

## Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le de crédito al documento y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

**BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA**  
UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
Chía - Cundinamarca

# **Localización de instalaciones y ruteo de personal especializado en logística humanitaria post-desastre - caso inundaciones**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de

**Magíster en Gerencia de Operaciones**  
(Modalidad de investigación)

Lorena Silvana Reyes Rubiano

Director

Carlos Leonardo Quintero Araújo, MSc.

Universidad de La Sabana

Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas

Chía, Colombia

2015

**Resumen:**

La cadena de suministro en la logística humanitaria puede describirse como una red de personal voluntariado y especializado que interactúa con un conjunto de bienes y servicios, esto con el propósito de satisfacer la demanda de la población afectada por una inundación repentina. Este trabajo se enfoca en determinar propuestas de solución para el problema de localización de un punto de distribución y múltiples albergues considerando el riesgo de inundación asociado a la zona, además del problema de ruteo del personal especializado que permita aliviar las calamidades médicas y psicológicas entre otras presentes en la población afectada en una situación post-desastre. Dichas propuestas consideran la aplicación de investigación de operaciones como herramienta de solución. El objetivo de este artículo es proporcionar un modelo funcional para diseñar de manera estratégica la red instalaciones, además coordinar el suministro de servicios requeridos por la población en el menor tiempo posible. Se toma como caso de estudio la inundación que sufrió el municipio de Santa Lucía en el departamento del Atlántico, Colombia en 2010.

**Palabras clave:** Logística humanitaria, localización de albergues y punto de distribución, área de riesgo, ruteo de personal.

**Abstract:**

The humanitarian logistics supply chain can be described as a network of volunteer staff and that interact with a set of goods and services, this with the purpose of satisfying the demand of the population affected by a sudden flood. This work focuses on determining solutions to the problem of locating a point of distribution and multiple shelters whereas flood risk associated to the area, also to the problem of routing personnel, allowing to relieve the psychological and medical calamities among other present in the population affected in a post-disaster situation; This formulation is made by applying operations research as a solution tool. The aim of this article is to provide a functional model to strategically design network facilities, in addition to coordinating the provision of services required by the population in the shortest possible time. The flood that the town of Santa Lucia, Colombia suffered in 2010 is taken as a case study.

**Keywords:** Humanitarian logistic, location of shelters and a distribution point, risk area, routing of staff.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	6
LISTA DE TABLAS.....	8
GLOSARIO.....	9
ACRÓNIMOS .....	10
INTRODUCCIÓN .....	11
1.1    Enfoque del problema .....	11
1.2    Objetivos .....	13
1.3    Características de las propuestas de solución .....	14
1.4    Relevancia del problema .....	14
1.4.1    Actuación de la ética en la gestión post-desastre .....	14
1.5    Conclusiones .....	17
JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
2.1    Red de instalaciones .....	21
2.2    Asignación y distribución de ayuda humanitaria .....	22
2.3    Conclusiones .....	23
2.4    Resultados de la investigación .....	23
ESTADO DEL ARTE.....	24
3.1    Localización de instalaciones .....	24
3.2    Asignación de recursos.....	27
3.3    Distribución de recursos.....	27
3.4    Conclusiones .....	30
3.5    Resultados de la investigación .....	31
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	32
4.1    Supuestos para la localización de instalaciones .....	32
4.1.1    Definición del conjunto de zonas .....	33
4.2    Supuestos para el ruteo de personal especializado .....	34
4.2.1    Definición de las calamidades .....	34
4.2.2    Definición del personal (unidades móviles).....	36
4.3    Conclusiones .....	37

MODELAMIENTO MATEMÁTICO Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN .....	38
5.1    Propuesta 1: Modelo jerárquico .....	39
5.1.1    Etapa 1: Modelo de localización .....	39
Notación .....	39
Modelo .....	41
5.1.2    Etapa 2: Modelo de ruteo de personal especializado.....	42
Notación .....	42
Modelo .....	43
5.2    Propuesta 2: Modelo integral .....	44
Notación .....	45
Modelo .....	46
5.3    Propuesta 3: Location-Allocation-Routing .....	47
Notación .....	48
Modelo .....	49
5.4    Conclusiones .....	52
RESULTADOS COMPUTACIONALES Y CASO DE ESTUDIO.....	53
6.1    Caso de estudio .....	53
6.2    Ambiente computacional.....	54
6.3    Escenario de base .....	54
6.3.1.    Propuesta 1: Modelo jerárquico .....	56
6.3.2.    Propuesta 2: Modelo integral .....	58
6.3.3.    Discusión.....	61
6.4    Experimentación.....	62
6.4.1    Escenario: Modelo Jerárquico .....	63
6.4.2    Escenario: Modelo Integral .....	67
6.5    Análisis de resultados.....	70
6.6    Conclusiones .....	72
6.7    Resultados de la investigación .....	73
ALGORÍTMO DE MEJORA.....	74
7.1    Algoritmo de Lin y Kernighan .....	74
7.1.1    Estructura general del algoritmo .....	74
7.2    Mejora de rutas para el modelo jerárquico.....	75

7.3	Conclusiones .....	78
CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN.....		79
8.1	Conclusiones .....	79
8.2	Perspectivas de investigación.....	80
REFERENCIAS .....		82
Anexo 1 .....		87
Anexo 2 .....		88
	Capacidad de atención del personal: .....	88
Anexo 3 .....		89
Anexo 4 .....		90
Anexo 5 .....		92
Anexo 6 .....		94

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Flujos presentes en la cadena de suministro en caso de inundaciones. Creación propia del autor.....	12
Figura 2 Número de desastres reportados en el mundo. Adaptado de: (Centre for research on the epidemiology of disaster -CRED, 2014).....	18
Figura 3 Número de inundaciones reportadas en el mundo. Adaptado de: (Philippe Rekacewicz, Emmanuelle Bournay, 2012).....	19
Figura 4 Proporción de desastres naturales reportados en el mundo para el 2012. Adaptado de: (IFCR, 2012). ....	19
Figura 5 Proporción de trabajos realizados por año. Creación propia del autor .....	24
Figura 6 Aplicación de los métodos de localización.....	25
Figura 7 Municipio de Santa Lucía, Departamento del Atlántico.....	53
Figura 8 Frecuencia de inundación por municipio. Fuente: (PNUD - UNGRD, 2012). ....	54
Figura 9 Representación gráfica de la ubicación de las sub-zonas afectadas por la inundación y las 51 zonas potenciales para abrir albergue o punto de distribución.....	56
Figura 10 Ubicación de los múltiples albergues y punto de distribución.....	57
Figura 11 Rutas definidas por el modelo jerárquico para cada unidad móvil asignada. ....	57
Figura 12 Rutas definidas por el modelo integral para UMM1, UMM2, UMM3, UMM4, UMM5 Y UME1.....	59
Figura 13 Rutas definidas por el modelo integral para UME2, UME3, UME4, UME5, UMP1 Y UMP2. ....	59
Figura 14 Rutas definidas por el modelo integral para UMP3, UMP5, UMP6, UMP7, UMP10, UMP12 Y UMP14.....	60
Figura 15 Modelo Jerárquico. Valor de la F.O. para el escenario base, 1 y 2.....	63
Figura 16 Modelo Jerárquico. Porcentaje de alivio para el escenario base, 1 y 2.....	64
Figura 17 Modelo Jerárquico. Valor de la F.O. para el escenario 3, 4 y 5.....	65
Figura 18 Modelo Jerárquico. Porcentaje de alivio para el escenario 3, 4 y 5.....	65
Figura 19 Modelo Jerárquico. Valor de la función objetivo para escenarios 8, 9 y 10.....	66
Figura 20 Modelo Jerárquico. Porcentaje de alivio promedio para los escenarios 8, 9 y 10.....	66

Figura 21 Modelo Integral. Valor de la F.O. para el escenario base, 1 y 2 .....	67
Figura 22 Modelo Integral. Porcentaje de alivio para el escenario base, 1 y 2 .....	68
Figura 23 Modelo Integral. Valor de la F.O. para el escenario 3, 4 y 5 .....	68
Figura 24 Modelo Integral. Porcentaje de alivio para el escenario 3, 4 y 5 .....	69
Figura 25 Modelo Integral. Valor de la F.O. para el escenario 8, 9 y 10 .....	70
Figura 26 Modelo Integral. Porcentaje de alivio para el escenario 8, 9 y 10 .....	70
Figura 27 Porcentaje de alivio promedio en cada escenario. ....	71
Figura 28 Ruta de UMM1 a mejorar. ....	75
Figura 29 Ruta para UMM1 definida por el algoritmo. ....	76
Figura 30 Ruta de UMM5 a mejorar. ....	76
Figura 31 Ruta para UMM5 definida por el algoritmo. ....	77



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de trabajos relacionados a la localización de puntos de distribución y albergues. ....	26
Tabla 2 Clasificación de trabajos relacionados con la asignación y distribución de recursos. ....	29
Tabla 3 Calamidades relevantes en una inundación. Elaboración propia del autor. (Alderman et al., 2012) .....	35
Tabla 4 Capacidad de alivio por unidad móvil.....	37
Tabla 5 Zonas afectadas por la inundación. Adaptado de: (Banco de la República de Colombia, 2011) .....	55
Tabla 6 Puntos potenciales para adecuar como Albergues o punto de distribución.....	55
Tabla 7 Unidades móviles consideradas en el modelo.....	55
Tabla 8 Resultados del modelo Jerárquico.....	58
Tabla 9 Resultados del modelo Integral.....	61
Tabla 10 Proporción de la población atendida para cada una de las propuestas. ....	62
Tabla 11. Escenarios para las propuestas .....	63
Tabla 12 Descripción estadística.....	72
Tabla 13 Comparación de medias. ....	72

## GLOSARIO

---

<b>Término</b>	<b>Significado</b>
Inundación	Cuando zonas usualmente secas se encuentran invadidas por agua.
Inundaciones súbitas o inundaciones repentinas	Son inundaciones que se caracterizan por el alto nivel del agua y la velocidad con la que atacan.
mortalidad	Indicador que determina el número de defunciones por lugar, intervalo de tiempo y causa.
morbilidad	Indicador que determina el número de personas o individuos considerados enfermos o víctimas de una enfermedad en un espacio y tiempo determinados.
Vulnerabilidad	La exposición de las personas a riesgos varía en función de su grupo social, sexo, origen étnico u otra identidad, edad y otros factores.
Pre- desastre	Etapa previa al desastre
Post- desastre	Etapa posterior al desastre.
Mitigación	Es el esfuerzo por reducir el impacto negativo del desastre.
Damnificados	Persona afectada por un desastre que ha sufrido daño o pérdida en sus bienes o familia.
Riesgo	La probabilidad de ocurrencia de una inundación en una zona determinada.
Calamidades	Enfermedad o accidente que aqueja a un individuo o a un grupo poblacional.
Instalaciones	Instalaciones vitales que respaldan los servicios esenciales de la sociedad.

---

## ACRÓNIMOS

BIRF	Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento	ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe	PMA	Programa Mundial de Alimentos
CFI	Corporación Financiera Internacional	PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
CINU	Centro de Información de las Naciones Unidas	PNUFID	Programa de las Naciones Unidas para la Fiscalización Internacional de Drogas
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación	PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
FIDA	Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola	UNCTAD	Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo
FMI	Fondo Monetario Internacional	UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
FNUAP	Fondo de Población de las Naciones Unidas	UNFCCC	Convención Marco sobre Cambio Climático
HABITAT	Centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos	UNHCHR	Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones	UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
JIFE	Junta Internacional de Fiscalización de Estupefacientes	UNIDIR	Instituto de las Naciones Unidas para la Investigación del Desarme
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional	UNU	Universidad de las Naciones Unidas
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica	UNV	Programa del Voluntariado de las Naciones Unidas
OIT	Organización Internacional del Trabajo	UPU	Unión Postal Universal
OMPI	Organización Mundial de la Propiedad Intelectual	USGG	Unidad nacional de gestión de Riesgos.

## CAPÍTULO 1

### INTRODUCCIÓN

Se habla de una inundación cuando zonas usualmente secas se encuentran invadidas por agua; existen dos posibles causas del porqué suceden este tipo de desastres, la primera razón está relacionada con los fenómenos naturales como lo son las lluvias torrenciales y las temporadas de lluvia, para la segunda causa se habla de las acciones del hombre que inducen en gran parte los desastres naturales; para este caso se puede hablar de la deforestación, daño de cuencas y eliminación de humedales, que contribuye a la intensidad de las inundaciones, los deslizamientos y las sequías, por otra parte el corte de manglares en la costa contribuye a la erosión coral generando tormentas y huracanes; el principal efecto que causa la mayoría de estos desastres es el “Desarrollo humano”, que junto a otros problemas causa la reducción de la capa de ozono generando el cambio climático (USAID/OFDA, 2008).

Además de lo dicho anteriormente una inundación puede ser el efecto secundario de otro desastre que ocurrió en la zona; sin embargo las inundaciones se pueden clasificar en dos tipos, inundaciones súbitas o repentinas e inundaciones progresivas o lentas, cada una de éstas tienen características específicas que varían de acuerdo a la zona de ocurrencia, es decir, el efecto de una inundación no es el mismo en una zona rural que en una zona urbana. Para este trabajo de grado se van a estudiar las inundaciones súbitas o repentinas en zonas urbanas, este tipo de inundaciones son causadas por lluvias, tormentas y huracanes, entre otros.

Las inundaciones súbitas se caracterizan por el alto nivel del agua y la velocidad con la que atacan, se estima que en unas pocas horas o algunos minutos la zona es completamente inundada; éstas pueden ser causadas por ruptura de presas, diques o lluvias torrenciales en zonas planas, este tipo de eventos no son posibles de detectar o pronosticar por lo que se le atribuye el mayor índice de mortalidad y morbilidad entre los desastres; una inundación puede arrastrar rocas, tumbar árboles y destruir infraestructuras generando así un gran número de muertes y lesiones de todo tipo. Las inundaciones sin excepción alguna, generan daños a la población, en la infraestructura y en el saneamiento de la zona; dando paso a la propagación de enfermedades y a la complejidad para ejecutar las operaciones de respuesta frente al desastre (Street, 2006).

Para la mitigación del impacto de los desastres algunas organizaciones como la Cruz Roja han desarrollado programas de capacitación a la población y a instituciones, paralelo a esto se han desarrollado una serie de protocolos y de lineamientos para gestionar la situación (IFRC, 2010), a pesar de estas medidas las inundaciones son el desastre natural que presenta el mayor número de vidas pérdidas y de población afectada (García G., 2002).

#### 1.1 Enfoque del problema

En el momento en que sucede un desastre de cualquier tipo, la población queda aislada y vulnerable a la aparición y propagación de enfermedades. Las inundaciones, son el desastre más frecuente en el mundo generando uno de los mayores daños, estos son superados por el efecto de un terremoto. De acuerdo a los datos suministrados por la EM-DAT, se estima que el 39% de los desastres reportados en el mundo se atribuye a las inundaciones.

Las pérdidas de vida de la población son causadas por la falta de asistencia de personal especializado; en el caso de situaciones de emergencia, el personal especializado es un recurso limitado en la gestión del post-desastre. Dicho personal especializado debe encargarse del alivio del sufrimiento y la seguridad de la población, pero para que estos operen de manera eficiente se debe garantizar el uso óptimo de los recursos a suministrar; realizar la operación de suministro de productos y de asistencia médica y psicológica resulta ser una operación compleja, debido a la incertidumbre de la información.

Usualmente la cadena de suministro comercial opera a través de una infraestructura definida, por el que circula un flujo de información, un flujo económico y un flujo físico con el fin de suplir una demanda conocida. En el caso de una situación de emergencia causada por una inundación súbita no existe una infraestructura debido a que fue destruida por el desastre, por lo que acceder a la información en situaciones de emergencia es un proceso complejo. Para la gestión de una situación post-desastre es necesario diseñar la red que permita estos tres tipos de flujo. A continuación se presenta una pequeña caracterización de los flujos requeridos en una situación de emergencia:



**Figura 1** Flujos presentes en la cadena de suministro en caso de inundaciones. Creación propia del autor.

Cada flujo tiene una complejidad asociada, para el caso del flujo económico en una situación de inundación, se asocia a los costos relacionados al saneamiento de la zona, a la atención continua de la población, a los daños tangibles e intangibles los cuales afectan drásticamente a la población, la economía de la zona y a los costos asociados a la compra de productos vitales. Usualmente las inundaciones súbitas destruyen la red de información de la zona, por lo que acceder a la información en tiempo real es un proceso complejo; esta situación hace que el flujo de información sea obstaculizado por la carencia de la red, implicando así la incertidumbre en la información. Para el caso del flujo físico se asocia al suministro de bienes y servicios el cual también es privado como efecto de la falta del flujo óptimo económico y de información.

