los albergues).

La restricción (2) asegura que la población que se dirige a los albergues no exceda la capacidad de estos. La (3) es una restricción de flujo y tienen en cuenta la cantidad de personas que puede satisfacer un kit. La restricción (4) obliga a que un albergue solo pueda ser atendido por un centro de distribución. La restricción (5) permite el flujo de kits desde el centro de distribución k al albergue j si el albergue ha sido abierto. La restricción (6) asegura que toda la demanda sea satisfecha. Y las restricciones (7), (8) Y (9) son las obvias.

8.2 Escenarios de prueba.

El modelo de localización y asignación que se propone cuenta con dos características propias de la logística humanitaria, los riesgos de afectación y los costos de privación. Estos aspectos hacen que el modelo difiera de un modelo clásico de logística comercial. Por esto se propone realizar tres escenarios con variaciones en el modelo. Un primer escenario cuenta con un modelo logística comercial, el segundo escenario considerando un riesgo asociado en caso de inundación de los albergues, y finalmente otro que considere los riesgos y los costos de privación. Esta comparación se realiza con el propósito de observar el impacto que tienen los costos de privación y el riesgo de inundación sobre la decisión de la apertura de los albergues

Para llevar a cabo este ejercicio se crea un escenario de prueba donde sucede una inundación debido a una creciente del río que afecta a 19 zonas y se tienen 12 posibles albergues para resguardar a las personas afectadas, también existen dos centros de distribución que brindan el servicio de recolectar y enviar los suministros humanitarios. La ilustración 1 muestra los nodos ubicados sobre un mapa que tiene una zona roja que representa el área afectada por la inundación, una zona amarilla que representa la región que tiene un riesgo medio de verse afectada por otra posible creciente del río, y una zona verde que representa un riesgo bajo. Los riesgos son representados como 0.5 para la zona amarilla, 0.25 para la zona verde y un número muy alto (M) para la zona roja. Los costos de privación se encuentran en el Anexo 1. Los demás datos asociados se muestran en las tablas 5, 6, 7 y 8.

Ilustración 1. Escenario de prueba.

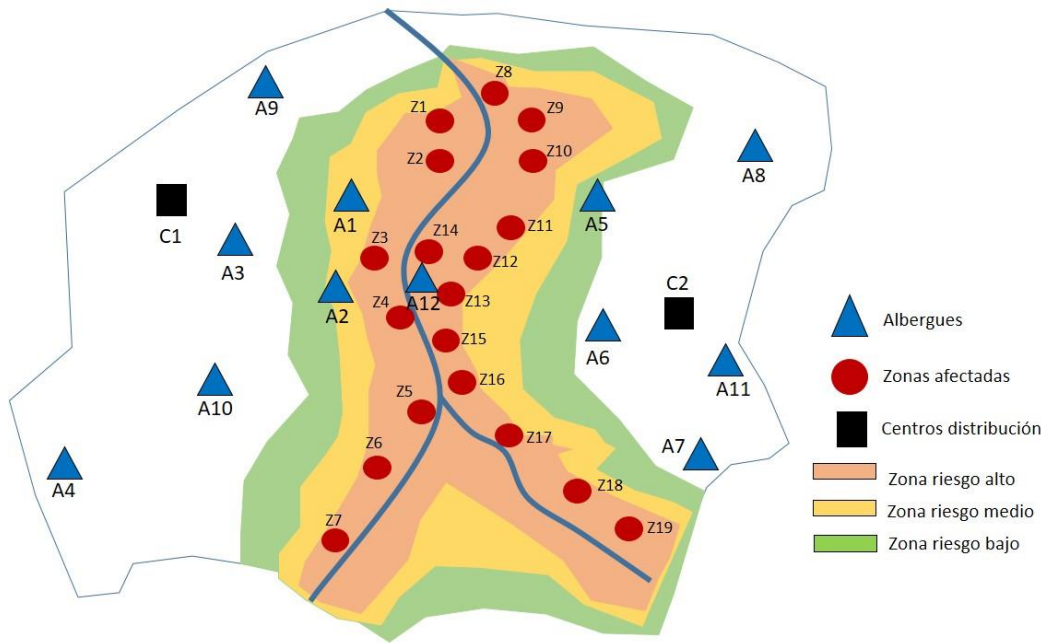


Tabla 5. Distancia de las zonas afectadas a los albergues (Km)

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Z1	5	9	11	19	10	15	21	11	3	14	15	13
Z2	3	7	9	17	12	17	23	13	5	12	17	15
Z3	2	2	4	12	17	22	28	18	6	7	22	20
Z4	3	3	7	11	18	23	29	19	9	6	23	21
Z5	5	5	9	9	20	25	31	21	11	6	25	22
Z6	7	5	9	9	22	27	33	23	11	6	27	25
Z7	9	5	9	9	24	29	35	25	11	6	31	29
Z8	9	13	15	23	6	11	17	7	7	18	11	9
Z9	10	14	16	24	5	10	16	6	8	19	10	8
Z10	12	16	18	26	3	8	14	6	10	21	8	6
Z11	13	17	19	27	3	8	14	8	12	23	8	4
Z12	14	18	20	28	4	7	13	9	13	24	7	3
Z13	15	19	21	29	5	6	12	10	14	25	6	2
Z14	16	20	22	30	6	7	13	11	15	26	7	3

Z15	17	21	23	31	7	6	12	12	16	27	6	6
Z16	17	21	23	31	6	3	9	11	15	26	5	1
Z17	19	23	25	32	8	3	9	13	17	28	7	1
Z18	19	23	25	32	9	4	6	14	18	29	8	4
Z19	22	26	28	35	10	5	15	3	21	32	9	7

Tabla 6. Distancia de los centros de distribución a los albergues (Km)

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	8	6	5	11	18	23	29	19	5	6	23	21
C2	19	23	25	33	4	5	7	5	17	28	1	7

Tabla 7. Cantidad de personas afectadas (Personas)

Z1	1000	Z11	2700
Z2	2000	Z12	3600
Z3	1500	Z13	100
Z4	3000	Z14	800
Z5	800	Z15	3450
Z6	2200	Z16	2600
Z7	1150	Z17	2700
Z8	900	Z18	1850
Z9	700	Z19	3000
Z10	2800		

Tabla 8. Datos de los albergues.

Albergue	Capacidad (Personas)	Costo de adecuación (COP)	Riesgo
A1	6000	\$ 33,600,000.00	0.5
A2	3500	\$ 19,600,000.00	0.5

A3	2000	\$	11,200,000.00	0
A4	4000	\$	22,400,000.00	0
A5	8000	\$	44,800,000.00	0.25
A6	3800	\$	21,280,000.00	0
A7	7500	\$	42,000,000.00	0
A8	5100	\$	28,560,000.00	0
A9	4600	\$	25,760,000.00	0
A10	1100	\$	6,160,000.00	0
A11	3900	\$	21,840,000.00	0
A12	2850	\$	15,960,000.00	1

El costo de adecuación se basó en la información encontrada en el Fondo Nacional de Calamidades (2011) donde se establece que se dará un aporte de COP \$ 200.000 de arriendo para una familia (5 personas) por un mes. Se propone un tiempo de permanencia de los albergues de 3 días y un aumento de 40% por gastos de administración y adecuación, obteniendo un valor de COP \$ 4000 por persona albergada. Este factor se multiplica por la capacidad de personas que puede resguardarse en cada albergue para obtener el costo total por albergue. La capacidad de cada albergue fue asignada por los autores.

El costo de transporte de las zonas afectadas a los albergues se estableció en COP \$ 200 por persona por kilómetro. El costo de transporte desde los centros de distribución a los albergues se estableció en COP \$20 por kit por kilómetro. El costo de transporte de carga fue extraído de los costos por movilización de un tractocamión establecido por el Ministerio de Transporte (2014).

Los costos de privación por persona fueron calculados con la función de privación considerando demanda homogénea de Cantillo et. Al (2017). Los tiempos de transporte fueron tomados como tiempos de privación, estos se calcularon con las distancias teniendo en cuenta una velocidad promedio aproximada de 50 Km/h.

En el escenario de logística comercial, la función objetivo sería la siguiente:

$$(10) \text{Min Costos} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J CT_{ij} d_{ij} P_i \beta_{ij} + \sum_{j=1}^J CF_j Y_j + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J CT'_{kj} d'_{kj} X_{kj}$$

En el escenario que incluye los riesgos sería la siguiente:

$$(11) \text{Min Costos} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J CT_{ij} d_{ij} P_i \beta_{ij} + \sum_{j=1}^J CF_j (1 + \alpha_j) Y_j + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J CT'_{kj} d'_{kj} X_{kj}$$

En el escenario de logística humanitaria sería el descrito en la ecuación (1).

8.3 RESULTADOS

Los escenarios fueron resueltos en AMPL en un tiempo promedio de ejecución de 30 segundos. La tabla 9 muestra los albergues que se abrieron en cada escenario, las ilustraciones de la 2 a la 7 los resultados de asignación, y la tabla 8 muestra los costos generados.

Tabla 9. Apertura de albergues logística comercial.

	Logística humanitaria	Logística comercial con riesgo	Logística comercial
A1	0	0	1
A2	1	0	0
A3	1	0	1
A4	0	1	0
A5	1	1	1
A6	1	1	1
A7	1	1	0
A8	1	1	1
A9	1	1	1

A10	0	0	1
A11	1	1	1
A12	0	0	1

Ilustración 2. Asignación de zonas afectadas a albergues: Logística humanitaria.