En las inundaciones y en cualquier tipo de desastres se identifican dos grandes etapas, la etapa pre-desastre y la etapa post-desastre en donde cada una de éstas enmarca una serie de operaciones; para la etapa de pre-desastre se habla de las operaciones de preparación y planes de respuesta, para esta operación se habla de actividades relacionadas a simulacros y lineamientos frente a una inundación. La etapa post-desastre enmarca dos operaciones: mitigación y recuperación, para las operaciones de mitigación se habla del diseño de la red logística que permita una eficiente operación en términos de reducción del impacto del desastre, en el caso de la recuperación se habla de la reactivación de la población y de la zona (Caunhye, Nie, & Pokharel, 2012). La implementación y ejecución de las operaciones anteriormente nombradas permiten que la población tenga un mayor grado de resiliencia, permitiendo así reducir el impacto de la inundación repentina.

De acuerdo a la situación descrita anteriormente, los organismos de ayuda humanitaria necesitan establecer mecanismos de apoyo para la toma de decisiones, por lo cual en este trabajo de grado se definen las siguientes preguntas de investigación enmarcadas en la etapa post-desastre y en la operación de mitigación del impacto negativo de una inundación repentina:

¿Cómo solucionar el problema de localización y ruteo del personal especializado responsable de la atención post-desastres en el caso de inundaciones repentinas?

¿Cuál es la dinámica y qué factores interactúan en una zona que ha sido afectada por una inundación repentina?

¿A partir de la investigación de operaciones, cuál sería la estrategia que permite obtener un desempeño eficiente en la solución del problema de localización, asignación y programación del personal especializado en ayudas humanitarias?

¿Cómo evaluar el desempeño relacionado a la cadena de suministro de ayudas humanitarias, propuesta en la estrategia?

Estas preguntas son planteadas desde un punto de vista estratégico para la localización de los albergues y del punto de distribución, desde un punto de vista táctico y operativo definiendo la asignación y distribución del personal especializado, con el objetivo de tener un mínimo tiempo de viaje entre las locaciones garantizando simultáneamente tiempos de viaje reducidos.

## **1.2 Objetivos**

El objetivo general de este trabajo de grado es: Diseñar un modelo logístico post-desastre para el caso de inundaciones repentinas, que permita a los organismos de socorro gestionar de manera eficiente la localización de puntos estratégicos de instalaciones, y el ruteo del personal especializado. Para el alcance de este objetivo se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la situación objeto de estudio con el fin de identificar los factores y la dinámica que permite evaluar la atención post-desastre causada por una inundación repentina.
- Caracterizar por medio de un modelo matemático el problema de localización de instalaciones (puntos de distribución, albergues) presente en situaciones post-desastre causada por una inundación repentina.

- Proponer un modelo matemático que permita realizar la programación de las rutas del personal especializado en situación post-desastre causada por una inundación repentina.
- Proponer un método de solución para el problema bajo estudio y aplicarlo a una situación real con miras a evaluar su desempeño.

### **1.3 Características de las propuestas de solución**

Las propuesta de solución contempladas en este trabajo de grado, se enfocan en minimizar el tiempo de operación del personal especializado, por lo cual el objetivo de las propuestas está segmentado en dos partes, la primera corresponde a los tiempos de viaje y la segunda a los tiempos de atención. Para cada parte de la función objetivo se definió un peso de importancia, en donde es más importante el tiempo de atención que el tiempo de viaje. Debido a que la primera parte de la propuesta define estratégicamente la ubicación de los albergues y del punto de distribución, garantizando la proximidad entre las instalaciones. Es importante aclarar que tanto el tiempo de atención como el porcentaje de alivio de la población damnificada dependen del tipo de unidad móvil que asista a la población afectada.

En el presente trabajo se proponen 3 alternativas de solución para el problema de localización de instalaciones (albergues y punto de distribución), asignación y ruteo de las unidades móviles, en situación post-desastre causada por una inundación repentina.

La primera propuesta consiste en la definición un modelo jerárquico que se ejecuta secuencialmente, en la primera etapa se ejecuta el modelo de localización y en la segunda se ejecuta el modelo de asignación y ruteo de unidades móviles. La segunda propuesta consiste en un modelo integral, el cual define la ubicación del punto de distribución, la asignación y ruteo de las unidades móviles; la ubicación de los albergues y la demanda de éstos, son un parámetro de entrada para el modelo integral. La tercera propuesta consiste en un modelo location-allocation-routing, el cual determina la localización de los albergues y del punto de distribución, además asigna y define las rutas para las unidades móviles

### **1.4 Relevancia del problema**

Independientemente del origen de la inundación, este tipo de desastre tiene efectos sobre la zona y la población generando un impacto negativo a nivel económico y social en la región. Las inundaciones generan cambios ecológicos y de infraestructura exponiendo a la población afectada al deterioro continuo de la salubridad de la zona, de esta manera las inundaciones se convierten en un escenario propicio para la propagación de enfermedades epidémicas y respiratorias, haciendo que la situación se convierta en un problema de salud pública (Street, 2006).

Uno de los principales efectos de las inundaciones es el desplazamiento forzado de la población hacia zonas seguras, esto genera un impacto negativo a nivel social, político y cultural, debido al repentino empobrecimiento de la población causado por la pérdida total de bienes, servicios y posibilidades de desarrollar actividades económicas que permitan la recuperación de la zona y la población.

#### **1.4.1 Actuación de la ética en la gestión post-desastre**

Tal como su nombre lo dice, las inundaciones repentinas suceden sin previo aviso generando desequilibrio en la población, el cual en la mayoría de los casos es aliviado por el gobierno y ayudas

externas. En este tipo de situaciones los recursos son limitados por lo cual la toma de decisiones debe estar fundamentada por principios éticos garantizando la equidad, igualdad e imparcialidad en la reducción del sufrimiento de la población afectada.

#### **1.4.1.1 Responsabilidad de atender a los damnificados**

En primera instancia es de esperarse que el gobierno sea el responsable de coordinar y permitir el suministro de ayudas humanitarias, sin embargo también es labor propia de los organismos de ayuda humanitaria. De acuerdo a la experiencia de dichos organismos, se determina que la participación de los damnificados es importante, debido a que ellos son los directamente afectados y conocen el verdadero estado de la situación, es decir, los damnificados son la fuente de información primaria para la atención de la población afectada por la inundación.

En algunas ocasiones no se pueden establecer los responsables de una inundación, sin embargo en el año 2007 en Villahermosa, Tabasco los directos responsables de la inundación fueron las autoridades, debido a que decidieron abrir las compuertas de una presa sin considerar la resiliencia en la población. Por lo anterior se concluye que es deber ético del gobierno el diseñar mecanismos de respuesta, controlar las invasiones en zonas de alto riesgo y diseñar planes de desarrollo de la zona, garantizando así una gestión post-desastre más controlada y coordinada que mitigue el impacto de la inundación.

Otra labor importante del gobierno es la definición de planes de desarrollo urbano que consideren planes de acción para situaciones de emergencia, debido a que la mayoría de inundaciones repentinas se dan en zonas de alto riesgo en donde no se conoce la densidad poblacional de la zona (IFRC, 2010). Además de lo dicho anteriormente, el 50% de los hospitales en América Latina y el Caribe se encuentran ubicados en zonas de alto riesgo (Street, 2006), ya sea por vulnerabilidad de la zona a inundaciones repentinas o por la deficiente localización del hospital; este tipo de situaciones lleva a pensar que los gobiernos de América Latina y del Caribe diseñan planes de desarrollo sin tener en cuenta la vulnerabilidad de la zona a presencia de fenómenos naturales que pueden terminar en desastres, poniendo en riesgo el bienestar de la población.

De acuerdo a los párrafo anteriores, los daños en infraestructura afectan la capacidad de respuesta, por lo cual las acciones del gobierno aumentan o disminuyen el impacto de la inundación; este tipo de acciones deben estar motivadas por un sentido de solidaridad y de preocupación en el bien público, permitiendo así tomar decisiones y actuar bajo principios éticos que permitan una atención y recuperación oportuna de la población. Sin embargo, los organismos de socorro afirman que la gestión post-desastre es una labor no coordinada ni controlada, lo cual da paso a acciones ilícitas como: el desvío de ayudas humanitarias, el fraude en contratos de personal de asistencia médica y psicológicas, a acciones de desigualdad, e imparcialidad, provocando en la población afectada un sentimiento de desolación que usualmente es evidenciado por acciones violentas, haciendo que el impacto del desastre cada vez aumente (IFRC, 2010). Usualmente se culpa al gobierno por las acciones negligentes, pero es necesario entender que el gobierno de la zona afectada invierte una gran suma de dinero en recursos requeridos por la situación, sin embargo el error está en que no existe personal especializado en temas de gestión de recursos en situaciones de emergencia (Kovács, G., & Spens, 2011).

De acuerdo a algunos informes realizados por los organismos de socorro, se identifican algunas operaciones de respuesta que requieren componentes éticos, las cuales son nombradas a continuación:



a. Velar por los derechos humanos:

Las acciones se deben centrar en la atención de los requerimientos asociados a la vida y a la dignidad de la población afectada, por lo cual se debe cumplir con el abastecimiento de agua, saneamiento e incentivo de la higiene. Además de esto, se debe garantizar el bienestar y el cuidado requerido por niños, ancianos, personas discapacitadas y con enfermedades terminales (SCHR/VOICE/ICVA, 2004).

b. Integración de la población afectada:

En la medida en que se integre la población afectada, el sufrimiento y el sentimiento de impotencia desaparecen debido a que son considerados como parte activa de la toma de decisión en la gestión post-desastre, pues ellos son la fuente de información principal para garantizar la calidad, inclusión y equidad social, junto con la sostenibilidad de las decisiones tomadas. De esta manera se desarrolla un sentido de apropiación de la situación generando un deseo de autorrealización (IFRC, 2010).

c. Coordinación y distribución de los recursos:

Como se decía anteriormente, la operación de coordinación y distribución de recursos es una tarea multidisciplinaria que se debe encargar de aprovechar y maximizar los recursos disponibles en la situación post-desastre, con el objetivo de suministrar una atención eficiente, dejando de lado las acciones ilícitas carentes de principios éticos (USAID/OFDA, 2008), (Waxman, Cardoza, Obey, Tanner, & Holmes N., 2006).

#### **1.4.1.2 Asistencia a damnificados**

La toma de decisiones está relacionada con el suministro de productos y la asistencia médica y psicológica, por lo cual se requiere de una continua evaluación y criterios éticos, que permitan priorizar la demanda o cualquier tipo de asistencia. El objetivo de la gestión post-desastre es controlar el efecto de la inundación con el fin de proponer medidas que mitiguen el efecto y no permitan aumentar el daño hecho por la inundación. De esta manera, la asistencia médica y psicológica, entre otras deben hacerse teniendo en cuenta criterios éticos que prioricen la demanda, debido a que el personal es reducido y no toda la población requiere asistencia inmediata, por lo cual el proceso de priorización de demanda debe ser objetivo; de esta manera se puede caracterizar la gestión post-desastre como una labor multidisciplinaria, en donde se habla de la coordinación y distribución de productos junto con la asistencia de personal especializado en ayuda humanitaria.

Usualmente la priorización de demanda se realiza a partir de una evaluación de daños y análisis de necesidades; esta priorización representa problemas éticos para el personal médico, debido a que no es posible atender a una persona con una gravedad alta y dejar sin atender a otra con una gravedad leve, sin embargo es importante entender que el personal médico es un recurso limitado y que debe ser utilizado de la manera más eficiente entendiendo el costo-beneficio de dejar de atender una persona con gravedad alta por atender una persona con gravedad leve (Asamblea General de la AMM, 2006).

#### **1.4.1.3 Comportamiento de la población afectada**

Como se decía anteriormente, las inundaciones provocan un desequilibrio social y poblacional además del desplazamiento forzado de la población, situación que sucedió después del Huracán Katrina (RTVE, 2010), (Griffin & Johnston, n.d.). El gobierno y los organismos de socorro se

encargan de instalar a la población en un conjunto de albergues ubicados en zonas potencialmente seguras y que además cumplan con las normas mínimas establecidas por los derechos humanos (IFCR, 2012).

Cuando los organismos de ayuda humanitaria se encargan de los procesos de evacuación de la población afectada, usualmente piden documento de identificación y algún certificado de propiedad del terreno. Esta situación genera problemas de gestión debido a que la población se opone a estas actividades de control. En este tipo de situaciones las personas prefieren permanecer en la zona afectada o hacer caso omiso a las señales de evacuación garantizando así la posesión sobre el terreno, este tipo de situaciones usualmente se presentan cuando suceden inundaciones en zonas de alto riesgo que han sido invadidas por un grupo poblacional (J Holguín-Veras, Taniguchi, Ferreira, Jaller, & Thompson, 2012).

Usualmente la población desalojada de la zona afectada no puede volver a ocupar estos terrenos, por lo cual el gobierno ofrece albergues temporales a las familias que se quedaron sin techo. Debido a que todas las personas son dignas de un espacio que los proteja del frío, la lluvia y la inseguridad de la situación, la prioridad de estos albergues es para aquellas familias que realmente perdieron su hogar; el protocolo de la certificación de la propiedad de terrenos, es una operación necesaria para mantener el control de los albergues temporales, pues es necesario recordar que en estas situaciones los recursos son limitados no dando cabida a estas situaciones debido a que contribuyen a aumentar la desigualdad y el descontento social (USAID/OFDA, 2008).

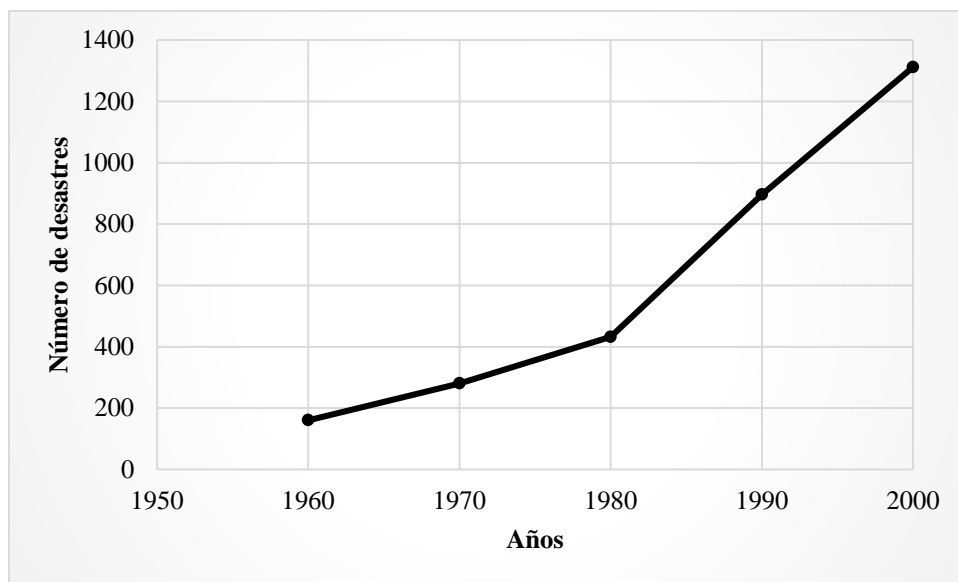
### **1.5 Conclusiones**

Las inundaciones sin excepción alguna, generan daños a la población, en la infraestructura y en el saneamiento de la zona; dando paso a la propagación de enfermedades (Street, 2006). La gestión post-desastre resulta ser una labor compleja debido a que la carencia de infraestructura obstaculiza el flujo de información generando incertidumbre en la toma de decisiones correspondientes al flujo económico y físico que permite la oportuna respuesta de los organismos de socorro. Este hecho de incertidumbre hace que la vulnerabilidad de la población aumente.