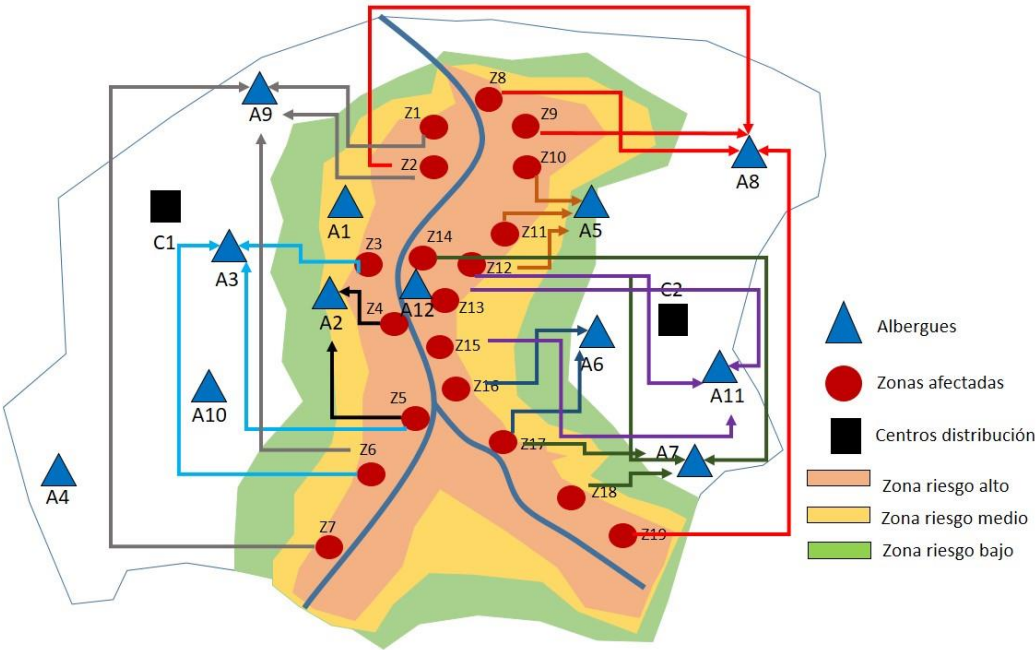


Ilustración 3. Asignación de zonas afectadas a albergues: Logística comercial con riesgos.

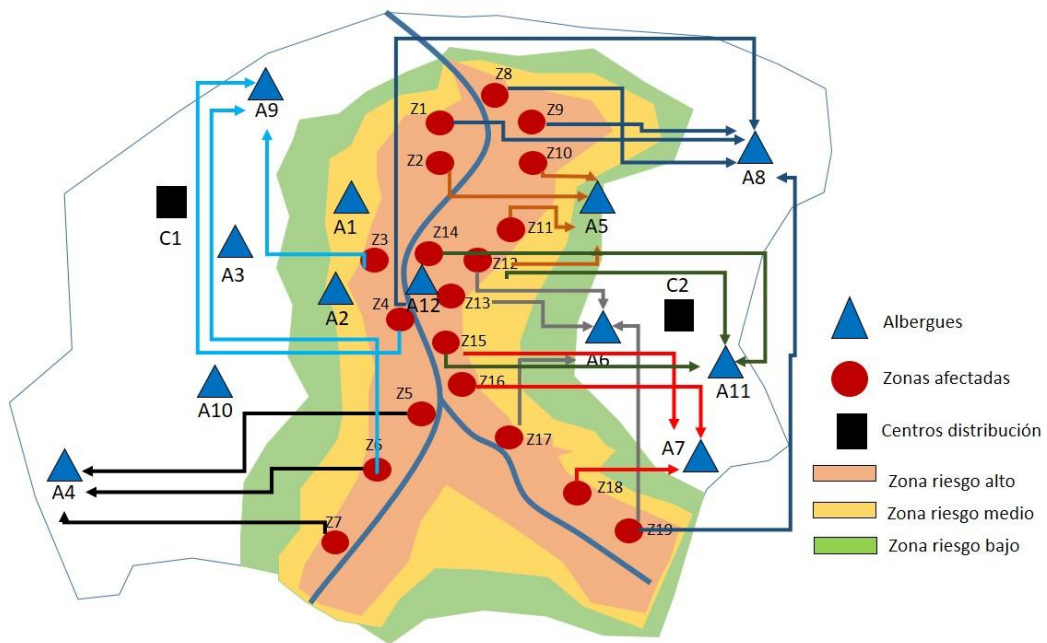


Ilustración 4. Asignación de zonas afectadas a albergues: Logística comercial.

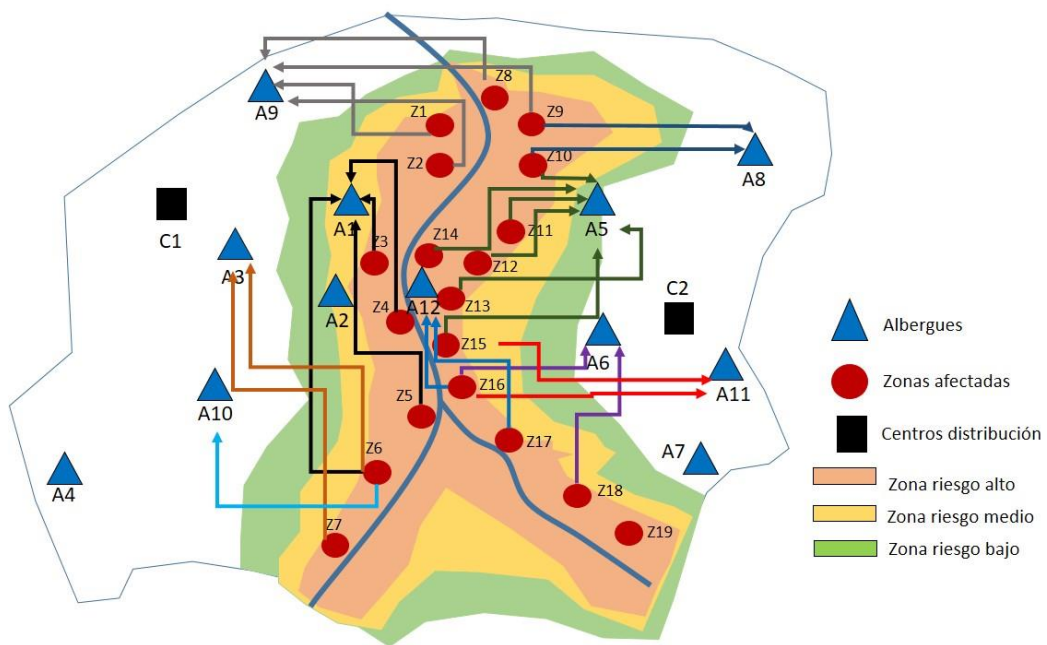


Ilustración 5. Asignación de albergues a centros de distribución: Logística humanitaria

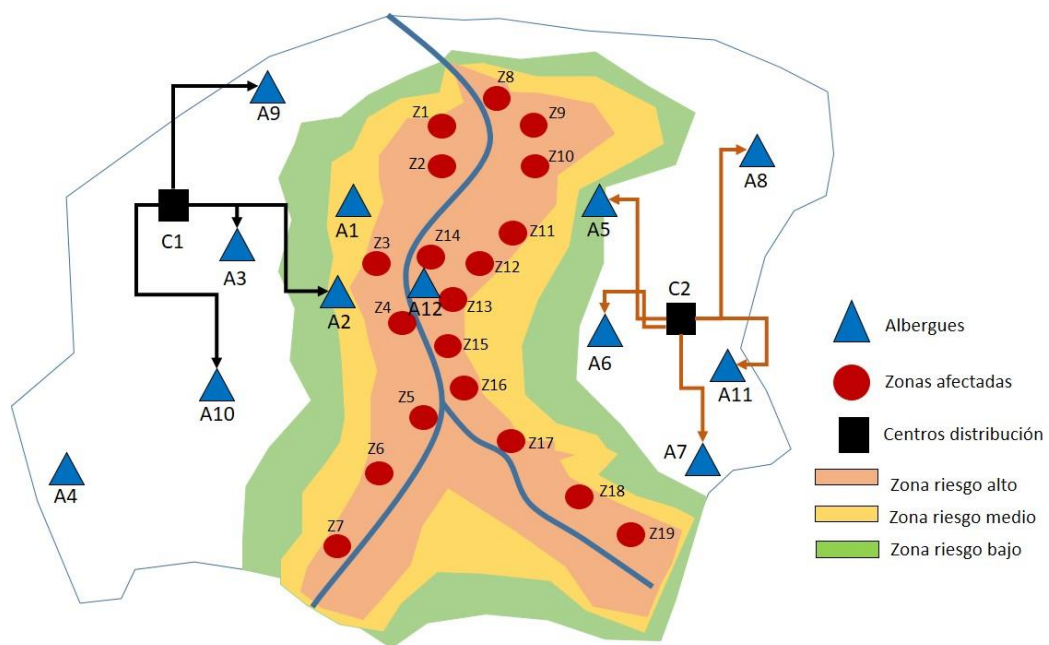


Ilustración 6. Asignación de albergues a centros de distribución: Logística comercial con riesgos