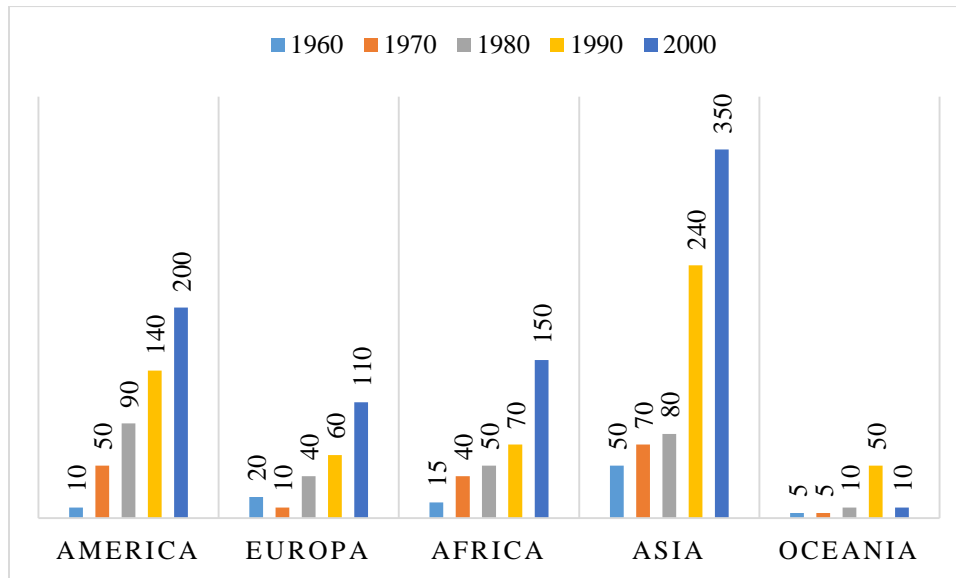
## CAPÍTULO 2

### JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La ocurrencia de los desastres naturales en el mundo cada vez aumenta (ver Figura 2), implicando un mayor riesgo para las poblaciones. La magnitud del desastre varía de acuerdo a las características del país afectado, por ejemplo los peores escenarios se presentan en países en desarrollo, puesto que existe una relación entre la tasa de crecimiento poblacional y la vulnerabilidad de ser afectado por una inundación, esto es consecuencia del crecimiento demográfico descontrolado que da paso al asentamiento de la población en zonas de alto riesgo (SCHR/VOICE/ICVA, 2004), (IFRC, 2010). La Figura 3 muestra el número de inundaciones reportadas por continente, desde el año 1950 al 2000.

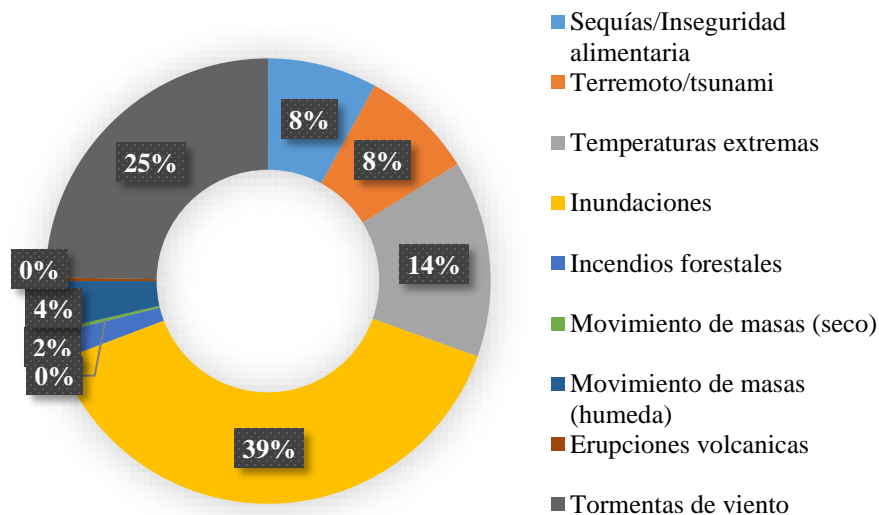


**Figura 2** Número de desastres reportados en el mundo. Adaptado de: (Centre for research on the epidemiology of disaster -CRED, 2014)



**Figura 3** Número de inundaciones reportadas en el mundo. Adaptado de: (Philippe Rekacewicz, Emmanuelle Bournay, 2012)

Según el *World disaster report* en promedio el 39% de los desastres reportados en el mundo se atribuye a inundaciones tal como se ve en la Figura 4. Las inundaciones, son el desastre más frecuente en el mundo generando el mayor número de vidas pérdidas y los mayores daños, después de los terremotos (Street, 2006).



**Figura 4** Proporción de destres naturales reportados en el mundo para el 2012. Adaptado de: (IFCR, 2012).

De acuerdo a lo dicho anteriormente el reto es diseñar un modelo funcional que permita mitigar las consecuencias del desastre, con el fin de lograr la recuperación de la población y de la zona en el menor tiempo posible. No obstante el aspecto más importante de un desastre es la tasa de mortalidad y morbilidad en un desastre, de acuerdo a los datos registrados por los organismos de socorro entre

un 60% y 90% de las muertes se atribuyen a enfermedades como EDA, IRA, entre otras enfermedades que atacan principalmente a los grupos poblacionales más vulnerables (SCHR/VOICE/ICVA, 2004).

Actualmente pocas regiones cuentan con modelos operacionales de respuesta (IFRC, 2010), contribuyendo a que las operaciones post-desastre se realicen de manera descoordinada y no planeada. Esta falencia conlleva a una gestión ineficiente debido a los tiempos prolongados de respuesta del personal especializado, lo cual es un escenario propicio para la aparición y propagación de enfermedades. Ésta es una de las razones por las cuales la recuperación y la mitigación del post-desastre (causado por el desastre natural) genera altos costos sociales (costos sociales = costos logísticos + costos de privación, los costos de privación están asociados al sufrimiento de la población por la privación de un bien o servicio) (Tinguaro, Begoña, & Montero, 2012), (J Holguín-Veras, Pérez, Jaller, Van Wassenhove, & Aros-Vera, 2013).

En cuanto a los costos sociales, es vital que cada región desarrolle un modelo de respuesta para cualquier tipo de desastre, haciendo que la recuperación y la mitigación se realicen en el menor tiempo y costo social posible. Dicho modelo debe considerar las limitantes asociadas a los recursos y a la accesibilidad de la zona; además de la manera de operar de la Cruz Roja en cuanto la protección y asistencia de la población afectada y la consideración de los lineamientos previamente definidos por los organismos especializados en ayuda humanitaria para este tipo de situaciones (HASC, 2010; UNISDR, 2009). De acuerdo a esto, el principal objetivo es lograr una óptima gestión de la situación a partir de un modelo que solucione los problemas relacionados a la asistencia de la población afectada, esto con el fin de contribuir a que las entidades gubernamentales y no gubernamentales actúen eficazmente (José Holguín-Veras, Jaller, Van Wassenhove, Pérez, & Wachtendorf, 2012).

Para esto, los organismos especializados en ayuda humanitaria determinan la necesidad de hacer un primer acercamiento a la zona, con el propósito de evaluar la magnitud del desastre. La evaluación de daños es llevada a cabo por un equipo conformado por personal multidisciplinario (médicos, geólogos e ingenieros, entre otros). Este equipo es entrenado y alineado con el fin de evitar evaluaciones subjetivas de la situación post-desastre; los aspectos que se analizan son: impacto en la población y en la zona, condiciones de salud, recursos disponibles e infraestructura de servicios funcionales (USAID/OFDA, 2008). Inicialmente ésta es la única fuente de información que permite dar inicio al despliegue de las operaciones de atención a heridos y establecimiento de refugios, entre otras operaciones vitales en la primera etapa del post-desastre.

La gestión de la cadena de suministro en situaciones de emergencia es una labor compleja, debido a la incertidumbre en la demanda, carencia de infraestructura y de canales de información. El principal problema consiste en que la gestión de la cadena de suministro en situaciones de emergencia es coordinada desde el mismo enfoque de la cadena de suministro comercial, aunque se puede decir que la logística humanitaria y la logística comercial tienen puntos en común donde hay una capacidad de suministros a enviar, una demanda que satisfacer y un flujo de información. La brecha que separa este tipo de cadenas de suministro es el objetivo, la estrategia de gestión y el costo de no satisfacer la demanda. En efecto, en el caso del sector comercial la insatisfacción de los clientes está relacionado con la disminución de utilidades, mientras que en la logística humanitaria está relacionada con el aumento de las tasas de mortalidad y morbilidad, lo cual tiene un alto costo social asociado. Un aspecto importante a resaltar en la logística comercial, es la infraestructura la cual esta previamente

definida, en el caso de la logística humanitaria no existe ningún tipo de infraestructura, además de un riesgo asociado a cada zona (José Holguín-Veras et al., 2012), (Tinguaro et al., 2012).

De acuerdo a R. Tomasini y L. Van Wassenhove (Tomasini & Wassenhove, 2009), la cadena de suministro humanitaria tiene restricciones que son características propias de la situación Post-desastre, por ejemplo, la falta de infraestructura para distribuir la ayuda humanitaria, disponibilidad limitada de recursos, e incertidumbre de la demanda relacionada a la asistencia médica y psicológica entre otras calamidades presentes en la situación post-desastre, además la priorización del suministro de un bien o un servicio a un grupo poblacional específico resulta ser una labor compleja por la incertidumbre del estado real de la población. Estos factores hacen que la cadena de suministro humanitaria sea ineficiente con respecto al costo social.

## **2.1 Red de instalaciones**

La localización de instalaciones es el punto de partida de las operaciones relacionadas con la logística de abastecimiento y suministro, pues de ésta depende la efectividad de la distribución de recursos (Nagy & Salhi, 2007). La localización consiste en identificar lugares óptimos para instalar los albergues y puntos de distribución. Se puede hablar de una localización óptima cuando las zonas en la que están ubicados dichas instalaciones, permiten el suministro de bienes y servicios, como por ejemplo: acceso a agua potable, combustible para cocinar, iluminación, eliminación de desechos y evacuación de aguas residuales, además de la protección contra el frío, la humedad, el calor, la lluvia, el viento, y otros riesgos presentes en la situación; estos son los requisitos mínimos establecidos por las organizaciones de ayuda humanitaria (SCHR/VOICE/ICVA, 2004).

Es importante resaltar que una óptima localización no solo está relacionado a factores internos sino que también está directamente relacionado con la fiabilidad de las rutas que conectan las diferentes locaciones, por lo cual existen algunos como: (Benini, Conley, Dittmore, & Waksman, 2009) que considera el uso de herramientas como el SIG como herramienta para indicar el estado de la zona y la ubicación de los damnificados.

Para este trabajo de grado se consideran dos tipos de locaciones: albergues y punto de distribución. El número de albergues y la capacidad requerida se determina de acuerdo al tamaño de la población afectada; en cuanto al número de puntos de distribución, se establecen de acuerdo a criterios de cobertura y cercanía con dicha población. Estas decisiones hacen parte de la estrategia en la gestión post-desastre, puesto que la localización tiene un impacto importante en el riesgo, velocidad de respuesta y en el costo social propio de la situación post-desastre.

La localización de los puntos de distribución y albergues, es el punto de partida para el diseño y la gestión de la cadena de suministro (Pedraza, Stapleton, & Van Wassenhove, 2011). La localización tiene un gran impacto en la operación de distribución de ayuda humanitaria, por lo cual el trabajo de M. Huang et al. (Huang, Smilowitz, & Balcik, 2012) define unos criterios para medir el rendimiento de la localización, los cuales están relacionados con los tiempos de viaje y los costos de transporte pensando siempre en el beneficiario. El estudio se desarrolla a partir de pruebas numéricas que permita evaluar y seleccionar políticas para situaciones complejas.

Los retos a lograr en el problema de localización de instalaciones son:

- Garantizar el cubrimiento de toda la zona de desastre, lo cual resulta ser un trabajo complejo debido a la carencia de zonas aptas para ubicar las instalaciones.
- Garantizar la seguridad de las zonas, es decir, se espera que las instalaciones estén ubicados en lugares óptimos, con el fin de brindar bienestar y controlar que el impacto de desastre sea mayor.
- Garantizar la asequibilidad a las zonas, puesto que la zona debe tener un conjunto de vías que permita el acceso a las instalaciones.
- Garantizar la eficiencia, eficacia y equidad en la distribución de recursos y en la asistencia humanitaria, ya que de estos criterios depende el desempeño de la cadena de suministro.

El determinar y decidir las zonas potenciales teniendo en cuenta dichos retos, hace parte de la decisión estratégica en la gestión del post-desastre; para este caso proponen que dichas decisiones deben estar soportadas por un componente científico, por lo cual se formulan modelos matemáticos que apoyan la toma de decisiones. Los modelos propuestos consideran variables que permiten modelar la situación considerando restricciones asociadas con: las condiciones ambientales y de espacio, confiabilidad de la zona, densidad de masa poblacional afectada y equidad en el suministro de ayudas humanitarias (Afshar & Haghani, 2012; Lin, Batta, Rogerson, Blatt, & Flanigan, 2011).

## **2.2 Asignación y distribución de ayuda humanitaria**

Para la asignación óptima de recursos es necesario hacer una evaluación de daños y de vulnerabilidad de la población, con el propósito de identificar los bienes y servicios vitales para la mitigación del impacto del desastre. Esta operación debe ejecutarse teniendo en cuenta los principios de equidad, neutralidad e imparcialidad entre otros promulgados por los organismos de ayuda, ya que de esto depende el desempeño eficiente de la gestión post-desastre (J Holguín-Veras, Jaller, & Wachtendorf, 2012).

La asignación de recursos permite que la respuesta a la situación post-desastre sea eficaz debido a que permite la entrega del producto o servicio correcto en el lugar correcto. Para lograr que este proceso sea eficaz es necesario que los organismos locales e internacionales de ayuda humanitaria se alineen para duplicar los esfuerzos y mejorar la calidad servicios prestados; y que estas organizaciones operen de manera integrada, pues de esta manera la vulnerabilidad frente actos violentos o robos es nula. Para mayor control sobre los recursos destinados a la gestión de la situación post-desastre, el Comité Interagencial (foro único interinstitucional para la coordinación de ayuda humanitaria) definió clúster y líderes de clústeres, con el propósito de asignar a cada organismo especializado la responsabilidad de suministrar ayuda humanitaria y coordinar las operaciones y los recursos destinados a la atención de la situación post-desastre (Organización Panamericana de la Salud, 2006) (Cornejo C.C., Vargas F.J., Aragon L.C., 2013) (J Holguín-Veras, Jaller, et al., 2012).

La distribución de suministros de ayuda humanitaria, se realiza a partir de las decisiones operativas de la gestión post-desastre, ya que usualmente son decisiones que se toman en tiempo real como consecuencia de la variabilidad de la demanda. La operación de distribución de ayudas humanitarias se realiza una vez se haya determinado la ubicación de albergues y puntos de distribución, seguido

de la asignación de recursos de acuerdo a la vulnerabilidad de la población a atender (Song, He, & Zhang, 2009).

La entrega y la asignación se prioriza de acuerdo a la evaluación de daños es llevada a cabo por un equipo conformado por diferentes tipos de personal como médicos, geólogos e ingenieros entre otros. Este equipo es entrenado y alineado con el fin de evitar evaluaciones subjetivas de la situación post-desastre; los aspectos que se analizan son: impacto en la población y en la zona, condiciones de salud, recursos disponibles e infraestructura de servicios (USAID/OFDA, 2008). De esta manera se identifican los daños en infraestructura y en las vías de acceso, con el objetivo de identificar las posibles vías de acceso terrestre y/o aéreo. Inicialmente ésta es la única fuente de información que permite dar inicio al despliegue de las operaciones de rescate, atención de heridos y establecimiento de refugios, entre otras operaciones vitales en la primera etapa del post-desastre.

La operación de distribución de recursos puede ser obstaculizada por diferentes factores, un factor técnico es la falta de conectividad en la cadena de suministro por el mal estado de las vías, o factores sociales, como el riesgo de acciones violentas para el robo de dichos recursos. El terremoto de Haití presentó una serie de eventos indeseados que pusieron en evidencia este tipo de situaciones hacen que el suministro de ayudas humanitarias sea una operación compleja (Medicos sin Fronteras, 2010).