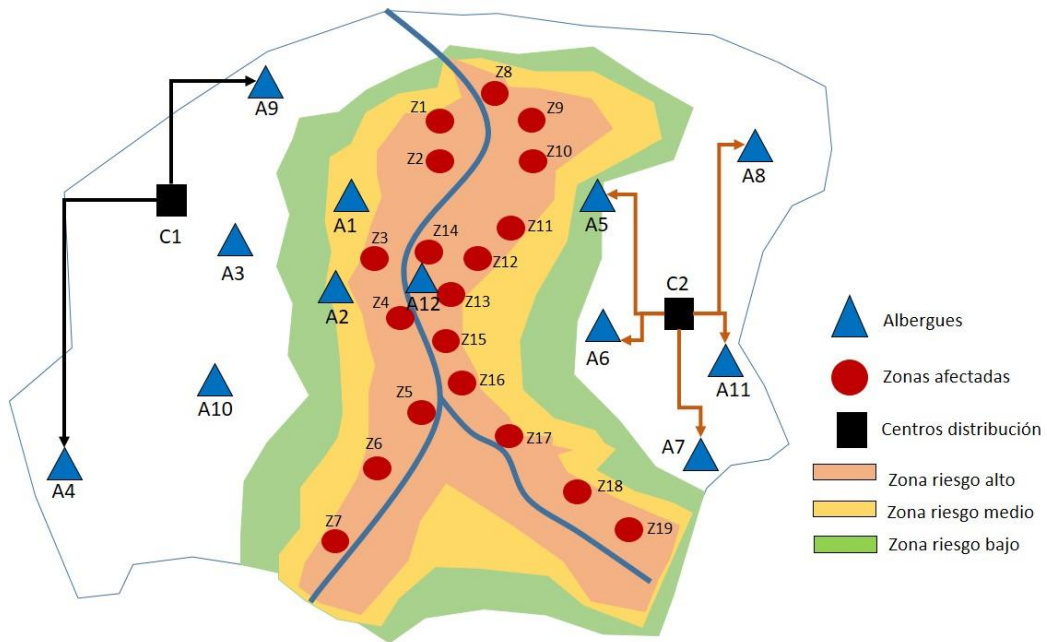


Ilustración 7. Asignación de albergues a centros de distribución: Logística comercial

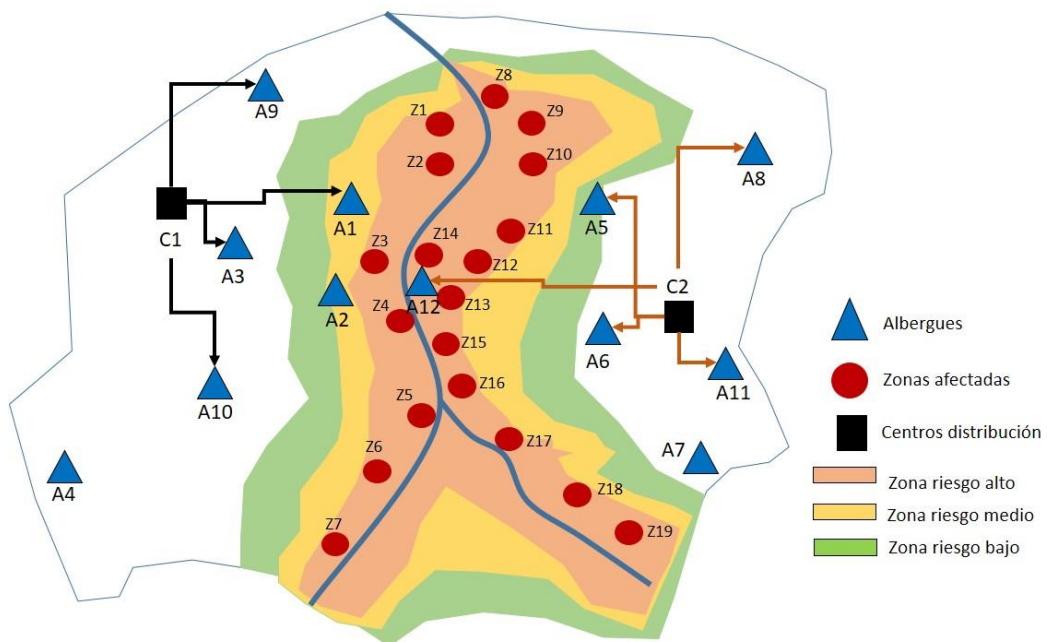


Tabla 10. Costos por escenarios

	Logística humanitaria	Logística comercial con riesgo	Logística comercial
Costos de transporte	\$ 51,966,200.00	\$ 66,655,800.00	\$ 45,484,200.00
Costos fijos	\$ 242,200,000.00	\$ 217,840,000.00	\$ 209,160,000.00
Costos logísticos	\$ 294,166,200.00	\$ 284,495,800.00	\$ 254,644,200.00
Costos de privación	\$ 157,925,229.33	\$ -	\$ -
Costos sociales	\$ 452,091,429.33	\$ -	\$ -

Los tres escenarios tienen una solución distinta, para el caso de la logística comercial cuyos resultados de localización y asignación se encuentran en la tabla 9 y las ilustraciones 4 y 7, se busca una solución que minimice los costos logísticos. Al agregar el riesgo de inundación en los albergues la solución cambia ya que como se evidencia en la tabla 9 y las ilustraciones 3 y 6, los albergues A1, A2 Y A12 no se abren al estar en zonas donde posiblemente puedan verse afectados, incluso el albergue A12 se encuentra en una zona que fue afectada por la inundación que ocasionó el desastre. Con el riesgo los costos logísticos aumentan un 11.72%.

Para el tercer escenario se corre el modelo con los costos de privación dando como resultado la información mostrada en la tabla 9 y las ilustraciones 2 y 5. Para este caso el objetivo del modelo pasa a tener en cuenta la elevación exponencial de los costos de privación que dependen del tiempo que hay entre cada nodo. Los resultados muestran que los costos fijos de adecuación son mayores a los otros escenarios ya que se abren albergues que presentan riesgo de inundación, esto se debe a que la inclusión del concepto de privación en la función objetivo trae consigo la necesidad de buscar lugares que sean de fácil acceso en tiempo pero que al mismo tiempo penalice el riesgo, aunque esto genera una disminución del 22.04% en los costos de transporte.

Lo anterior tiene su explicación debido a la relación que tienen los costos de privación con los costos de transporte pues los albergues buscan localizarse cerca de las áreas afectadas minimizando a la vez el tiempo de privación.

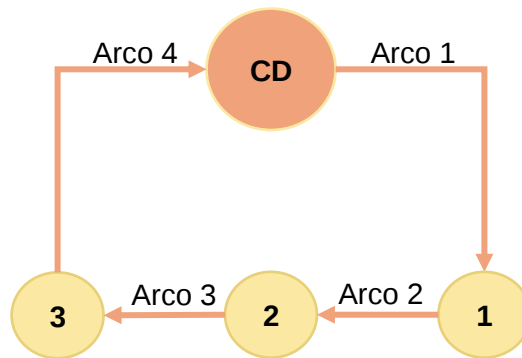
Este ejercicio muestra la importancia de incluir externalidades propias de un desastre dentro de que los modelos de logística humanitaria. Para el caso de los modelos de localización-asignación, se demuestra la importancia de incluir los costos de privación, porque a pesar de que los modelos de logística comercial brindan soluciones factibles económicamente hablando, estos interfieren para buscar una solución factible en términos sociales.

9. MODELO DE ENTREGA DE SUMINISTROS

El modelo de entrega de suministros debe tener como objetivo minimizar los costos sociales, que para este trabajo serán representados por la suma de los costos de transporte y los costos de privación como la externalidad.

Las unidades de medida de los costos de privación son de Unidades monetarias por persona por lo que dentro una ruta de transporte tendrá un grupo de personas con un nivel de sufrimiento distinto.

Ilustración 8. Ruta de entrega de suministros.



Fuente: Los autores.

La ilustración 8 muestra una ruta realizada por un vehículo que cumple la función de suplir la demanda de 3 nodos, la ruta termina en el mismo origen donde se abastecerá nuevamente y cubrir nuevos puntos. Al suplir la demanda (d_1) del nodo 1, el costo de privación estará en función del tiempo que el vehículo recorrió desde el centro de distribución hasta el nodo 1, siendo este tiempo T_1 . Cuando el vehículo se dirige al nodo 2, se suple la demanda (d_2) con un tiempo de privación $T_1 + T_2$, ya que la población presente lleva esperando ese tiempo a ser atendida. Por consiguiente, el tiempo de privación del nodo 3 sería $T_1 + T_2 + T_3$.

Teniendo en cuenta lo anterior, los costos de privación serían los siguientes:

$$\text{Costos de privación} = \gamma(T_1)(d_1) + \gamma(T_1 + T_2)(d_2) + \gamma(T_1 + T_2 + T_3)(d_3)$$

El modelo que se propone será un heurístico que buscará minimizar los costos sociales atendiendo primero a los albergues que posean, en el momento de decisión, el mayor costo de privación sumando los costos de transporte. Lo anterior se realiza teniendo en cuenta la capacidad de transporte, la demanda de cada albergue, los tiempos y los costos desde el centro de distribución a los albergues y el tiempo de transporte entre albergues.

Parámetros

TCA_j = Tiempo desde el centro de distribución al albergue j [Min].

$TAA_{jj'}$ = Tiempo desde el albergue j al albergue j' [Min] $j \neq j'$.

$CTCA_j$ = Costo de transporte desde el centro de distribución al albergue j [\$].

$CTAA_{jj'}$ = Costo de transporte desde el albergue j al albergue j' [\$] $j \neq j'$.

$\gamma(t)$ = Función de costos de privación [\$/persona].

$CPCA_{jt}$ = Costo de privación desde el centro de distribución al albergue j en el tiempo t [\$].

$CPAA_{jj't}$ = Costo de privación desde el albergue j al albergue j' en el tiempo t [\$] $j \neq j'$.

$CSCA_{jt}$ = Costo social de transportar desde el centro de distribución al albergue j en el tiempo t [\$].