### **2.3 Conclusiones**

Uno de los principales factores que hacen que la magnitud de un desastre aumente, es el crecimiento poblacional demográfico descontrolado da paso al asentamiento de la población en zonas de alto riesgo; implicando desconocimiento del tamaño de la población afectada y de los puntos geográficos en el que la población requiere ser evacuada e instalada en el albergue más cercano. Por lo cual el diseño de la red de instalaciones (albergues y puntos de distribución) hace parte de la decisión estratégica en la toma de decisiones para la etapa post-desastre de una inundación, debido a que contribuye a la asistencia oportuna de la población afectada y a la disminución del riesgo y la vulnerabilidad de la misma; mientras que la asignación y distribución de ayuda humanitaria hace parte de la toma de decisiones a nivel táctico y operativo.

A partir de lo anterior se concluye que la localización de instalaciones es la decisión estratégica en gestión post-desastre, pues a partir de dicha decisión se define los planes tácticos para suministrar asistencia al personal de acuerdo a los requerimientos de la población, dando paso a la toma de decisiones operativas en donde se define la programación de las rutas de acuerdo a la ubicación geográfica del punto de distribución y de los múltiples albergues, en donde está la población afectada que requiere asistencia. Estas tres decisiones deben estar alineadas bajo un mismo objetivo, con el fin de alinear los esfuerzos de los organismos de socorro para mitigar el impacto del desastre.

### **2.4 Resultados de la investigación**

El contenido del capítulo 1 y 2 fue presentado en el congreso LACCEI 2014: Reyes-Rubiano Lorena S., Quintero-Araújo Carlos L. , Torres-Ramos Andrés F. (2014). “ Modelo Matemático para la Programación de Personal Especializado en Logística Humanitaria- Post-Desastre” (Reyes-rubiano, Quintero-araújo, & Torres-ramos, 2014).



## CAPÍTULO 3

### ESTADO DEL ARTE

En los últimos años la logística humanitaria ha sido un campo de interés para la academia y para los organismos de socorro, por lo tanto los principales estudios están enfocados en el establecimiento de instalaciones, almacenamientos, estimación de demanda y gestión de envío de productos. En la figura 5 se muestra la tendencia de los trabajos enfocados en solucionar problemas de la situación post-desastre.

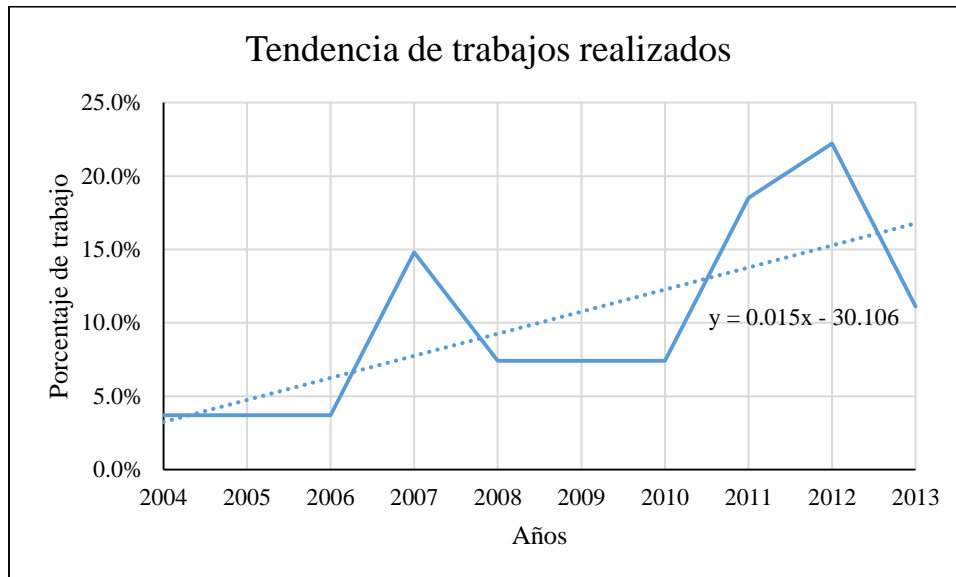


Figura 5 Proporción de trabajos realizados por año. Creación propia del autor

#### 3.1 Localización de instalaciones

En situación de emergencia la localización de instalaciones es un factor crítico para la gestión, puesto que una óptima red de infraestructura puede contribuir a que el modelo de distribución de recursos sea funcional. La definición de zonas potenciales depende de las características de la zona y del riesgo asociado a ésta por lo cual en ocasiones se definen puntos temporales debido a que existe una probabilidad de riesgo, es decir, se habla de la relocalización de instalaciones (VanRooyen & Leaning, 2005).

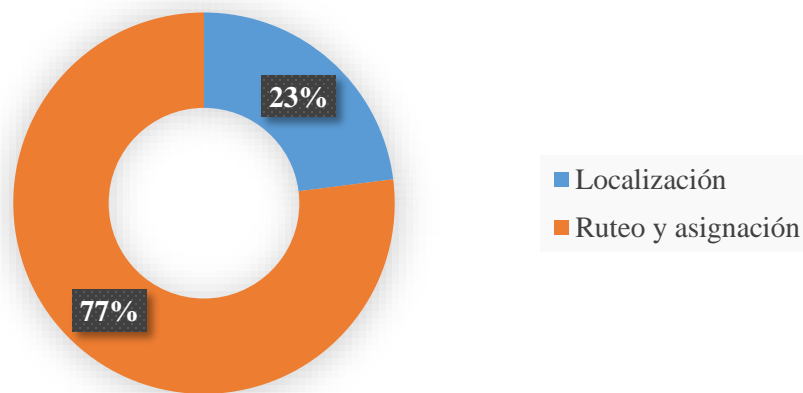
Otra característica propia de la locación de instalaciones, es la definición de lugares y políticas para el manejo de inventario; G. Galindo y R. Batta (Galindo & Batta, 2013), M. Peng et al. (Peng, Peng, & Chen, 2013), definen niveles de inventario, con el fin de garantizar el flujo constante de suministros desde los puntos de distribución hasta los albergues, mientras que B. Balcik y B. M. Beamon (B. Balcik & Beamon, 2008), definen inventarios de seguridad, con el propósito de amortiguar la demanda volátil de la población afectada (Rottkemper, Fischer, & Blecken, 2012). La gestión de inventarios en situación de emergencia incluye el almacenamiento de la variedad de tipo de productos, y garantizar la calidad y existencia de estos. Cada tipo de producto tiene un riesgo asociado, y en especial los productos vitales, pues la cantidad en inventario es limitada y además la infraestructura no garantiza el cuidado y las condiciones de almacenamiento que se requieren para su conservación.

En este proceso la localización de instalaciones y el transporte son operaciones que están estrechamente relacionadas, ya que la ubicación de las instalaciones afecta las rutas y la efectividad de la asistencia requerida por la población. De acuerdo a estas consideraciones B. B. Balcik y B. M. Beamon (B. Balcik & Beamon, 2008), proponen un modelo de localización temporal, en donde se re-localizan los puntos de distribución de acuerdo a los requerimientos de la zona o a los requerimientos de la ruta, el principal objetivo es mejorar el desempeño en términos de tiempos de respuesta, de la cadena de suministro.

Los trabajos estudiados desarrollan modelos matemáticos, usando como metodología de solución la investigación de operaciones; estos modelos se definen con el objetivo de ser funcionales para la toma de decisiones. Los autores comúnmente caracterizan la situación de localización a partir de variables binarias, la cual decide si un albergue o un punto de distribución es ubicado o no en una zona segura, de la misma manera se define una variable entera que está relacionada con el número de personas a instalar en un albergue o a la cantidad de inventario existente en un punto de distribución. Los objetivos de estos modelos varían de acuerdo al enfoque dado por el programador, la Tabla 1 muestra algunos objetivos planteados en los modelos.

Los modelos de localización se pueden enmarcar en problemas de localización discreta, encargados de seleccionar zonas óptimas entre un conjunto de zonas potenciales previamente establecidas, o en problemas de localización continua los cuales identifican puntos o coordenadas óptimas en cualquier espacio geográfico. De acuerdo a lo estudiado en los artículos revisados, se determina que los problemas de localización discreta presentan una mayor aplicación (Marín, Nickel, Puerto, & Velten, 2009), ver figura 6.

## Enfoque de las Operaciones



**Figura 6** Aplicación de los métodos de localización

Los problemas de localización discreta determinan un conjunto de instalaciones o zonas óptimas para suministrar un bien o un servicio y a su vez se encarga de determinar la manera en que van a ser suministrados. Las variantes de este problema son los problemas de localización-asignación, en donde

la operación se realiza en la instalación que se decide abrir. El problema de localización-ruteo es otra variante en el cual la operación se realiza en los puntos de demanda (Rodríguez C., 1998).

Los modelos de localización se pueden caracterizar por: 1. Maximizar la cobertura, el cual consiste en ubicar los albergues y puntos de distribución en puntos geográficos que permitan asistir al mayor número de personas en el menor tiempo posible, 2. La ubicación de un determinado número de instalaciones (Facility Location), considerando criterios como costos fijos y capacidades de las instalaciones, 3. P-medianas, que consiste en seleccionar un número determinado de punto de distribución para atender a los albergues al menor costo logístico, entre otros.

**Tabla 1 Clasificación de trabajos relacionados a la localización de puntos de distribución y albergues.**

Año	Autor	Metodología	Objetivos							Características						
			B	C	D	E	F	G	M	MD	MC	PM	FL	R-L	LD	L-R
2008	B. Balcik and B. M. Beamon	MIP		X				X		X				X		X
2009	M. M. Dessouky and F. Ordonez	MIP	X	X									X		X	X
2010	H. O. Mete and Z. B. Zabinsky	MIP						X		X		X				X
2011	S. Rath and W. J. Gutjahr	Heurística				X			X	X		X			X	X
2012	Y.-H. Lin, R. Batta, P. a. Rogerson, A. Blatt, and M. Flanigan	Heurística					X		X		X		X	X	X	
2012	A. Afshar and A. Haghani	MIP		X	X		X		X					X	X	X
2013	G. Galindo and R. Batta	MIP				X				X			X	X	X	

B= Minimización de distancia recorrida. C=Minimización de demanda insatisfecha. D= Minimización de número de viajes. E= Minimización de costos. F= Objetivo relacionado con los de costos de privación. G= Minimización de tiempo de viaje. M= multi-producto. MD= Multi depósito. MC= Máxima cobertura. P-M= P-medianas. FL= Localización de instalaciones. R-L= Relocalización. LD= Localización discreta. LR= Localización y ruteo. MIP= Programación entera mixta.

La tabla 1 además de mostrar los principales objetivos de la localización en la situación post-desastre, permite identificar cuáles son las principales características a considerar en un modelo. Usualmente los problemas de localización están condicionados por factores como el riesgo, el constante cambio de demanda y la incertidumbre en la ubicación de la población damnificada, por lo cual se toman decisiones de establecer múltiples instalaciones o localización temporal de las mismas.

### **3.2 Asignación de recursos**

En las situaciones de emergencia, una de las problemáticas es la incertidumbre de la capacidad de respuesta de los centros de distribución y/o de los depósitos encargados de la distribución de suministros. El tipo de recursos a distribuir es independiente a la demanda, es decir, algunos de los recursos demandados probablemente no se suplan, esto debido a que la oferta de suministros de ayuda humanitaria no se define por la demanda de éstos sino por las donaciones hechas por países externos (Barbarosoğlu & Arda, 2004; Hamedi, Haghani, & Yang, 2012; Najafi, Eshghi, & Dullaert, 2013).

Algunos de los productos demandados se suministran una vez, sin embargo existen otros que se suministran con determinada frecuencia como son los medicamentos, alimentos, agua potable, personal especializado, elementos de construcción de albergues y hospitales, elementos para la reconstrucción de la zona y elementos de protección personal, entre otros. Esta operación se caracteriza principalmente por la asignación de múltiples servicios y múltiples productos (Tzeng, Cheng, & Huang, 2007), (Campbell, Vandenbussche, & Hermann, 2008). La complejidad del modelo de asignación aumenta a medida que aumentan los puntos de demanda y los tipos de suministros, por lo cual, algunos autores con el objetivo de realizar el modelo, reducen la variedad de tipos de suministros a kits por familia. Dicha simplicidad es usada por la Cruz Roja, Colombia Humanitaria, y el gobierno en general.

Como se decía anteriormente, la información es importante para la toma de decisiones por lo cual J.-B. Sheu (Sheu, 2007) propone un modelo en donde considera que las decisiones operacionales de atención deben estar centralizadas en los depósitos, ya que garantiza un proceso coordinado y eficaz, logrando minimizar la demanda insatisfecha en la zona de desastre (Burcu Balcik, Beamon, & Smilowitz, 2008), (Barbarosoğlu & Arda, 2004), (Rottkemper et al., 2012). Ver Tabla 2.

### **3.3 Distribución de recursos**

Para empezar se hace referencia al terremoto que sufrió Haití en 2010, en donde se resaltan tres tipos de estructuras logísticas que se diferencian de acuerdo a la composición del grupo que gestionó la situación post-desastre, por ejemplo: ACE (Agency centric efforts) son organizaciones gubernamentales e internacionales, PIEs (partially integrated efforts) gestionó a través de la integración de grupos locales e internacionales, algunos de estos son grupos como las ONG's. Finalmente CAN (collaborative aid network) fue una estructura logística integrada por grupos locales. De acuerdo al artículo (J Holguín-Veras, Jaller, et al., 2012), la estructura PIEs presentó un mejor desempeño al controlar aspectos técnicos y sociales que entorpecen la cadena de suministro; no obstante las tres estructuras presentaron prolongados tiempos de respuesta, no por negligencia si no por la carencia de una coordinación eficiente en la gestión de la situación post-desastre (Burcu Balcik et al., 2008).

Los modelos estudiados están enfocados en la distribución de recursos prevaleciendo el enfoque del suministro de productos vitales como alimentos, medicamentos, agua, etc.; no obstante los recursos necesarios para atender la situación post-desastre son bienes y servicios, para lo cual se requiere de la intervención de personal especializado (médicos, enfermeras, psicólogos, etc.), quienes deben asistir a la población teniendo en cuenta las restricciones propias de la situación. Las restricciones asociadas a la programación y ruteo del personal se relacionan a la cantidad limitada de personal

especializado, a las calamidades a atender, al modo de transporte y el tiempo en que se debe suministrar la asistencia. De acuerdo a los organismos de ayuda humanitaria, el personal especializado interviene en la gestión post-desastre, sin embargo, su principal participación ocurre en las primeras 72 horas del post-desastre (USAID/OFDA, 2008), (Van den Bergh, Beliën, De Bruecker, Demeulemeester, & De Boeck, 2013).

La asignación de recursos y el ruteo de los vehículos son los temas más estudiados en logística de emergencias, ver figura 6. El proceso de abastecer centros de distribución y/o suministrar ayuda a los damnificados está definido a partir de supuestos, como la certidumbre en el estado de las vías, previamente definidas en el modelo que dan simplicidad a los modelos (Hamedi et al., 2012), (Faulin, Jorba, Caceres, Marquès, & Juan, 2011).

En cuanto a la incertidumbre asociada al estado de las vías, algunos estudios hacen uso de SIG para evaluar el estado de la zona e identificar la vulnerabilidad de la región (Benini et al., 2009). Para controlar dicho riesgo algunos autores definen ventanas de tiempo para definir franjas horarias de transporte o para el abastecimiento a los depósitos y/o suministros a los damnificados. La definición de la ventana de tiempo puede tener más de un propósito: M. Haghani et al., Afshar et al, (2012) definen las ventanas de tiempo con el propósito de describir los periodos de tiempo en los que se debe suministrar un producto específico, es decir, propone plantear el cambio de demanda en el tiempo (Afshar & Haghani, 2012), (Hamedi et al., 2012). Otros autores tratan de cuantificar los retrasos del suministro de ayuda humanitaria a través de una penalización relacionada con el costo de privación (Burcu Balcik et al., 2008), (Lin et al., 2011). La definición de ventana de tiempo también puede ser usada como un criterio de priorización de demanda, en donde los puntos que primero deben atenderse son los próximos a cumplirse. El uso de ventanas de tiempo resulta ser una herramienta útil para el suministro asistencia médica u otros servicios vitales para la población afectada, en periodos de tiempo decisivos para el nivel de supervivencia.