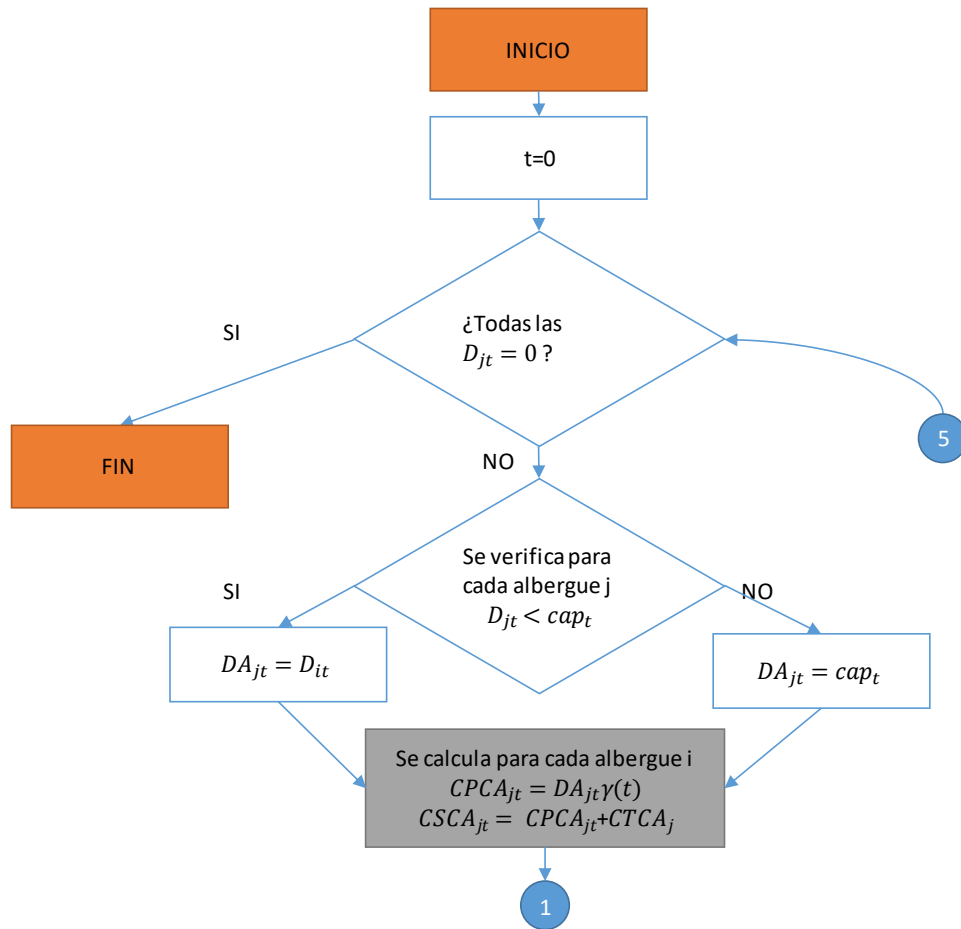
$CSAA_{jj't}$ = Costo social de transportar desde el albergue j al albergue j' en el tiempo t [\$] $j \neq j'$.

$CSCA_{jt}$ = Costo total en el tiempo t [\$].

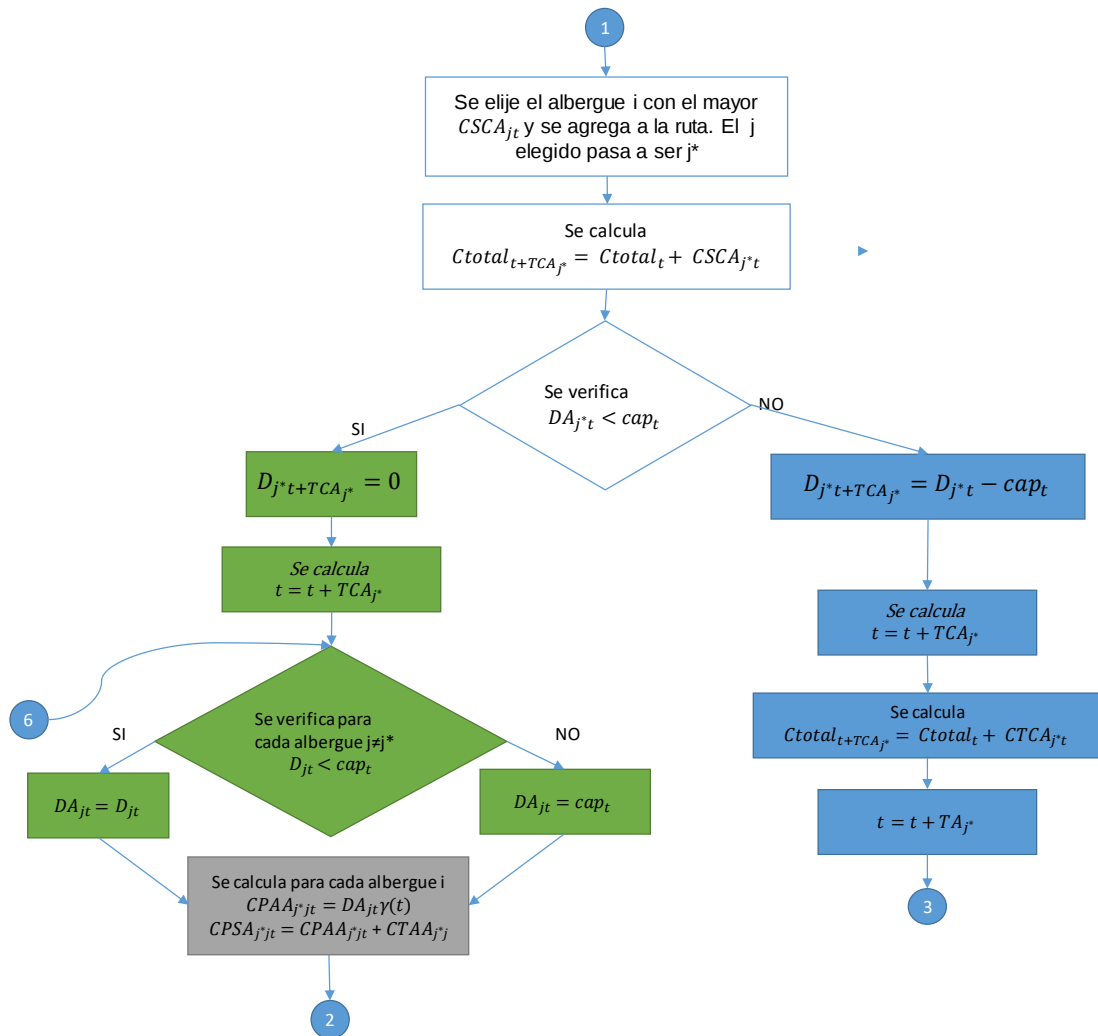
D_{jt} = Demanda del albergue j en el tiempo t [Personas].

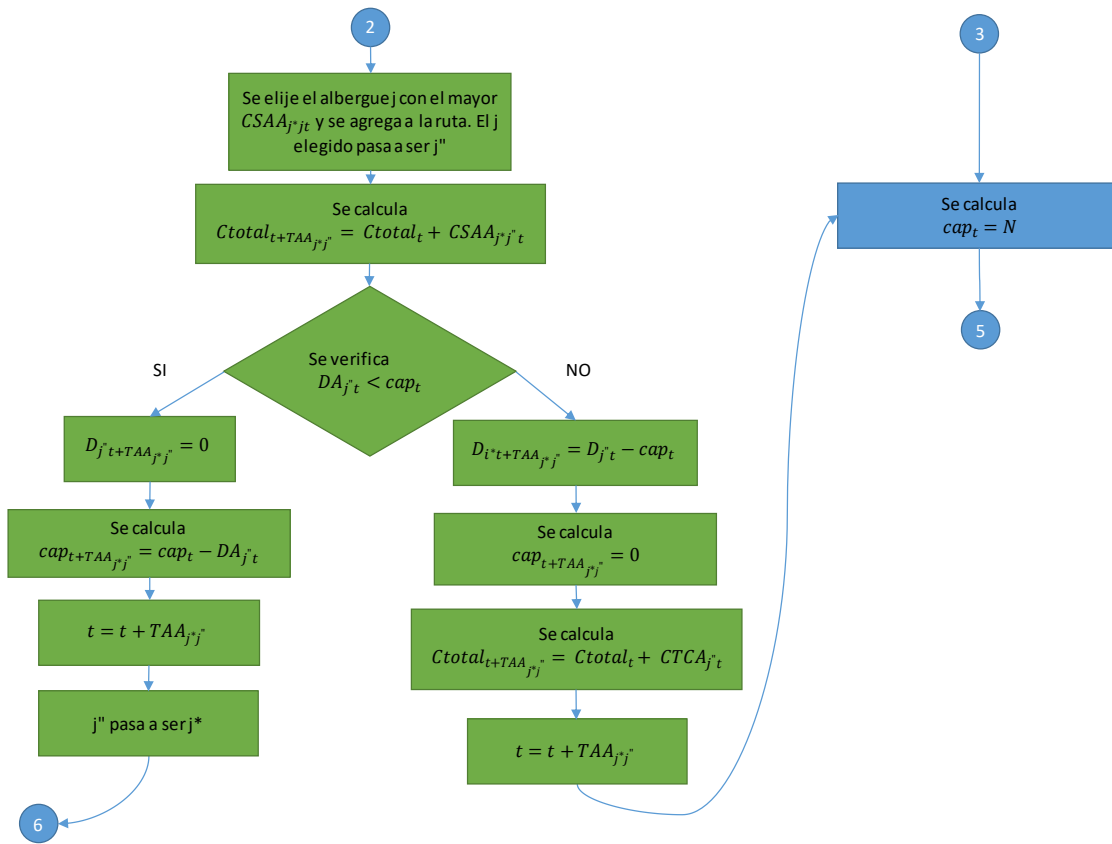
DA_{jt} = Demanda del albergue j que será satisfecha en el tiempo t [Personas].