Lo dicho anteriormente está relacionado con los problemas de ruteo, sin embargo el desempeño y eficiencia del ruteo no sólo depende de la certidumbre de las vías, también de otros factores como: la capacidad de los vehículos, de la cual depende el número de damnificados atendidos y la longitud de las rutas de los vehículos. De acuerdo a los autores, se pueden tener vehículos con capacidades heterogéneas u homogéneas (Barbarosoğlu & Arda, 2004; Campbell et al., 2008; Hamedi et al., 2012; Najafi et al., 2013; Özdamar & Demir, 2012).

De acuerdo a las variables relacionadas al riesgo del acceso a las vías y a la capacidad de los vehículos, se determina una variabilidad en los tiempos de viaje y las distancias recorridas, que algunos autores determinan que la minimización de los mismos es un objetivo del modelo, pues está asociado directamente con la minimización de la demanda insatisfecha y los costos logísticos (B. Balcik & Beamon, 2008; Burcu Balcik et al., 2008; Benini et al., 2009; Campbell et al., 2008; Hamedi et al., 2012; Huang, Smilowitz, & Balcik, 2013; Lin et al., 2011; Lin, Batta, Rogerson, Blatt, & Flanigan, 2012; Mete & Zabinsky, 2010; Özdamar & Demir, 2012; Pedraza et al., 2011).

El ruteo de vehículos se aborda mayormente junto al problema de asignación, la solución del problema de ruteo y asignación implica objetivos relacionados, tal como lo es la minimización de la demanda insatisfecha. En la Tabla 2 se realiza una clasificación de los trabajos de acuerdo al objetivo del estudio y a la caracterización del problema.

**Tabla 2 Clasificación de trabajos relacionados con la asignación y distribución de recursos.**

Autor	Característica	Metodología	Logística comercial						Logística humanitaria		
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3
G. Barbarosoğlu and Y. Arda. 2004	SVRP	SLP						X			
V. De Angelis, M. Mecoli, C. Nikoi, and G. Storchi. 2007	VRVDFL	IPL									X
J.-B. Sheu. 2007	VRP	F-C						X			X
Z. Shen and F. Ord. 2007	SVRP	T-S									X
G.-H. Tzeng, H.-J. Cheng, and T. D. Huang. 2007	CVRP	F-L			X			X			
B. Balcik, B. Beamon, and K. Smilowitz. 2008	Última milla	MIP						X	X		
A. M. Campbell, D. Vandebussche, and W. Hermann. 2008	TSP-VRP	S-L						X	X	X	
R. Song, S. He, and L. Zhang. 2009	LRP	A-G			X	X					
M. M. Dessouky and F. Ordonez. 2009	CVRP	MIP			X					X	X
H. O. Mete and Z. B. Zabinsky. 2010	SCVRP	MIP						X	X		
P. Van Hentenryck, R. Bent, and C. Coffrin. 2010	SCVRP	Heurística						X			
M. Huang, K. Smilowitz, and B. Balcik. 2011	LMDP	MIP						X		X	X
Y.-H. Lin, R. Batta, P. a. Rogerson, A. Blatt, and M. Flanigan. 2011	SDVRP	A-G							X	X	X
J. Faulin, J. Jorba, J. Caceres, J. M. Marquès, and J. Angel. 2011	SVRP	Heurística						X			
A. J. Pedraza, O. Stapleton, and L. N. Van Wassenhove. 2011	Field VFM	NE						X	X		
J. Tinguaro, V. Begoña, and J. Montero. 2012	TD	DSS		X				X			
A. Afshar and A. Haghani. 2012	VRPPD	MIP							X	X	X
B. Rottkemper, K. Fischer, and A. Blecken. 2012	SVRPWT	MIP						X		X	X

Autor	Característica	Metodología	Logística comercial						Logística humanitaria		
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3
M. Hamedi, A. Haghani, and S. Yang. 2012	SVRPWT	Heurística						X			
L. Özdamar and O. Demir. 2012	VRPPD	Heurística	X					X			
Y.-H. Lin, R. Batta, P. a. Rogerson, A. Blatt, and M. Flanigan. 2012	VRPPD	Heurística					X			X	
M. Najafi, K. Eshghi, and W. Dullaert. 2013	SCVRP	R-O				X			X	X	
M. Huang, K. R. Smilowitz, and B. Balcik. 2013	PVRP	Heurística						X			

TSP-VRP= Problema del agente viajero - Problema del ruteo de vehículos. TD= Toma de decisiones. LRP= Problema de Locación-Ruteo. VRVDFL= Ruteo de vehículos con variabilidad de carga. SVRP= Problema estocástico de ruteo de vehículos. SVRP= Problema estocástico de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo. LMDP= Problema de distribución de la última milla. VRPPD= Problema del ruteo de vehículos con recogida y entrega. SDVRP= Ruteo de vehículo con entregas partidas. SCVRP= Problema estocástico de ruteo de vehículos con capacidad. Field VFM =Campo de la gestión de la ruta de los vehículos. CVRP= Problema de ruteo de vehículos con capacidad. PVRP= Problema de ruteo de vehículos con periodo de tiempo.

IPL= Programación lineal entera. F-C= Método difuso de agrupamiento. MIP= Programación entera Mixta. T-S= Búsqueda de Tabú. R-O= Optimización Robusta. SLP= Programación lineal estocástica. NE= Método no exacto. F-L= Logística difusa. S-L = Búsqueda local. A-G= Algoritmo genético.

A1= Maximizar utilización de vehículos. A2= Minimizar distancia recorrida. A3= Minimizar número de viajes. A4= Minimizar número de vehículos. A5= Minimizar costos. A6= Minimizar tiempo de viaje. B1= Factor humanitario. B2= Minimización de demanda insatisfecha. B3= Eficiencia de la cadena de suministro.

### 3.4 Conclusiones

Los trabajos considerados en la revisión del estado de arte usan como herramienta la investigación de operaciones, debido a que este trabajo de grado se desarrolla con el uso de dicha herramienta. El uso de herramientas de simulación o de SIG, entre otras herramientas no son considerados en este estudio.

De acuerdo a lo evidenciado en el capítulo, los métodos matemáticos heurísticos son considerados como la mejor herramienta para determinar planes de respuesta y de preparación en caso de situación de emergencia. El principal objetivo de estos modelos es mitigar el impacto en un desastre, con el fin de evitar la expansión de otros problemas de saneamiento que con el paso del tiempo resultan mortales, como por ejemplo epidemias, desbordamiento de aguas residuales, infecciones y la aparición de nuevas enfermedades, entre otras. La manera de controlar y gestionar adecuadamente esta situación es a través de la coordinación de recursos en la zona, con el propósito de suministrar en el menor tiempo posible el personal especializado y los productos vitales.

Estos modelos matemáticos pueden ser definidos para alcanzar uno o más objetivos (ver tabla 2), la mayoría de estos se definen teniendo como base los modelos utilizados en la cadena de suministro comercial, dejando a un lado el factor principal de una situación post-desastre, el sufrimiento humano.

Dentro de los trabajos estudiados se evidencia que la mayoría de los artículos analizados parten de principios propios de la logística comercial, mientras que pocos se concentran en aspectos reales en la logística humanitaria, la cual considera los principios de equidad, neutralidad e imparcialidad, además de la reducción de los costos asociados a la privación de un bien o servicio.

Por lo anterior, en este trabajo de grado se propone como método de solución el desarrollo de modelos matemáticos a partir de investigación de operaciones, con el fin de resolver problemas relacionados con la localización de instalaciones, asignación y programación de rutas para las unidades móviles.

### **3.5 Resultados de la investigación**

El contenido del capítulo 3 ha sido sometido para publicación a la Revista *Ingeniare: Revista de Ingeniería* (Scopus Q3) Reyes-Rubiano Lorena S., Torres-Ramos Andrés F., Quintero-Araújo Carlos L. (2015). “Aplicación de la investigación de operaciones en la logística humanitaria post-desastre: Revisión bibliográfica”. (Reyes-rubiano, Torres-ramos, & Quintero-araújo, 2015).



## **CAPÍTULO 4**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el desarrollo de este trabajo de grado se han identificado una serie de características propias de la situación post-desastre causada por una inundación repentina, por lo cual en este capítulo se describe las consideraciones y características para el problema de localización de instalaciones y asistencia a la población afectada en una situación post-desastre.

El problema se enmarca en tres decisiones de la gestión post-desastre causada por inundaciones repentinas. La primera decisión es de nivel estratégico, consiste en definir la red de instalaciones (albergues y punto de distribución) de tal manera que permita que la población afectada sea reubicada en zonas seguras y reciban asistencia oportuna; la red de instalaciones impacta directamente en la segunda decisión que es de nivel táctico asociada a la asignación del personal especializado, de igual manera en la tercera decisión que es de nivel operativo enfocada en la programación y definición de las rutas del personal especializado.

#### **4.1 Supuestos para la localización de instalaciones**

Para la localización de instalaciones se determinan los puntos geográficos potenciales, considerando la frecuencia de inundación como el riesgo asociado a cada punto o zona potencial. Se parte del supuesto de que la región afectada carece de infraestructura para albergar y asistir a la población afectada, por lo cual es necesario evacuar e instalar la población en zonas seguras con el propósito de suministrar la asistencia requerida (PNUD - UNGRD, 2012).

La localización de instalaciones es la decisión crítica en la gestión post-desastre de una inundación, dado que es la decisión estratégica que direcciona y define la red de instalaciones, permitiendo u obstaculizando el proceso de distribución de personal especializado en ayuda humanitaria. La definición de los puntos de localización hacen parte de la estrategia para la gestión post-desastre, pues de la localización depende el éxito en las operaciones de la cadena de suministro enfocadas en la asistencia de calamidades presentes en una situación post-desastre.

De acuerdo a lo planteado por (Sheu, 2007) se considera dividir la región afectada por la inundación en sub-zonas, y a partir de estas sub-zonas establecer qué cantidad de personas deben ser evacuadas e instaladas en los albergues. Por otro lado, es estudio parte del supuesto de que todos los albergues tienen la misma capacidad en número de personas y de la certidumbre de la demanda, es decir, los puntos en donde la población requiere ser evacuada se conoce con certeza. Es importante aclarar que el enfoque del estudio es la localización y no el proceso de evacuación de la población.

Además de la localización de los albergues se define la instalación de un único punto de distribución, partiendo de que una situación post-desastre es caracterizada por los daños en las vías de acceso, interrupción en la red de información y en el suministro de bienes y servicios (Tomasini & Wassenhove, 2009). De acuerdo a las experiencias vividas por los organismos de ayuda humanitaria, las operaciones relacionadas a la gestión de la situación post-desastre se hace de manera no controlada y descoordinada debido a la carencia de información (Street, 2006). Adicionalmente la instalación de múltiples puntos de distribución da cabida a errores como el reabastecimiento innecesario de los

albergues; es por esta razón que se considera establecer un único punto de distribución que garantice centralizar la información, permitiendo operar de manera coordinada y eficiente.

La red de instalaciones y la definición de rutas en situaciones post-desastres se enfocan en garantizar el cumplimiento de los derechos humanos y minimizar el tiempo de respuesta y el sufrimiento de la población afectada a través de una asistencia efectiva. A partir de lo anterior se establece la diferencia entre la cadena de suministro en situaciones de emergencia y la cadena de suministro comercial, la cual radica principalmente en los objetivos relacionados a la reducción de costos logísticos (costos fijos y costos variables asociados a la localización de instalaciones), mientras que la logística humanitaria busca reducir los costos de privación que están asociados al sufrimiento de la población por la privación de un bien o servicio (José Holguín-Veras, Pérez, Jaller, Van Wassenhove, & Aros-Vera, 2013).

#### **4.1.1 Definición del conjunto de zonas**

Para empezar es necesario hacer referencia a los derechos humanos, en los cuales se establece que todas las personas deben tener un lugar digno y seguro (SCHR/VOICE/ICVA, 2004); por lo cual las zonas potenciales para ubicar la población afectada por la inundación, deben cumplir con algunas consideraciones relacionadas con la protección frente al clima, problemas de salud y propagación de enfermedades, con el fin de mitigar el impacto de la inundación sobre la población afectada.

Las zonas potenciales se deben caracterizar por permitir el suministro de bienes y servicios, el cumplimiento de condiciones topográficas como la inclinación del terreno que no puede ser mayor al 6% ni menor al 1%, además garantizar el sistema de eliminación de desechos y de evacuación de aguas residuales, de igual manera estas zonas deben estar ubicadas lejos de aguas estancadas, aguas residuales y de todo tipo de desechos (SCHR/VOICE/ICVA, 2004), con el propósito de garantizar ambientes sanos.

En las zonas potenciales se ubican albergues o puntos de distribución, los cuales deben encontrarse al menor tiempo de viaje posible entre ellos, con el propósito de garantizar el fácil acceso y la pronta asistencia a la población afectada. Usualmente las escuelas, iglesias, campos deportivos, e instituciones educativas, de las regiones vecinas a la inundación son considerados como albergues y puntos de distribución (Contraloría Departamental del Atlántico, n.d.). Por lo cual las zonas potenciales consideradas en el problema, son zonas que además de cumplir con las características nombradas anteriormente tienen algún tipo de infraestructura que permite el resguardo de la población afectada. La capacidad del punto de distribución está asociada a la cantidad de personal especializado disponible para atender a la población afectada, y en cuanto a los albergues no se consideran cambios en la capacidad de estos, es decir, se parte del supuesto que la capacidad de los albergues es homogénea.

#### **4.1.2 Definición del riesgo de una zona**

La determinación de zonas potenciales para la instalación de un albergue o un punto de distribución depende de las características anteriormente nombradas y de la región afectada por la inundación, es decir, de acuerdo a las características del terreno y a la distancia entre la zona potencial y la zona inundada existe un posible riesgo de inundación, por lo cual se define el riesgo para cada zona potencial (SCHR/VOICE/ICVA, 2004).

Para este caso el riesgo asociado a cada zona se define como la frecuencia de ocurrencia de inundación en dicha zona. Esta información debe ser considerada como uno de los parámetros de entrada para el caso de estudio con el objetivo de penalizar (aumentar) el tiempo de viaje, según sea el riesgo de la zona. Ver anexo 1. El riesgo es un factor externo que es importante considerar, debido a que una mala localización de albergues y del punto de distribución representa un alto riesgo de enfrentar una segunda inundación, lo cual implica duplicar los esfuerzos para asistir a la población afectada y el aumento en la vulnerabilidad frente a enfermedades, trastornos psicológicos y pérdida de vidas humanas entre otros problemas.

## **4.2 Supuestos para el ruteo de personal especializado**

La oportuna asistencia médica y psicológica hace parte de los requerimientos de la población afectada, por lo cual este problema se enfoca en la asignación del personal especializado en el alivio de calamidades presentes en la población afectada. Es necesario recordar que en la situación post-desastre los recursos son limitados y en especial el recurso humano, por lo cual se requiere de una óptima coordinación para aumentar el alivio de la población.

En el modelamiento del problema se considera el personal especializado como el conjunto de personas capacitadas que integran unidades móviles con funciones específicas. El tipo de unidades móviles consideradas en este trabajo de grado son: unidades móviles médicas, unidades móviles de enfermeras, unidades móviles de psicólogos y unidades móviles de brigadistas, debido a que son el tipo de unidades móviles que ofrecen los servicios de salud (SCHR/VOICE/ICVA, 2004). Cada unidad móvil es capaz de atender cualquier calamidad; sin embargo, el porcentaje de alivio y el tiempo de atención dependen del tipo de calamidad y del tipo de unidad móvil que asista a la población.