Gráfico 7. Heurístico de enrutamiento minimizando costos sociales.



Continuación. Heurístico de enrutamiento minimizando costos sociales.





El gráfico 6 describe el heurístico de enrutamiento donde cada decisión que se tome aumenta el costo total el cual es calculado como la suma de los costos sociales. La parte del diagrama que se encuentra en color verde describe las decisiones de enrutamiento entre albergues, y el área azul, la decisión que culmina con la ruta.

10. APLICACIÓN DE LOS MODELOS EN UN CASO DE ESTUDIO: TULUÁ

Los modelos planteados anteriormente pretenden ser considerados como una herramienta de apoyo en la toma de decisiones de los organismos de socorro. Esta parte del trabajo de investigación tiene el propósito de mostrar los resultados bajo un escenario planteado con características de inundaciones repentinas presentes en el municipio de Tuluá en departamento del Valle del Cauca.

El municipio de Tuluá se encuentra ubicado al suroccidente Colombiano, en el centro del Departamento del Valle del Cauca y cuenta con una población aproximada de 200.000 habitantes. La extensión territorial total del municipio es de 910,55 Km² de los cuales el 98,78% corresponde al sector Rural y 1,22 % al sector urbano. Este municipio es atravesado de sur a norte por el Río Tuluá, y su núcleo urbano se encuentra entre el valle que conforman este río y el Río Morales.

Las amenazas por inundación en el municipio de Tuluá se producen en temporada de invierno, por el desbordamiento del Río Tuluá, afectando los barrios en la zona urbana: Tomas Uribe Uribe, La Trinidad, Siete de Agosto, San Antonio, La Inmaculada, Villa Nueva, La Holanda, Casa Huertas, Portales del Río. El Río Morales afectando los barrios de: Urbanización la Villa, El Bosque, Santa Rita del Río, Aguaclara (Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastre, 2012)

Para alimentar el modelo se necesitan datos demográficos de las zonas afectadas. En la búsqueda de información se consultaron datos de las páginas del DANE, la cámara de comercio y la Alcaldía de Tuluá. El resultado de la búsqueda fue un consolidado de la cantidad de personas que se encuentran el SISBEN, estos datos fueron los utilizados ya que se muestra la población por barrio y además haciendo una comparación del boletín del DANE del 14 de septiembre de 2010 sobre la proyección de habitantes en el casco urbano respecto al censo de 2005, el total varía un 4.26%. Datos de las otras fuentes consultadas no presentaban clasificación por barrio.

Tabla 11. Información demográfica.

Zona afectada	Población (personas)
Aguaclara	20961
Casa Huertas	40
San Antonio	3669
El Bosque	1473
La Inmaculada	2516
La Trinidad	1165
Nueva Holanda	114
Portales Del Río	2450
Santa Rita Del Río	2073
Siete De Agosto	1077
Tomas Uribe Uribe	1701
Villa Del Río	52
Villa Nueva	1024
Total	38315

Fuente: Alcaldía de Tuluá (2017)

Las áreas de los albergues fueron calculadas en QGIS seleccionando las edificaciones con un polígono. Con esto se estableció la capacidad en personas teniendo en cuenta un factor de 3.5 metros cuadrados por persona, esto basados en la información del Fondo Nacional de Calamidades (2011)

Tabla 12. Capacidad de albergues.

Albergue	Área (m2)	Capacidad (personas)
Institución Educativa Moderna de Tuluá	32502	9286
Institución Educativa Gimnasio del Pacifico	39747	11356
Institución Educativa Juan María Céspedes	1142	326
Institución Educativa Alfonso López Pumarejo	2280	651
Institución Educativa de Occidente	19585	5596
Institución Educativa Julia Restrepo	5193	1484
Institución Educativa Técnica Industrial Carlos Sarmiento Lora	12847	3671
Institución Educativa Aguaclara	1564	447
Institución Educativa María Antonia Ruíz	4313	1232
Coliseo cubierto Benicio Echeverry	2280	651
Coliseo de Ferias	37766	10790

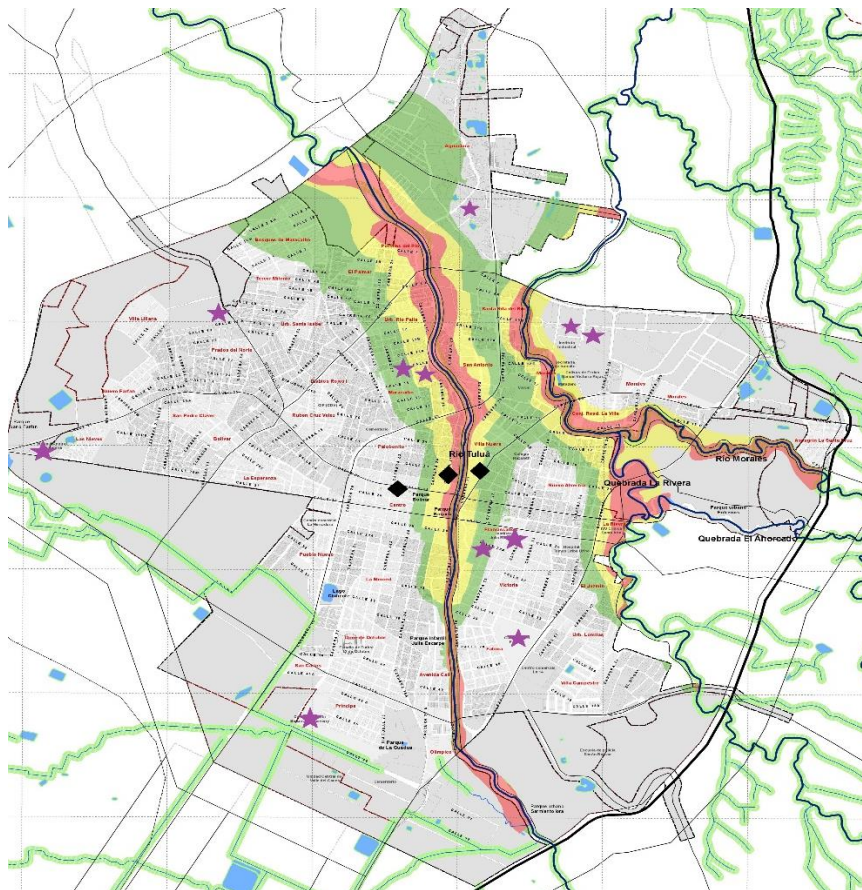
Fuente: Los autores.

Los costos de transporte se tomaron de la misma fuente del escenario de prueba. Los costos de privación se encuentran en el Anexo 2.

10.1 RESULTADO DE LOCALIZACIÓN

Teniendo en cuenta que Tuluá cuenta con tres instalaciones que pueden servir como centro de acopio de los suministros humanitarios (Consejo municipal de gestión del riesgo de desastres, 2012) pero de los cuales 2 se consideran en zona de inundación, como se ve en la ilustración. Por tal razón, pretende realizar dos escenarios donde el primero incluya los tres centros de distribución y otro que considere solo uno. Cada escenario fue resultado en AMPL con un tiempo de ejecución promedio de 44 segundos.

Ilustración 9. Mapa de riesgos de Tuluá.



	Riesgo bajo	◆	Centros distribución
	Riesgo medio	★	Albergues
	Riesgo alto		

Primer escenario: Se cuenta con tres centros de distribución para abastecer los albergues

Tabla 13. Proporción de personas que se dirigen a los albergues: Primer escenario.

	I.E. Moderna de Tuluá	I.E. Gimnasio	I.E. Alfonso López	I.E. Julia Restrepo	I.E. Carlos Sarmiento	I.E. Aguacilara	Coliseo cubierto	Coliseo de ferias
<i>Aguacilara</i>	30,38%				16,02%	2,12%		51,48%
<i>Casa Huertas</i>			100%					
<i>San Antonio</i>		64,19%		35,81%				
<i>El Bosque</i>		100%						
<i>La Inmaculada</i>		100%						
<i>La Trinidad</i>		100%						
<i>Nueva Holanda</i>				100%				
<i>Portales del río</i>	100%							
<i>Santa Rita del río</i>		84,95%			15,05%			
<i>Siete de Agosto</i>	43,36%		56,64%					
<i>Tomás Uribe Uribe</i>		100%						
<i>Villa del río</i>				100%				
<i>Villa nueva</i>		37,50%					62,50%	

Este modelo determinó abrir 8 albergues, que van a ser abastecidos por tres centros de distribución y que garantizan que se satisfaga toda la demanda.

Ilustración 10. Asignación de albergues a zonas afectadas: Primer escenario.



Tabla 14. Cantidad de kits enviados desde los CD hacia los Albergues: Primer escenario.

	I.E. Moderna de Tuluá	I.E. Gimnasio	I.E. Alfonso López	I.E. Julia Restrepo	I.E. Carlos Sarmiento	I.E. Aguaclara	Coliseo cubierto	Coliseo de ferias
C1		2271			734			2158
C2				296		89		
C3	1857		130				128	

Ilustración 11. Asignación de centros de distribución a albergues: Primer escenario.