Para este problema el ruteo de personal especializado hace referencia a la decisión táctica de asignar las unidades móviles según los requerimientos de la población afectada y a la decisión operativa de definir la programación de las rutas para cada unidad móvil. La demanda de personal especializado es un parámetro de entrada dado por el modelo de localización anteriormente descrito, dicha demanda está dada en números de familias que requieren ser atendidas y es un valor que se conoce con certeza. El modelo de localización define la red de múltiples albergues y un único punto de distribución del cual salen y regresan las unidades móviles, además garantiza que la información sea concentrada en un solo punto y a partir de este la coordinación del personal sea óptima. La logística humanitaria comprende dos niveles de coordinación: nacional e internacional como la Organización Panamericana de la Salud, Movimiento de Cruz Roja y la Media Luna Roja, etc., los cuales unen sus esfuerzos por suministrar de manera oportuna la asistencia a la población damnificada, de esta manera se resalta la importancia de segmentar el tipo de personal de acuerdo a su conocimiento y no de acuerdo a la organización a la cual pertenece.

### **4.2.1 Definición de las calamidades**

Las calamidades son el tipo de problemas de salud que aparecen como consecuencia de la inundación, en el caso de las inundaciones repentinas, existen diferentes tipos de problemas que requieren de un tipo de asistencia médica específica. Las lesiones que se presentan en las inundaciones en su mayoría no son letales, sin embargo, las enfermedades propagadas por la inundación sí lo son. Estas

calamidades permiten que las inundaciones se caractericen por generar el mayor número de pérdida de vidas (Street, 2006) (IFRC, 2010).

Las inundaciones repentinas usualmente provocan la caída y el movimiento de árboles, rocas, escombros y elementos voluminosos, los cuales son los principales responsables de las lesiones físicas y del ahogamiento de personas. El agua contaminada con desechos industriales es el principal medio para la propagación del dengue, malaria, cólera, diarrea, hepatitis A y E, enfermedades respiratorias y gastrointestinales, entre otras enfermedades transmitidas por vector (Street, 2006) (Ver Tabla 3). Otro tipo de calamidades se asocia a un componente psicológico, causado principalmente por el desplazamiento forzado, la pérdida de parientes, los abusos físicos y sexuales, entre otros (IFRC, 2010). No obstante, la propagación de enfermedades se da por la presencia de vectores en la zona inundada, por lo cual después de que la población es aislada de la zona inundada el periodo de aparición de enfermedades es hasta 40 días, es decir, la manifestación de las enfermedades puede tardar hasta 40 días (Street, 2006).

La Tabla 3 muestra las enfermedades más comunes en una inundación y la tasa de incidencia de estas; es decir, la probabilidad de presentarse dicha enfermedad en una población que ha sido afectada por una inundación (Alderman, Turner, & Tong, 2012).

**Tabla 3 Calamidades relevantes en una inundación. Elaboración propia del autor. (Alderman et al., 2012)**

Calamidad	Problemas de Salud	Tasa de Incidencia
Trastornos psicológicos por la inundación (pérdida de familiares). (PE)	Trastornos de sueño	27.1%
	Ansiedad	21.3%
	Estrés post-traumático	39.5%
Trastornos psicológicos por la inundación (pérdidas económicas). (PA)	Trastornos de sueño	27.1%
	Ansiedad	21.3%
	Estrés post-traumático	39.5%
Trastornos psicológicos por maltrato físico y/o abuso sexual. (A)	Trastornos de sueño	27.1%
	Ansiedad	21.3%
	Estrés post-traumático	39.5%
Lesiones	Fracturas	11.7%
	Aplastamiento de extremidades	11.7%
Heridas leves	Golpes, rasguños, cortadas pequeñas	90.0%
Enfermedades gastrointestinales	Vómito	4.3%
	Diarrea	4.3%
	Cólera	2.0%
Infecciones respiratorias	Tos	7.6%
	Rinorrea	9.9%
	Exantema	3.5%
	Dolor de garganta	3.5%
Enfermedades metaxénicas	Malaria, dengue, etc.	30.0%

Cada calamidad requiere de la atención de un tipo de unidad móvil específica, sin embargo todas las unidades móviles están en la capacidad de atender cualquier tipo de calamidad, resaltando que el porcentaje de alivio y el tiempo de atención depende del tipo de unidad móvil y del tipo de calamidad a atender.

#### **4.2.2 Definición del personal (unidades móviles)**

Aunque todas las unidades móviles tienen la capacidad de atender todas las calamidades, el porcentaje de alivio y el tiempo de atención varían de acuerdo al tipo de unidad móvil y a la calamidad a atender (Ver anexo 2 y 3). Para el problema se consideraron 4 tipos de unidades móviles las cuales se diferencian por el tipo de personal que las integra: la unidad móvil de brigadistas de apoyo está integrada de personal capacitados para atender calamidades leves; la unidad móvil médica se caracteriza dentro del problema como la unidad móvil que ofrece el mayor porcentaje de alivio para todas las calamidades. La unidad móvil de enfermeras presenta mayor habilidad en el alivio de calamidades leves y de algunas urgencias médicas unidad; finalmente la unidad móvil de psicólogos está integrada por especialistas en el alivio de traumas psicológicos.

Para determinar el porcentaje de alivio que proporciona cada tipo de personal (médico, enfermera, psicólogo y brigadista de apoyo), se realizó un conversatorio con expertos para identificar el porcentaje de alivio que ellos con su conocimiento y experiencia podrían proporcionar a las calamidades nombradas en la Tabla 3, considerando un ambiente de emergencias. De esta manera se determinó el porcentaje de alivio que médicos, enfermeras, psicólogos y brigadistas, suministran a la población en situaciones de emergencias. De esta manera se define la Tabla 4 que describe la variación según el tipo de calamidad y el tipo de personal o unidad móvil que la atiende, esto se debe a que cada calamidad requiere de la atención de un tipo de personal específico para garantizar el máximo alivio posible.

El reto en la gestión de la situación post-desastre es suministrar una asistencia oportuna en tiempos reducidos de respuesta, por lo cual el parámetro de tiempo de atención y el porcentaje de alivio están relacionados, por ejemplo en el caso de las enfermedades diarreicas la unidad móvil médica (UMM) ofrece mayor porcentaje de alivio que la unidad móvil de psicólogos (UMP) y de brigadistas (UMB), por lo cual el tiempo de atención que requiere la UMM es menor que el tiempo requerido por la UMB y la UMP para atender dicha calamidad, esto con el fin de evidenciar la efectividad del personal en la atención de calamidades (Ver Tabla 4, ver Anexo 3).

**Tabla 4 Capacidad de alivio por unidad móvil**

Calamidad	Unidad Móvil:			
	Médico	Enfermera	Psicólogo	Brigadista
Trastornos psicológicos por la inundación (pérdida de familiares)	80%	10%	50%	30%
Trastornos psicológicos por la inundación (pérdidas económicas)	80%	10%	50%	20%
Trastornos psicológicos por maltrato físico y/o abuso sexual	70%	5%	50%	20%
Fracturas	80%	80%	10%	20%
Aplastamiento de extremidades	70%	80%	10%	10%
Heridas leves (golpes, rasguños, cortadas pequeñas)	100%	100%	20%	50%
Enfermedades diarreicas agudas	90%	80%	10%	10%
Infecciones respiratorias	90%	80%	10%	10%
Enfermedades metaxénicas (Malaria, dengue, etc.)	60%	30%	10%	10%

Es probable que en los damnificados existan familias que hayan sufrido mayor tiempo de exposición a condiciones inhóspitas, por lo cual se estima que el impacto de la inundación en la población pueda generar varios tipos de enfermedades (calamidades), Ver Anexo 2. Se estima que el número de familias que las unidades móviles pueden atender en la emergencia, equivalen al número de familias que cada unidad móvil puede visitar en 40 días, que equivalen al tiempo máximo en el que aparecen las enfermedades; es decir, después de 40 días no aparecerá ninguna persona enferma (Street, 2006); por lo cual el número de familias que puede atender cada unidad móvil a:

$$\begin{aligned} & \text{Número máximo de personas que pueden ser atendidas durante la emergencia} \\ & = \text{capacidad de atención} * 40 \text{ días} \end{aligned}$$

### 4.3 Conclusiones

De la situación post-desastre se resalta el tiempo de respuesta como el factor más importante dentro de la gestión, puesto que de éste depende el nivel de morbilidad y mortalidad de la población afectada. Las calamidades presentes en la población, el riesgo de inundación asociado a las zonas potenciales y el número limitado de personal especializado, son los factores dinamizadores de la situación, por lo cual es necesario considerar estos factores a la hora de tomar decisiones estratégicas, tácticas y operativas.

## CAPÍTULO 5

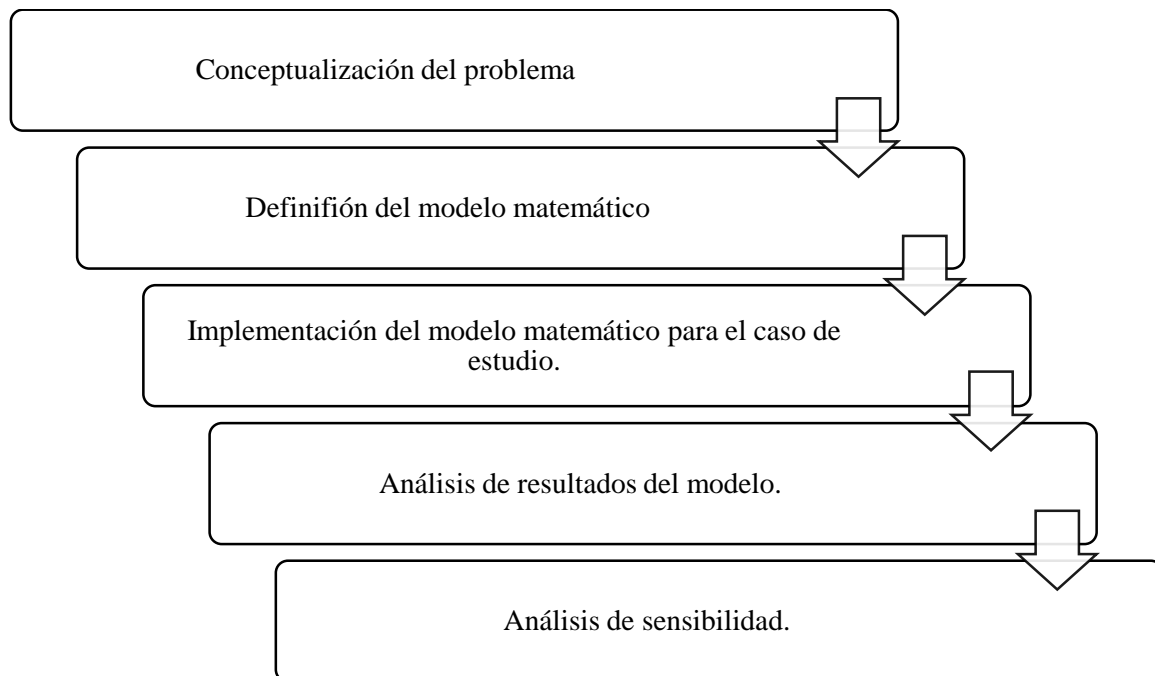
### MODELAMIENTO MATEMÁTICO Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

En este capítulo se presentan tres propuestas para solucionar el problema de la localización de un punto de distribución y múltiples albergues, además del ruteo del personal especializado en una situación pos-desastre ocasionada por una inundación repentina. El objetivo de las propuestas es reducir el tiempo de operación, garantizando reducidos tiempos de viaje entre el punto de distribución y los albergues, además de asignar el tipo de personal más efectivo para minimizar el sufrimiento de la población afectada; de esta manera se busca tener tiempos mínimos de operación.

Como se resalta en el capítulo 4, la logística humanitaria busca reducir los costos de privación que están asociados al sufrimiento de la población por la privación de un bien o servicio (José Holguín-Veras et al., 2013). De acuerdo a lo dicho anteriormente, se consideró la reducción del tiempo de operación como el objetivo de cada modelo desarrollado en las propuestas, con el fin de reducir el tiempo de respuesta a los requerimientos de la población afectada; es decir, minimizar el tiempo requerido para suministrar asistencia y alivio al sufrimiento de la población.

Por lo anterior, ningún modelo presentado en las propuestas de solución tiene un enfoque económico puesto que en situaciones de emergencia priman los aspectos sociales (José Holguín-Veras et al., 2013).

A continuación se describe la metodología general para los modelos propuestos en este trabajo de grado:



## 5.1 Propuesta 1: Modelo jerárquico

Se decide estratégicamente abordar de manera jerárquica el problema de localización de instalaciones y el ruteo de personal especializado, en la separación de este problema resultan dos sub-problemas, el primero enfocado en el problema de localización de instalaciones y el problema de ruteo de vehículos.

Esta propuesta se ejecuta en dos etapas, 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. La ubicación y cantidad de albergues es la necesaria para refugiar a toda la población afectada, no obstante esta propuesta considera la operación de evacuación y reubicación temporal de la población afectada.

La segunda etapa parte de los resultados de la primera etapa debido a que las instalaciones (albergues y punto de distribución) determinados en la misma definen la red de suministro que se considera en la etapa 2. De acuerdo a lo anterior, se diseñó un modelo que permitiera hacer la asignación y la definición de las rutas de las unidades móviles disponibles para la atención a la población afectada. De acuerdo al capítulo anterior, lo que se pretende con el modelo es asignar de manera efectiva el personal, es decir, se asignan las unidades móviles que proporcionen un mayor porcentaje de alivio en un menor tiempo de atención, considerando las calamidades presentes en la inundación.

### 5.1.1 Etapa 1: Modelo de localización

El modelo desarrollado para la primera parte de esta propuesta tiene las siguientes características:

- La función objetivo es minimizar el tiempo de viaje entre el punto de distribución y los múltiples albergues, considerando el riesgo de inundación asociado a cada zona potencial.
- El número de albergues se determina de acuerdo a la densidad poblacional de la zona afectada.
- Se instala un punto de distribución con el objetivo de centralizar la información y coordinar los recursos desde un punto.
- Para cada zona potencial se define un riesgo de inundación el cual penaliza los tiempos de viaje, esto se hace con el fin de que el modelo escoja los sitios más seguros para instalar albergues o el punto de distribución y evitar que la población viva una segunda inundación.
- La zona afectada es completamente evacuada permitiendo instalar el 100% de la población afectada en zonas seguras.

Notación

### Conjuntos e índices

- $V$  Conjunto de nodos seguros  $\{I \cup J\}$
- $I$  Subconjunto de nodos seguros  $V$  que describe las zonas potencialmente seguras para instalar el punto de distribución.



- $J$  Subconjunto de nodos seguros  $V$  que describe las zonas potencialmente seguras para instalar los albergues.  $J$  alias de  $I$ .
- $D$  Conjunto de sub-zonas de la región inundada.

### Variables de decisión

Cada variable está asociada a la decisión estratégica de localización en la gestión del post-desastre en una inundación. Estas variables determinan qué tipo de locación (punto de distribución o albergue) abrir en una zona determinada, qué zona afectada es asistida por dicha locación y qué grupo poblacional con determinado tipo de calamidad es refugiado en un albergue específico; dicha asignación no discrimina a las familias por tipo de calamidad debido a que la propagación de enfermedades se da por la presencia de vectores en la zona. El modelo de localización de instalaciones garantiza que toda la población sea evacuada de la zona inundada y ubicada en una zona segura con el fin de cumplir los principios de igualdad, neutralidad y equidad. A continuación se describen las variables de decisión que fueron consideradas para la formulación del modelo:

- $a_i$  Variable binaria. 1 para indicar si el punto de distribución es ubicado en la zona  $i$ . 0 De lo contrario
- $b_j$  Variable binaria. 1 para indicar si el albergue es ubicado en la zona  $j$ . 0 De lo contrario.
- $Q_j^d$  Cantidad de familias de la sub-zona  $d$  que son evacuados y refugiados en el albergue  $j$ .
- $E_{i,j}$  Variable binaria. 1 para indicar si el punto de distribución  $i$  atiende al albergue  $j$ . 0 De lo contrario.

### Parámetros

- $T_{i,j}$  Tiempo de viaje entre el punto de distribución ubicado en la zona  $i$  y el albergue ubicado en la zona  $j$ .
- $O_d$  Número de familias en la sub-zona  $d$  que requieren ser evacuadas.
- $K$  Capacidad en número de familias de los albergues.
- $F$  Número arbitrario muy grande.
- $\Delta$  Holgura para el número de familias que requieren ser atendidas.
- $RA_j$  Riesgo de inundación asociado al albergue ubicado en la zona  $j$ .
- $RCD_i$  Riesgo de inundación asociado al punto de distribución instalado en la  $i$ .