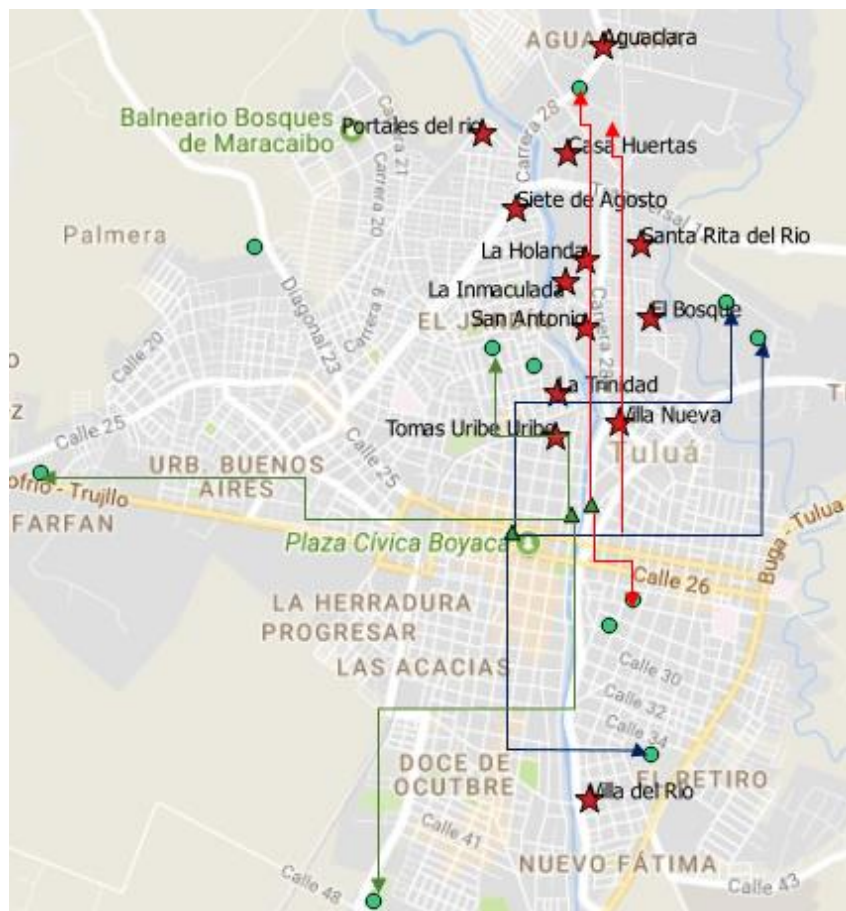


Tabla 15. Costos sociales: Primer escenario.

Tipo de costo	COP
Costo total de transporte desde las zonas afectadas hasta los albergues.	\$ 15 049 961.84
Costos fijos de adecuación de albergues.	\$ 215 593 000
Costo total de transporte desde los centros de distribución hasta los albergues.	\$ 2 789 928.3
Costo total de privación	\$ 92 339 195.35
Costo social	\$ 325 772 085.5

Fuente: Los autores.

Segundo escenario: Se cuenta con un centro de distribución para abastecer los albergues

Tabla 16. Proporción de personas que se dirigen a los albergues: Segundo escenario.

	<i>I.E. Moderna de Tuluá</i>	<i>I.E. Gimnasio</i>	<i>I.E. Julia Restrepo</i>	<i>I.E. Carlos Sarmiento</i>	<i>I.E. María Antonia Ruz</i>	<i>Coliseo cubierto</i>	<i>Coliseo de ferias</i>
<i>Aguaclara</i>	4,21%	37,25%	7,06%				51,48%
<i>Casa Huertas</i>	100%						
<i>San Antonio</i>	48,76%				33,52%	17,72%	
<i>El Bosque</i>		100%					
<i>La Inmaculada</i>	100%						
<i>La Trinidad</i>				100%			
<i>Nueva Holanda</i>	100%						
<i>Portales del río</i>	100%						
<i>Santa Rita del río</i>		100%					
<i>Siete de Agosto</i>				100%			
<i>Tomás Uribe Uribe</i>	16,05%			83,95%			
<i>Villa del río</i>	100%						
<i>Villa nueva</i>	100%						

Este modelo determinó abrir 7 albergues, que van a ser abastecidos por un centro de distribución, garantizando que se cumpla toda la demanda.

Ilustración 12. Asignación albergues a zonas afectadas: Segundo escenario.

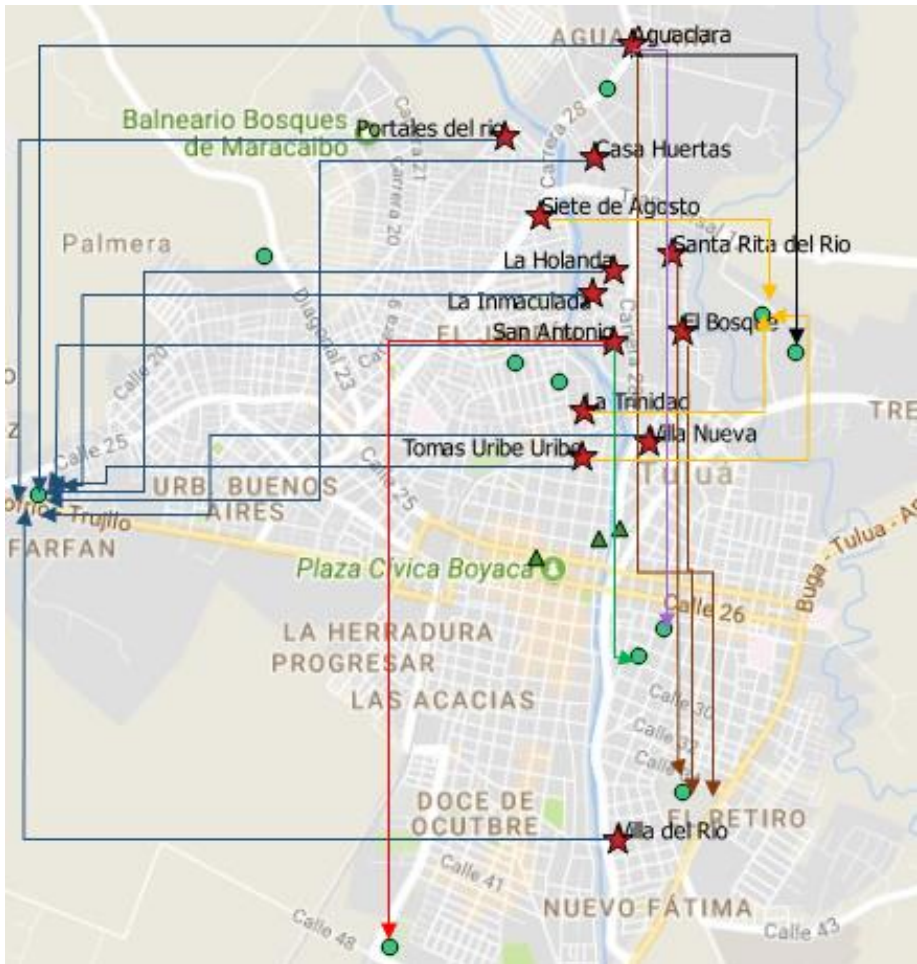


Tabla 17. Cantidad de kits enviados desde los CD hacia los Albergues: Segundo escenario.

	<i>I.E. Moderna de Tuluá</i>	<i>I.E. Gimnasio</i>	<i>I.E. Julia Restrepo</i>	<i>I.E. Carlos Sarmiento</i>	<i>I.E. María Antonia Ruiz</i>	<i>Coliseo cubierto</i>	<i>Coliseo de ferias</i>
C1	1828	2271	296	734	246	130	2158

Ilustración 13. Asignación de centros de distribución a albergues: Segundo escenario.

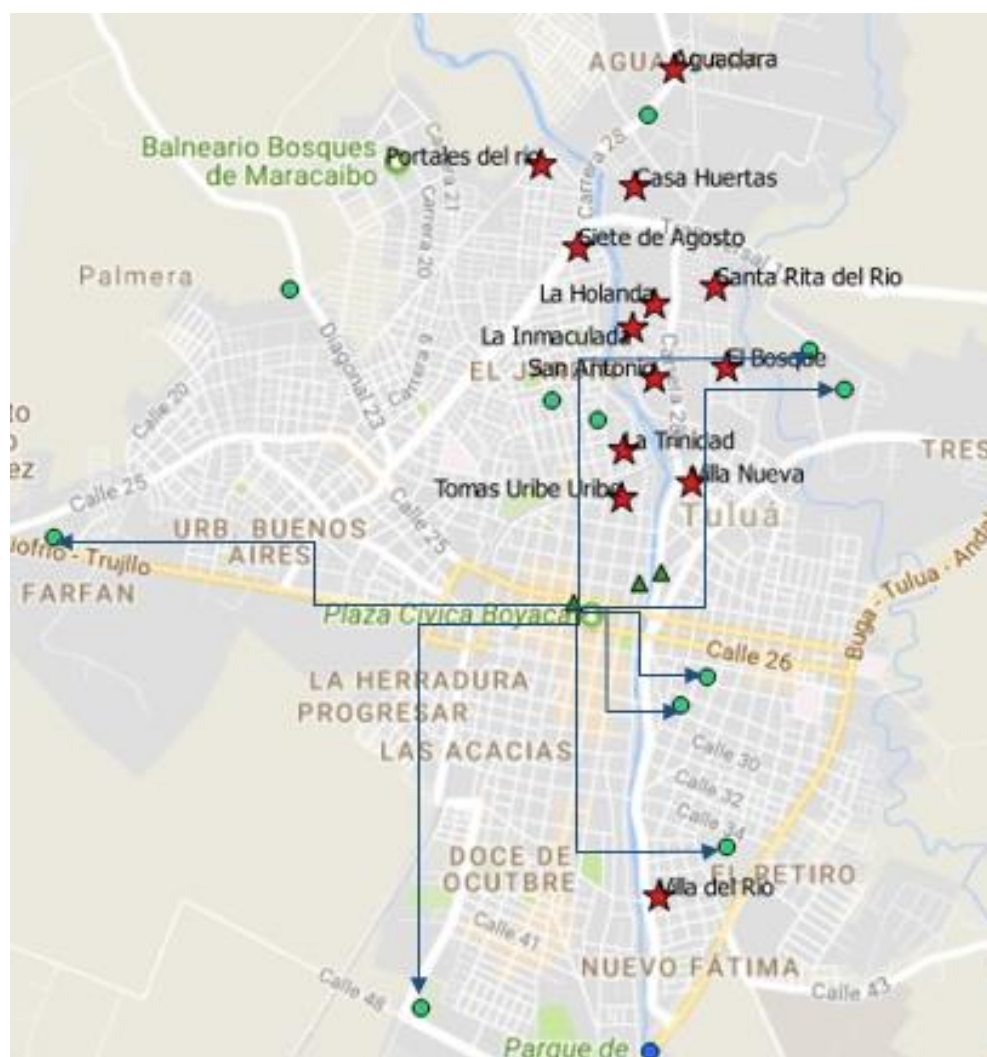


Tabla 18. Costos sociales: Segundo escenario.