## Modelo

$$\text{MIN } Z = \sum_{\forall j \in J} \sum_{\forall i \in I} E_{i,j} T_{i,j} R A_j R C D_i \quad (1)$$

$$\sum_{\forall i \in I} a_i = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{\forall i \in I} E_{i,j} = b_j, \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{\forall j \in J} E_{i,j} \leq F a_i, \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$b_j F \geq \sum_{\forall d \in D} Q_j^d, \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$b_j \leq \sum_{\forall d \in D} Q_j^d, \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$\sum_{\forall j \in J} b_j \geq \frac{\sum_{\forall d \in D} O_d + \Delta}{K} \quad (7)$$

$$\sum_{\forall j \in J} Q_j^d \geq O_d, \quad \forall d \in D \quad (8)$$

$$\sum_{\forall d \in D} Q_j^d \leq K, \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$a_i + b_j \leq 1, \quad \forall i \in I, j \in J, i = j \quad (10)$$

$$a_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I \quad (11)$$

$$b_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (12)$$

$$E_{i,j} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J$$

$$Q_j^d \geq 0, \quad \forall j \in J, d \in D \quad (13)$$

La función objetivo del modelo (1) consiste en minimizar el tiempo de viaje entre los múltiples albergues ubicados en las zonas  $J$  y el punto de distribución ubicado en la zona  $I$  considerando una penalización por el posible riesgo de inundación en la zona  $I$  o  $J$ , por lo cual se definen los parámetros  $RA_j$  y  $RCD_i$  respectivamente, los cuales según sea el riesgo de inundación asociado a la zona, penalizan (aumentan) los tiempos de viaje (Ver Anexo 1). La restricción (2) garantiza la apertura de un único punto de distribución. Las restricciones (3) aseguran que los albergues atendidos por personal especializado provienen de un punto de distribución existente, las restricciones (4) garantizan que los albergues sólo pueden ser atendidos por un punto de distribución que esté abierto. Las restricciones (5) y (6) relacionan la variable  $b_j$  y la variable  $Q_j^d$  garantizando que un albergue atiende a una zona afectada sólo si éste es abierto. La restricción (7) garantiza que el número de albergues a abrir sean suficientes para refugiar a toda la población damnificada. Las restricciones (8) aseguran que el número de familias refugiadas en los múltiples albergues sea mayor o igual a la cantidad de familias que requieren ser evacuadas en instaladas en un albergue. Las restricciones (9)

garantizan que el número de personas a alojar en cada albergue debe ser menor o igual a la capacidad del albergue. El conjunto  $J$  es una copia del conjunto  $I$  por lo cual las restricciones (10) garantizan que una zona no pueda tener más de un uso, es decir, la zona es usada para un albergue o para un punto de distribución. Las restricciones (11), (12) y (13) caracterizan las variables de decisión consideradas en el problema.

### 5.1.2 Etapa 2: Modelo de ruteo de personal especializado

La segunda parte de la propuesta, presenta las siguientes características:

- La función objetivo es minimizar el tiempo de viaje de las rutas del personal especializado además de minimizar el tiempo de atención que requiere cada personal para aliviar una calamidad específica. Lo que se pretende es que el modelo asigne el personal más efectivo para el alivio de las calamidades.
- El objetivo del modelo está segmentado en dos partes, la primera corresponde a los tiempos de viaje y la segunda a los tiempos de atención, para cada una de éstas se definió un peso de importancia mayor para el tiempo de atención que para el tiempo de viaje. Para esta segunda parte de la propuesta es más importante el tiempo de atención debido a que la primera parte de la propuesta define estratégicamente la ubicación de los albergues y del punto de distribución, garantizando la proximidad entre las instalaciones.
- Se establece un parámetro  $\alpha$  a criterio de los autores, debido a que el objetivo de las propuestas es reducir el tiempo de operación, por lo cual el objetivo del modelo incentiva (a través de los tiempos de atención de las unidades móviles) la asignación del personal más efectivo de acuerdo al tipo de calamidad, por lo cual el tiempo de atención está relacionados con el porcentaje de alivio que puede entregar cada unidad móvil según la calamidad. A partir de lo anterior se estableció un valor de  $\alpha = 5\%$  para el tiempo de viaje, para el tiempo de operación se estableció un valor del  $95\%$ , lo cual indica que el tiempo de atención es más importante que el tiempo de viaje.
- Tanto el porcentaje de alivio como el tiempo de atención varía de acuerdo al tipo de calamidad y al tipo de unidad móvil que atiende a la población.
- Todos los albergues deben recibir asistencia por al menos un tipo de personal especializado.
- Todas las unidades móviles salen y regresan al punto de distribución.

### Notación

#### Conjuntos e índices

$I$	Conjunto que describe la ubicación del punto de distribución y los albergues $\{W \cup E\}$ .
$W$	Subconjunto que describe la ubicación del punto de distribución.
$E$	Subconjunto que describe la ubicación de los albergues.
$J$	Conjunto auxiliar. $J$ alias de $I$ .
$L$	Conjunto de personal especializado.
$M$	Conjunto de calamidades presentes en la población afectada.

### Variables de decisión

- $X_i^{j,l}$  Variable binaria. 1 para indicar si la unidad móvil  $l$  va del albergue o punto de distribución  $i$  al albergue o punto de distribución  $j$ . 0 De lo contrario.
- $u_i$  Variable auxiliar para romper los sub-ciclos de las rutas.

### Parámetros

- $TV_{i,j}$  Tiempo de viaje entre el albergue o punto de distribución  $i$  el albergue o punto de distribución  $j$ .
- $D_{j,m}$  Número de familias que padecen de la calamidad  $m$  en el albergue  $j$ .
- $TA_{l,m}$  Tiempo que tarda la unidad móvil  $l$  para atender la calamidad tipo  $m$ .
- $C_l$  Número de familias que puede atender la unidad móvil  $l$  al día.
- $Alivio_{l,m}$  Porcentaje de alivio que suministra la unidad móvil  $l$  cuando atiende la calamidad  $m$ .
- $N$  Número de nodos a visitar.
- $\gamma$  Días empleados en la atención de calamidades.
- $\alpha$  Peso en la función objetivo del tiempo de viaje entre el punto de distribución y los albergues.

### Modelo

$$\text{MIN } Z = \sum_{\forall i \in I} \sum_{\forall j \in J} \sum_{\forall l \in L} \sum_{\forall m \in M} X_i^{j,l} (\alpha TV_{i,j} + (1-\alpha) TA_{l,m} D_{j,m}) \quad (1)$$

$$\sum_{\forall j \in J} X_i^{j,l} \leq 1, \quad \forall l \in L, i \in W \quad (2)$$

$$\sum_{\forall i \in J} X_i^{j,l} \leq 1, \quad \forall l \in L, j \in W \quad (3)$$

$$\sum_{\forall i \in I} X_i^{j,l} = \sum_{\forall i \in I} X_j^{i,l}, \quad \forall j \in E, l \in L \quad (4)$$

$$\sum_{\forall i \in I} \sum_{\forall j \in E} \sum_{\forall m \in M} X_i^{j,l} D_{j,m} \leq \sum_{\forall m \in M} C_l Alivio_{l,m} Y, \quad \forall l \in L \quad (5)$$

$$\sum_{\forall i \in I} \sum_{\forall l \in L} X_i^{j,l} \geq 1, \quad \forall j \in E \quad (6)$$

$$\sum_{\forall j \in J} \sum_{\forall l \in L} X_i^{j,l} \geq 1, \quad \forall i \in E \quad (7)$$

$$u_i - u_j + N X_i^{j,l} \leq N - 1, \quad \forall i \in E, j \in E, l \in L \quad (8)$$

$$X_i^{j,l} \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J, i \in I, l \in L \quad (9)$$

$$u_i \geq 0 \quad (10)$$

La ecuación (1) describe la función objetivo del modelo, la cual busca minimizar el tiempo de viaje y el tiempo de atención, esta ecuación se compone de dos partes: la primera está relacionada con el

tiempo de viaje entre albergues y punto de distribución y la segunda hace referencia al tiempo de operación empleado en la atención de la población afectada; para cada parte se define un nivel de importancia  $\alpha$  y  $(1 - \alpha)$  respectivamente. Las restricciones (2) aseguran que la ruta de las unidades móviles inicie en el punto de distribución. Las restricciones (3) garantizan que la ruta de las unidades móviles termine en el punto de distribución. Las restricciones (4) están asociadas al balance entre albergues, es decir, garantiza la continuidad de la ruta de la unidad móvil. Las restricciones (5) están asociadas a la capacidad de atención de cada unidad móvil y el respectivo porcentaje de alivio por calamidad atendida, además de esto, se permite el no cumplimiento de la demanda lo cual es una característica propia de la situación post-desastre (Ver tabla 4, Anexo 2 y 3). Las restricciones (6) y (7) permiten que cada albergue sea atendido por más de una unidad móvil. Las restricciones (8) garantizan la ruptura de los sub-ciclos de las rutas (Kara, Laporte, & Bektas, 2004). Las restricciones (9) y (10) describen el tipo de variables consideradas en el modelo, en donde  $X_i^{j,l}$  es una variable binaria y  $u_i$  es una variable positiva.

## 5.2 Propuesta 2: Modelo integral

A diferencia de la propuesta anterior, el modelo integral involucra la decisión estratégica de la ubicación del punto de distribución, la decisión táctica y operativa de la asignación y ruteo de las unidades móviles. La propuesta parte del supuesto de que la ubicación de los albergues está previamente definida por el gobierno y/o entes de control. No obstante esta propuesta considera un riesgo de inundación para la ubicación del punto de distribución.

El modelo definido para esta propuesta pretende integrar la decisión de localización del punto de distribución, asignación y ruteo de las unidades móviles considerando las características de una situación de emergencia.

La segunda propuesta, presenta las siguientes características:

- La función objetivo es minimizar el tiempo de viaje de las rutas del personal especializado además de minimizar el tiempo de atención que requiere cada personal para aliviar una calamidad específica. Lo que se pretende es que el modelo asigne el personal más efectivo para el alivio de las calamidades.
- Se considera solo el tiempo de viaje entre albergues y entre el punto de distribución y los albergues. Aunque el tiempo de regreso hace parte del tiempo de operación, en esta propuesta no se considera debido a que es un tiempo relacionado a la oportuna atención y al alivio de la población.
- Por las razones descritas en la propuesta anterior, se definen pesos de importancia en donde se evidencia que el tiempo de atención es más importante que el tiempo de viaje ( $\alpha = 5\%$ ). Se da prioridad al tiempo de atención, debido a que es más importante invertir el tiempo realmente necesario para atender a la población afectada y minimizar el sufrimiento de ésta.
- El tiempo que requiere una unidad móvil para atender a la población varía de acuerdo a la calamidad y de acuerdo al tipo de unidad móvil, de igual forma el porcentaje de alivio que proporciona una unidad móvil especializada varía de acuerdo a la calamidad y de acuerdo al tipo de unidad móvil.
- Todos los albergues deben recibir asistencia por al menos un tipo de personal especializado.

- Todas las unidades móviles salen y regresan al punto de distribución.

## Notación

### Conjuntos e índices

$I$	Nodos seguros. Conjunto de zonas potenciales para ubicar el punto de distribución.
$J$	Conjunto de albergues abiertos.
$L$	Conjunto de personal especializado.
$M$	Conjunto de calamidades presentes en la población afectada.
$K$	Conjunto auxiliar. $K$ alias de $J$ .

### Variables de decisión

$a_i$	Variable binaria. 1 para indicar si el punto de distribución es ubicado en la zona $i$ . 0 De lo contrario.
$E_i^{j,l}$	Variable binaria. 1 para indicar si la unidad móvil $l$ sale del punto de distribución $i$ al albergue $j$ . 0 De lo contrario.
$X_j^{k,l}$	Variable binaria. 1 para indicar si la unidad móvil $l$ va del albergue $j$ al albergue $k$ . 0 De lo contrario.
$B_j^{i,l}$	Variable binaria. 1 para indicar si la unidad móvil $l$ va del albergue $j$ al punto de distribución $i$ . 0 De lo contrario.

### Parámetros

$TV_{j,k}$	Tiempo de viaje entre el albergue $j$ y el albergue $k$ .
$TVDA_{i,j}$	Tiempo de viaje entre el punto de distribución $i$ y el albergue $j$ .
$RCD_i$	Riesgo de inundación asociado al punto de distribución instalado en la $i$ .
$D1_{j,m}$	Número de familias que padecen de la calamidad $m$ en el albergue $j$ .
$D2_{k,m}$	Número de familias que padecen de la calamidad $m$ en el albergue $k$ .
$TA_{l,m}$	Tiempo que tarda la unidad móvil $l$ para atender la calamidad tipo $m$ .
$C_l$	Número de familias que puede atender la unidad móvil $l$ al día.
$Alivio_{l,m}$	Porcentaje de alivio que suministra la unidad móvil $l$ cuando atiende la calamidad $m$ .
$F$	Número arbitrario muy grande.
$N$	Número de albergues a visitar.
$\gamma$	Días empleados en la atención de calamidades.

$\alpha$  Peso en la función objetivo del tiempo de viaje entre el punto de distribución y los albergues.

### Modelo

$$\text{MIN } Z = \sum_{\forall i \in V} \sum_{\forall j \in V} \sum_{\forall l \in L} \sum_{\forall m \in M} E_i^{j,l} (\alpha TVDA_{i,j} RCD_i + (1-\alpha) TA_{l,m} D1_{j,m}) + \sum_{\forall i \in V} \sum_{\forall k \in V} \sum_{\forall l \in L} \sum_{\forall m \in M} X_j^{k,l} (\alpha TV_{j,k} + (1-\alpha) TA_{l,m} D2_{k,m}) \quad (1)$$

$$\sum_{\forall i \in I} a_i = 1 \quad (2)$$

$$Fa_i \geq \sum_{\forall l \in L} \sum_{\forall j \in J} E_i^{j,l}, \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$Fa_i \geq \sum_{\forall l \in L} \sum_{\forall j \in J} B_j^{i,l}, \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{\forall j \in J} E_i^{j,l} \leq 1, \quad \forall i \in I, l \in L \quad (5)$$

$$\sum_{\forall i \in I} E_i^{j,l} \leq 1, \quad \forall j \in J, l \in L \quad (6)$$

$$\sum_{\forall i \in I} E_i^{j,l} = \sum_{\forall k \in K} X_j^{k,l}, \quad \forall j \in J, l \in L \quad (7)$$

$$\sum_{\forall k \in K} X_k^{j,l} = \sum_{\forall i \in I} B_j^{i,l}, \quad \forall j \in J, l \in L \quad (8)$$

$$\sum_{\forall i \in I} \sum_{\forall l \in L} E_i^{k,l} + \sum_{\forall j \in J} \sum_{\forall l \in L} X_j^{k,l} \geq 1, \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{\forall i \in I} \sum_{\forall l \in L} B_j^{i,l} + \sum_{\forall k \in K} \sum_{\forall l \in L} X_j^{k,l} \geq 1, \quad \forall k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{\forall i \in I} \sum_{\forall j \in J} E_i^{j,l} \sum_{\forall m \in M} D1_{j,m} + \sum_{\forall j \in J} \sum_{\forall k \in J} X_j^{k,l} \sum_{\forall m \in M} D2_{k,m} \leq \sum_{\forall m \in M} Alivio_{l,m} C_l Y, \quad \forall l \in L \quad (11)$$

$$E_i^{j,l} \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J, i \in I, l \in L \quad (12)$$

$$X_j^{k,l} \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J, k \in J, l \in L \quad (13)$$

$$B_j^{i,l} \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J, i \in I, l \in L \quad (14)$$

$$u_i \geq 0 \quad (15)$$

La ecuación (1) describe la función objetivo del modelo, el cual consiste en minimizar el tiempo de operación, el tiempo de operación se compone de dos partes: la primera considera el tiempo de viaje entre instalaciones y la segunda parte considera el tiempo invertido en la atención de la población damnificada. La restricción (2) garantiza que el número de puntos de distribución a abrir sea sólo uno. Las restricciones (3) aseguran que las rutas de las unidades móviles partan del punto de distribución abierto, mientras que las restricciones (4) garantizan que las rutas de las unidades móviles terminen en el punto de distribución. Las restricciones (5) garantizan que sólo salgan del punto de distribución la cantidad de unidades móviles necesarias para la atención de la población afectada. Las restricciones (6) aseguran que las unidades móviles salen de un punto de distribución que ha sido

abierto hacia un único nodo de destino, es decir, hacia un albergue. Las restricciones (7) garantizan la continuidad de la ruta para las unidades móviles  $l$  que asisten los primeros albergues, es decir, la unidad móvil  $l$  parte del punto de distribución  $i$  hacia el albergue  $j$ , luego de asistir a la población del albergue esta unidad móvil parte desde ese mismo albergue hacia otro albergue. Las restricciones (8) garantizan la continuidad de la ruta de regreso de las unidades móviles que asisten a los últimos albergues de la ruta, esta restricción asegura que dichas unidades móviles partan desde esos mismos albergues al punto de distribución. Las restricciones (9) y (10) permiten que los albergues sean visitados por más de una unidad móvil, además garantizan cierta conservación de flujo en el número de unidades móviles visitando los albergues y saliendo de/regresando al centro de distribución. Las restricciones (11) están asociadas a la demanda de asistencia de la población afectada, en donde se garantiza que la cantidad de familias atendidas sea menor o igual al número de familias que puede atenderse en el periodo de tiempo  $Y$ . Las restricciones (12)-(15) caracterizan las variables consideradas en el modelo.