Tipo de costo	COP
Costo total de transporte desde las zonas afectadas hasta los albergues.	\$ 21 435 039.1
Costos fijos de adecuación de albergues.	\$ 217 156 800
Costo total de transporte desde los centros de distribución hasta los albergues.	\$ 8 481 275.3
Costo total de privación	\$ 144 964 549
Costo social	\$ 392 037 663,4

Fuente: Los autores.

La diferencia de \$ 66.265.578 entre distribuir desde un solo centro de distribución y hacerlo a través de los tres radica esencialmente en los costos de privación pues, aun cuando dos de los tres centros se encuentren en una zona de alto riesgo, enviar desde los tres de manera simultánea permitiría una atención más rápida, es decir, los afectados pasan menos tiempo privados de sus necesidades básicas.

Cabe resaltar que los costos de privación en ambos resultados representan más del 25% de los costos sociales, ratificando la importancia de cuantificar el sufrimiento humano a la hora de tomar este tipo de decisiones. Otros costos importantes son los costos fijos, que tienen alto impacto por el hecho de garantizar que se escoja un albergue fuera de la zona de riesgo de inundación, pero que no muestran mucha variación en los dos escenarios. Los demás costos no tienen variaciones tan significativas por lo cual deja en evidencia que para este caso la decisión de distribuir suministros desde los tres o un centro de distribución es la que hace que aumenten o disminuyan los costos de privación, y dependerá exclusivamente de la situación específica en la que se desarrolle la inundación.

10.2 RESULTADO DE ENTREGA DE SUMINISTRO

Con los resultados obtenidos del modelo de localización, se procede a seguir los pasos del heurístico para generar la ruta en la entrega de suministros. En este caso solo se va a dar solución al primer escenario, ya que se consideran dos de los tres centros de distribución no aptos para cumplir su función.

Ilustración 14. Solución entrega de suministro.

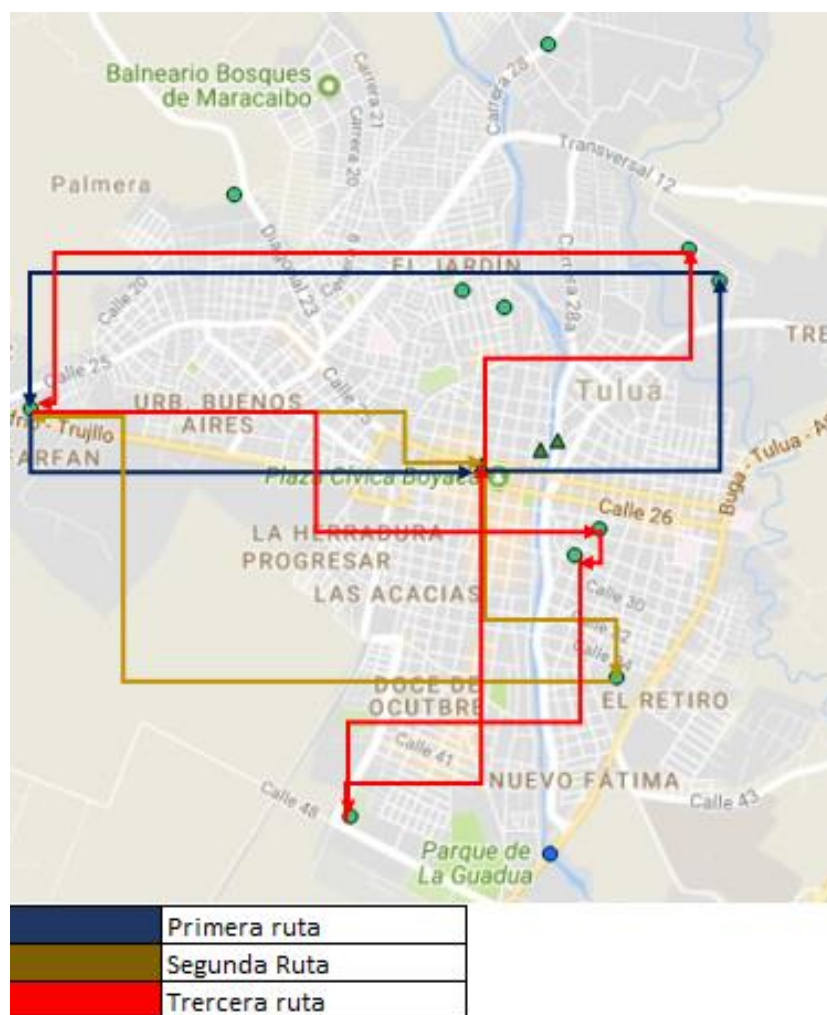


Tabla 19. Costos de entrega de suministros.

Costo de transporte	\$ 12,378,129.40
Costo de privación	\$ 339,271,277.52
Costo social	\$ 351,649,406.93
Tiempo de recorrido	0.932 horas

El modelo heurístico toma como criterio el tiempo de viaje entre nodos, donde 0,932 representa el viaje total de la flota de transporte, dicha flota cuenta con una capacidad para atender a 15000 personas en cada viaje

El costo de transporte representa un 4% de los costos sociales, siendo el 96% restante representado por los costos de privación. El valor de estos últimos es generado por la cantidad de personas que son atendidas en cierto instante de tiempo, mostrando que el sufrimiento de las personas es el factor de más impacto en el ruteo de vehículos para la entrega de suministros humanitarios.

11. CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo permitió encontrar manuales y guías con información pertinente a la atención de desastres, adelantados por entidades como la UNGRD, la cruz roja y la defensa civil, mostrando las actividades que cada una de estas ha llevado a cabo. También se pudo evidenciar que estas entidades encargadas de la gestión de desastres han tenido avances importantes en materia de presupuesto, como la inversión de la UNGRD de \$ 68.747 millones para el 2016, también se mostró una mejora en la atención a desastres, como el aumento del 44% que tuvo la defensa civil en el 2016 con respecto al 2013. Así que deja de manifiesto el interés de estas por mejorar la gestión tanto en su cobertura como en su calidad, esto permite pensar en la oportunidad que hay desde la perspectiva académica de intervenir con propuestas estratégicas, para mejorar en la atención en caso de desastres.

A través de la revisión bibliográfica se encontraron características dentro de los problemas de logística humanitaria tales como la inestabilidad de la red y el sufrimiento de las personas, que los hace diferentes de los modelos de logística comercial. Estos últimos han sido comúnmente utilizados para dar solución a los problemas de atención a desastres. El escenario propuesto por los autores que realiza la comparación entre el modelo de logística comercial aplicado a la atención de desastres y el modelo con características propias de logística humanitaria que tiene características como los costos de privación y el riesgo, sirvió para mostrar que las decisiones que se obtuvieron en el modelo de logística comercial dan prioridad a aliviar el sufrimiento de las personas afectadas debido a que los costos de privación tienen una participación 35% sobre los costos sociales.

El heurístico de entrega de suministros integró los costos de privación como externalidad en la función objetivo donde también se incluyeron los costos de transporte. La prioridad en atención se le otorgó a aquellos albergues que tenían acogida mayor población y representaban un tiempo de transporte alto, ya que estos dos factores son variables en el total de los costos de privación. El sufrimiento de las personas es el factor más importante ya que después de la ocurrencia de un

evento desastroso, el tiempo de atención es crítico y la ayuda humanitaria se debe realizar con la mayor rapidez posible.

Los modelos de localización y entrega de suministros sirven de apoyo estratégico y operacional para las entidades encargadas de la atención a desastres. Para ello se requiere que estas realicen una efectiva recolección de información que permita abastecer los modelos y obtener resultados acordes a la situación presentada.

Los modelos propuestos en este trabajo abren paso a realizar investigaciones más profundas que incluyan el despliegue de personal especializado para la atención a las personas afectadas; contar también con los tiempos de alistamiento y descargue de los suministros para el modelo de distribución además de considerar una división en la flota de transporte que permita atender varios albergues.

12. BIBLOGRAFÍA

- Alcaldía de Tuluá. (2017). *Alcaldía de Tuluá*. Obtenido de <http://www.tulua.gov.co/poblacion-sisben-barrios/>
- Altay, N., & Green III, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research* Vol. 175, 475-493.
- Banco Mundial. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia*. Bogotá D.C.
- Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction* Vol.24 , 485-498.
- Camacho, J., & González, E. (2013). Un modelo para enviar, recibir y distribuir ayuda en especie después de haber ocurrido un desastre natural. *CELERINET*, 57-63.
- Cantillo, V., Serrano, I., Macea, L., & Holguin-Veras, J. (2017). Discrete approach for assesing deprivation cost in humanitarian relief operation. *Socio_economic planning sciences* Vol. 30, 1-14.
- Celik, E. (2017). A cause and effect relationship model for location of temporary shelters in disaster operations management. *International Journal of Disaster Risk Reduction* Vol. 22, 257-268.
- Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastre. (2012). *Estrategia a la respuesta de emergencias municipio de Tuluá Valle del Cauca*. Tuluá.
- Consejo municipal de gestion del riesgo de desastres. (2012). *Plan municipal de gestión del riesgo de Tuluá Valle del Cauca*. Tuluá.
- Cotes, N. (2015). *A facility location model for humanitarian relief logistics involvig deprivation cost (Tesis Maestria)*. Barranquilla: Universidad del Norte.
- Decker, M. (2014). *Last mile logistics for disaster relief supply chain management*. Hamburgo: Anchor Academic Publishing.
- Defensa Civil Colombiana. (2018). *Informe de Gestión 2017*. Bogotá.
- El proyecto esfera. (2004). *El proyecto esfera: Carta humanitaria y normas mínimas de repuesta humanitaria en casos de desastre*. Ginebra, Suiza.
- Fondo nacional de calamidades. (2011). *Compendio de Instructivos a Enero 31 de 2011 para Acceder a Recursos del Fondo Nacional de Calamidades*.

- Gaytan Iniestra, J., & Arroyo López, P. (2012). Un modelo bi-criterio para la ubicación de albergues, como parte de un plan de evaluación en caso de inundaciones. *Ingeniería Industrial*, 35-56.
- Holguín-Veras, J., & et. al. (2012). On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. *Journal of Operations Management* Vol. 30, 494-506.
- Holguín-Veras, J., & et. al. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics model. *Journal of Operations Management* Vol. 31, 262-280.
- Kilci, F., & et. al. (2015). Locating of temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey. *European Journal of Operational Research* Vol. 243, 323-332.
- López, J. (2012). *Propuesta de planeación logística para la provisión de alojamiento, en la atención de desastres por inundaciones, que pueda ser utilizada en el departamento del atlántico*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Pérez-Galarce, F., & et. al. (2017). An optimization model for the location of disaster refuges. *Socio-Economic Planning Sciences* Vol. 59, 56-66.
- Reyes, L. S. (2015). *Localización de instalaciones y ruteo de personal especializado en logística humanitaria post-desastre - caso inundaciones*. Chía: Universidad La Sabana.
- Rivera-Royero, D., & et. al. (2016). A dynamic model for disaster response considering prioritized demand points. *Socio-Economic Planing Sciences* Vol. 55, 59-75.
- Secretarial de planeación departamental. (2011). *La gestión del riesgo en el ordenamiento territorial municipal del Valle del Cauca*. Cali.
- Sociedad nacional de la Cruz Roja Colombiana. (2008). *Manual nacional para el manejo de albergues temporales*.
- UNGRD. (2015). *Manual de logística para la atención a emergencias/Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres*. Bogotá D.C.
- UNGRD. (2017). *Informe de Gestión 2016*. Bogotá: Imprenta Nacional.
- USAID. (2008). *Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades -EDAN*.
- Wei, L., Li, W., Li, K., Liu, H., & Cheng, L. (2012). Decision support for urban shelter locations based on covering model. *Procedia Engineering* Vol. 43, 59-64.

Xu, J., Yin, X., Chen, D., An, J., & Nie, G. (2016). Multi-criteria location model of earthquake evacuation shelters to aid in urban planning. *International Journal of Disaster Risk Reduction* Vol. 20, 51-62.

Anexo 1. Costos de privación del escenario de prueba

COSTOS DE PRIVACIÓN (\$/Persona)												
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Z1	2145,95	3849,75	4697,35	8059,29	4273,90	6383,99	8892,70	4697,35	1289,74	5963,40	6383,99	5542,09
Z2	1289,74	2999,29	3849,75	7223,05	5120,08	7223,05	9723,31	5542,09	2145,95	5120,08	7223,05	6383,99
Z3	860,55	860,55	1718,21	5120,08	7223,05	9308,36	11787,59	7641,52	2572,98	2999,29	9308,36	8476,35
Z4	1289,74	1289,74	2999,29	4697,35	7641,52	9723,31	12198,35	8059,29	3849,75	2572,98	9723,31	8892,70
Z5	2145,95	2145,95	3849,75	3849,75	8476,35	10551,11	13017,80	8892,70	4697,35	2572,98	10551,11	9308,36
Z6	2999,29	2145,95	3849,75	3849,75	9308,36	11376,13	13834,49	9723,31	4697,35	2572,98	11376,13	10551,11
Z7	3849,75	2145,95	3849,75	3849,75	10137,56	12198,35	14648,42	10551,11	4697,35	2572,98	13017,80	12198,35
Z8	3849,75	5542,09	6383,99	9723,31	2572,98	4697,35	7223,05	2999,29	2999,29	7641,52	4697,35	3849,75
Z9	4273,90	5963,40	6803,88	10137,56	2145,95	4273,90	6803,88	2572,98	3424,88	8059,29	4273,90	3424,88
Z10	5120,08	6803,88	7641,52	10963,97	1289,74	3424,88	5963,40	2572,98	4273,90	8892,70	3424,88	2572,98
Z11	5542,09	7223,05	8059,29	11376,13	1289,74	3424,88	5963,40	3424,88	5120,08	9723,31	3424,88	1718,21
Z12	5963,40	7641,52	8476,35	11787,59	1718,21	2999,29	5542,09	3849,75	5542,09	10137,56	2999,29	1289,74
Z13	6383,99	8059,29	8892,70	12198,35	2145,95	2572,98	5120,08	4273,90	5963,40	10551,11	2572,98	860,55
Z14	6803,88	8476,35	9308,36	12608,43	2572,98	2999,29	5542,09	4697,35	6383,99	10963,97	2999,29	1289,74
Z15	7223,05	8892,70	9723,31	13017,80	2999,29	2572,98	5120,08	5120,08	6803,88	11376,13	2572,98	2572,98
Z16	7223,05	8892,70	9723,31	13017,80	2572,98	1289,74	3849,75	4697,35	6383,99	10963,97	2145,95	430,64
Z17	8059,29	9723,31	10551,11	13426,49	3424,88	1289,74	3849,75	5542,09	7223,05	11787,59	2999,29	430,64
Z18	8059,29	9723,31	10551,11	13426,49	3849,75	1718,21	2572,98	5963,40	7641,52	12198,35	3424,88	1718,21
Z19	9308,36	10963,97	11787,59	14648,42	4273,90	2145,95	6383,99	1289,74	8892,70	13426,49	3849,75	2999,29

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	3424,88	2572,98	2145,95	4697,35	7641,52	9723,31	12198,35	8059,29	2145,95	2572,98	9723,31	8892,70
C2	8059,29	9723,31	10551,11	13834,49	1718,21	2145,95	2999,29	2145,95	7223,05	11787,59	430,64	2999,29

Anexo 2. Costos de privación del caso de estudio

COSTOS DE PRIVACIÓN (\$/PERSONA)											
	I.E. Moderna de Tuluá	I.E. Gimnasio	I.E. Juan María Céspedes	I.E. Alfonso López Pumarejo	I.E. de Occidente	I.E. Julia Restrepo	I.E. Carlos Sarmiento Lora	I.E. Aguacalara	I.E. María Antonia Ruíz	Coliseo cubierto	Coliseo de Ferias
Aguacalara	4016.8	1776.85	3675.75	3729.73	4146.54	1388.35	3864.95	120.38	1452.96	2767.47	828.39
Casa Huertas	3748.52	1516.86	3407.11	3461.15	3878.4	1127.54	3596.51	168.73	1186.59	2497.86	663.1
San Antonio	3319.66	1082.48	2977.67	3031.8	3449.76	692.76	3167.4	600.22	751.37	2066.87	434.94
El Bosque	3351.51	1092.35	3009.56	3063.69	3481.59	706.19	3199.27	604.25	778.92	2098.88	275.53
La Inmaculada	3432.03	1202.62	3090.19	3144.3	3562.07	813.89	3279.83	488.34	869.25	2179.8	506.19
La Trinidad	1311.5	1872.22	93.24	201.95	847.5	2235.79	483.99	3495.53	2162.37	1351.48	2941.84
Nueva Holanda	3487.46	1250.07	3145.69	3199.79	3617.47	860.23	3335.29	430.58	920.47	2235.5	475.54
Portales Del Rio	1393.55	1608.32	591.35	534.8	637.78	1224.76	746.05	272.14	1271.41	1935.65	860.17
Santa Rita Del Rio	3531.12	1276.93	3189.42	3243.51	3661.11	889.76	3378.99	422.3	959.92	2279.38	374.53
Siete De Agosto	1365.2	2339.07	394.33	355.22	667.18	2701.97	579.36	3959.39	2628.68	1769.36	3406.72
Tomas Uribe Uribe	1295.74	1763.71	190.22	277.04	897.38	2127.43	547.11	3387.71	2053.98	1248.19	2833.79
Villa Del Rio	1456.18	832.9	1802.51	1856.9	2276.8	442.47	1993.13	846.97	508.56	887.49	413
Villa Nueva	1600.77	195.49	2741.84	2796.03	3214.38	515.39	2931.75	1781.35	438.87	1830.2	1235.59