### **5.3 Propuesta 3: Location-Allocation-Routing**

Se decide estratégicamente abordar de manera integral todas las decisiones consideradas en la primera propuesta, en donde se enmarcan operaciones de evacuación y ubicación temporal de la población afectada, localización de los albergues y del punto de distribución considerando el riesgo de inundación y la asignación y ruteo de las unidades móviles especializadas. A diferencia de la primera propuesta en el Location-Allocation-Routing no se divide el problema en subproblemas.

Para esta propuesta se consideran las mismas características, variables, parámetros y restricciones considerados en los dos modelos de la propuesta 1.

La tercera propuesta, presenta las siguientes características:

- La función objetivo es minimizar el tiempo de viaje de las rutas del personal especializado además de minimizar el tiempo de atención que requiere cada personal para aliviar una calamidad específica. Lo que se pretende es que el modelo asigne el personal más efectivo para el alivio de las calamidades.
- Se considera solo el tiempo de viaje entre albergues y entre el punto de distribución y los albergues. Aunque el tiempo de regreso hace parte del tiempo de operación, en esta propuesta no se considera debido a que es un tiempo relacionado a la oportuna atención y al alivio de la población.
- El número de albergues se determina de acuerdo a la densidad poblacional de la zona afectada.
- Se instala un punto de distribución con el objetivo de centralizar la información y coordinar los recursos desde un punto.
- Para cada zona potencial se define un riesgo de inundación el cual penaliza los tiempos de viaje, esto se hace con el fin de que el modelo escoja los sitios más seguros para instalar albergues o el punto de distribución y evitar que la población viva una segunda inundación.
- Se considera de manera independiente el riesgo de inundación del albergue y del centro de distribución, sin embargo no se considera el riesgo de inundación para las conexiones entre los albergues.



- La zona afectada es completamente evacuada permitiendo instalar el 100% de la población afectada en zonas seguras.
- Se definen pesos de importancia en donde se evidencia que el tiempo de atención es más importante que el tiempo de viaje ( $\alpha=5\%$ ), debido a que es más importante invertir el tiempo realmente necesario para atender a la población afectada y minimizar el sufrimiento de ésta.
- Tanto el porcentaje de alivio como el tiempo de atención varía de acuerdo al tipo de calamidad y al tipo de unidad móvil que atiende a la población.
- Todos los albergues deben recibir asistencia por al menos un tipo de personal especializado.
- Todas las unidades móviles salen y regresan al punto de distribución.

## Notación

### Conjuntos e índices

$V$	Conjunto de nodos seguros. Zonas potencialmente seguras $\{I \cup J\}$
$I$	Subconjunto de nodos seguros $V$ que describe las zonas potencialmente seguras para instalar el punto de distribución.
$J$	Subconjunto de nodos seguros $V$ que describe las zonas potencialmente seguras para instalar los albergues.
$D$	Conjunto de sub-zonas de la región inundada.
$L$	Conjunto de personal especializado.
$M$	Conjunto de calamidades presentes en la población afectada.
$H$	Conjunto auxiliar. $H$ alias de $J$ .
$S$	Conjunto auxiliar. $H$ alias de $J$ .

### Variables de decisión

$a_i$	Variable binaria. 1 para indicar si el punto de distribución es ubicado en la zona $i$ . 0 De lo contrario.
$b_j$	Variable binaria. 1 para indicar si el albergue es ubicado en la zona $j$ . 0 De lo contrario.
$Q_{j,d}^m$	Cantidad de familias con calamidad $m$ de la sub-zona $d$ que son evacuados y refugiados en el albergue $j$ .
$Demanda_j^m$	Cantidad de familias con calamidad $m$ refugiados en el albergue $j$ .
$n_i^{j,l}$	Variable binaria. 1 para indicar si la unidad móvil $l$ sale del punto de distribución $i$ a atender al albergue $j$ . 0 De lo contrario.
$X_j^{h,l}$	Variable binaria. 1 para indicar si la unidad móvil $l$ va del albergue $j$ al albergue $h$ . 0 De lo contrario.
$p_j^{i,l}$	Variable binaria. 1 para indicar si la unidad móvil $l$ va del albergue $j$ al punto de distribución $i$ . 0 De lo contrario.

### Parámetros

$T_{i,j}$	Tiempo de viaje entre el punto de distribución $i$ y el albergue $j$ .
$T_{1,j,h}$	Tiempo de viaje entre el albergue $j$ y el albergue $h$ .
$RCD_i$	Riesgo de inundación asociado al punto de distribución instalado en la zona $i$ .
$RA_j$	Riesgo de inundación asociado al albergue instalado en la $j$ .
$RAA_h$	Riesgo de inundación asociado al albergue instalado en la zona $h$ .
$O_{d,m}$	Número de familias con calamidad $m$ en la sub-zona $d$ que requieren ser evacuadas.
$TA_{l,m}$	Tiempo que tarda la unidad móvil $l$ para atender la calamidad tipo $m$ .
$C_l$	Número de familias que puede atender la unidad móvil $l$ al día.
Alivio $l,m$	Porcentaje de alivio que suministra la unidad móvil $l$ cuando atiende la calamidad $m$ .
$K$	Capacidad en número de familias de los albergues.
$\gamma$	Días empleados en la atención de calamidades.
$F$	Número arbitrario muy grande.
$\alpha$	Peso en la función objetivo del tiempo de viaje entre el punto de distribución y los albergues.

### Modelo

$$\begin{aligned} \text{MIN } Z = & \sum_{\forall i \in V} \sum_{\forall j \in V} \sum_{\forall l \in L} \sum_{m \in M} n_i^{j,l} (\alpha T_{i,j} RCD_i RA_j + (1-\alpha) TA_{l,m} Demanda_{j,m}) + \\ & \sum_{\forall i \in V} \sum_{\forall h \in V} \sum_{\forall l \in L} \sum_{m \in M} X_j^{h,l} (\alpha T_{1,j,h} RAA_h + (1-\alpha) TA_{l,m} Demanda_{h,m}) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_{\forall i \in V} a_i = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{\forall j \in V} n_i^{j,l} \leq F a_i, \quad \forall i \in V, \forall l \in L \quad (3)$$

$$\sum_{\forall j \in V} b_j \geq \frac{\sum_{\forall d \in D} \sum_{m \in M} O_{d,m} + \Delta}{K} \quad (4)$$

$$\sum_{\forall i \in V} \sum_{l \in L} n_i^{j,l} = b_j, \quad \forall j \in V \quad (5)$$

$$b_j F \geq \sum_{\forall d \in D} \sum_{m \in M} Q_{j,d}^m, \quad \forall j \in V \quad (6)$$

$$b_j \leq \sum_{\forall d \in D} \sum_{m \in M} Q_{j,d}^m, \quad \forall j \in V \quad (7)$$

$$\sum_{\forall d \in D} \sum_{m \in M} Q_{j,d}^m \leq K, \quad \forall j \in V \quad (8)$$

$$\sum_{\forall j \in V} Q_{j,d}^m \geq O_{d,m}, \quad \forall d \in D, m \in M \quad (9)$$

$$a_i + b_j \leq 1, \quad \forall i \in V, j \in V, i = j \quad (10)$$

$$Demanda_{j,m} = \sum_{\forall d \in D} Q_{j,d}^m, \quad \forall j \in V, d \in D \quad (11)$$

$$\sum_{\forall j \in V} n_i^{j,l} = P_j^{i,l}, \quad \forall i \in V, \forall l \in L \quad (12)$$

$$\sum_{\forall i \in V} n_i^{j,l} + \sum_{\forall h \in V} x_h^{j,l} = \sum_{\forall i \in V} P_j^{i,l} + \sum_{\forall s \in V} X_j^{s,l}, \quad \forall j \in V, \forall l \in L \quad (13)$$

$$\sum_{\forall j \in V} \sum_{\forall l \in L} X_j^{h,l} + \sum_{\forall i \in V} \sum_{\forall l \in L} n_i^{h,l} \geq 1, \quad \forall h \in V \quad (14)$$

$$\sum_{\forall h \in V} \sum_{\forall l \in L} X_h^{j,l} + \sum_{\forall i \in V} \sum_{\forall l \in L} P_j^{i,l} \geq 1, \quad \forall j \in V \quad (15)$$

$$\sum_{\forall j \in V} \sum_{\forall h \in V} \sum_{\forall m \in M} X_j^{h,l} Demanda_{h,l} + \sum_{\forall i \in V} \sum_{\forall j \in V} \sum_{\forall m \in M} n_i^{j,l} Demanda_{j,l} \leq \sum_{\forall m \in M} C_l Alivio_{l,m} Y, \quad \forall l \in L \quad (16)$$

$$a_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in V \quad (17)$$

$$b_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in V \quad (18)$$

$$n_i^{j,l} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in V, j \in V, l \in L \quad (19)$$

$$X_i^{h,l} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in V, h \in V, l \in L \quad (20)$$

$$P_j^{i,l} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in V, j \in V, l \in L \quad (21)$$

$$Q_{j,d}^m \geq 0, \quad \forall j \in V, d \in D, m \in M \quad (22)$$

$$Demanda_{j,m}^m \geq 0, \quad \forall j \in V, m \in M \quad (23)$$

La función objetivo del modelo (1) consiste en minimizar el tiempo de operación, el cual se compone de dos partes: la primera, el tiempo de viaje entre los múltiples albergues ubicados en la zonas  $J$  y el punto de distribución ubicado en la zona  $I$ , considerando los parámetros  $RA_j$ ,  $RAA_h$  y  $RCD_i$ , como el riesgo de inundación asociado a ubicar cualquier tipo de instalación en la zona  $I$  o  $J$  penalizando (aumentan) los tiempos de viaje. La segunda parte de la función objetivo hace referencia al tiempo de atención invertido en la atención de la población damnificada. La restricción (2) garantiza la apertura de un único punto de distribución. Las restricciones (3) aseguran que los albergues atendidos por personal especializado provienen de un punto de distribución existente, las restricciones (4) garantizan que el número de albergues a abrir sean suficientes para refugiar a toda la población damnificada. Las restricciones (5) garantizan que un albergue puede ser visitado por personal especializado, sólo si éste existe. Las restricciones (6) y (7) relacionan la variable  $b_j$  y la variable  $Q_{j,d}^m$  garantizando que un albergue atiende a una zona afectada sólo si éste es abierto. Las restricciones (8) garantizan que el número de personas a alojar en cada albergue debe ser menor o igual a la capacidad del albergue. Las restricciones (9) aseguran que el número de familias refugiadas en los

múltiples albergues, sea mayor o igual a la cantidad de familias que requieren ser evacuadas en instaladas en un albergue. Las restricciones (10) garantizan que una zona no pueda tener más de un uso, es decir, la zona es usada para un albergue o para un punto de distribución. La ecuación (11) calcula la cantidad de familias con calamidad  $m$  instaladas en el albergue  $j$ . Las restricciones (12) garantizan que la ruta de cada personal especializado, comience y termine en el punto de distribución. Las restricciones (13) garantizan la continuidad de las rutas, en donde el personal llega a un albergue y debe salir de este a visitar otro albergue o regresar al punto de distribución. Las restricciones (14) y (15) permiten que los albergues sean visitados más de una vez y por más de un tipo de personal. Las restricciones (16) están asociadas a la demanda de asistencia médica de la población afectada, en donde se garantiza que la cantidad de familias atendidas sean mayor o igual al número de familias que pueden atenderse en el tiempo  $Y$ . Las restricciones (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23) caracterizan las variables de decisión consideradas en la formulación.

La función objetivo (1) y la ecuación (16) son ecuaciones no lineales, por lo cual es necesario linealizar las ecuaciones. A continuación se proponen las siguientes variables de decisión, función objetivo y restricciones, que deben ser adicionadas al modelo para reemplazar la función objetivo (1) y la ecuación (16):

**Variable de decisión:**

- $\delta_j^{l,m}$  Número de familias con calamidad  $m$  atendidas por el personal  $l$  en el albergue  $j$ .
- $\beta_j^{l,m}$  Número de familias con calamidad  $m$  atendidas por el personal  $l$  en el albergue  $h$ .

**Función objetivo:**

$$\begin{aligned} \text{MIN } Z = & \sum_{\forall i \in V} \sum_{\forall j \in V} \sum_{\forall l \in L} \sum_{\forall m \in M} (\alpha n_i^{j,l} T_{i,j} RCD_i RA_j + (1-\alpha) \delta_j^{l,m} TA_{l,m}) + \\ & \sum_{\forall i \in V} \sum_{\forall h \in V} \sum_{\forall l \in L} \sum_{\forall m \in M} (\alpha X_j^{h,l} T_{j,h} RAA_h + (1-\alpha) \beta_h^{l,m} TA_{l,m}) \end{aligned} \quad (24)$$

**Restricciones:**

$$\delta_j^{l,m} \leq n_i^{j,l} F, \quad \forall i \in V, j \in V, l \in L, m \in M \quad (25)$$

$$\delta_j^{l,m} \leq \text{Demanda}_{j,m}, \quad \forall i \in V, j \in V, l \in L, m \in M \quad (26)$$

$$\delta_j^{l,m} \leq \text{Demanda}_{j,m} - (1 - n_i^{j,l}) F, \quad \forall i \in V, j \in V, l \in L, m \in M \quad (27)$$

$$\beta_h^{l,m} \leq X_j^{h,l} F, \quad \forall j \in V, h \in V, l \in L, m \in M \quad (28)$$

$$\beta_h^{l,m} \leq \text{Demanda}_{h,m}, \quad \forall j \in V, h \in V, l \in L, m \in M \quad (29)$$

$$\beta_h^{l,m} \leq \text{Demanda}_{h,m} - (1 - X_j^{h,l}) F, \quad \forall j \in V, h \in V, l \in L, m \in M \quad (30)$$

$$\sum_{\forall h \in V} \sum_{\forall m \in M} \beta_h^{l,m} + \sum_{\forall j \in V} \sum_{\forall m \in M} \delta_j^{l,m} \leq \sum_{\forall m \in M} C_l Alivio_{l,m} Y \quad \forall l \in L \quad (31)$$

De acuerdo a la complejidad del modelo presentado en esta propuesta, éste no arroja solución con el software Gams, por lo cual no fue posible realizar experimentación, comparación y análisis. El ambiente computacional usado para ejecutar el modelo fue el mismo que se usó en las otras propuestas. Pese a que el tiempo de ejecución del modelo fueron 30 mil segundos, no arrojó una solución.

En una situación de emergencia la toma de decisiones debe hacerse de manera rápida y efectiva, por lo cual este modelo se descartó en este trabajo de grado como una propuesta de solución, debido a que 30 mil segundos no fue tiempo suficiente para dar una aproximación a una solución, pero si es suficiente para aumentar el impacto del desastre en la población afectada por la inundación. No obstante se aclara que este tipo de modelos usualmente son resueltos a través de heurísticos.

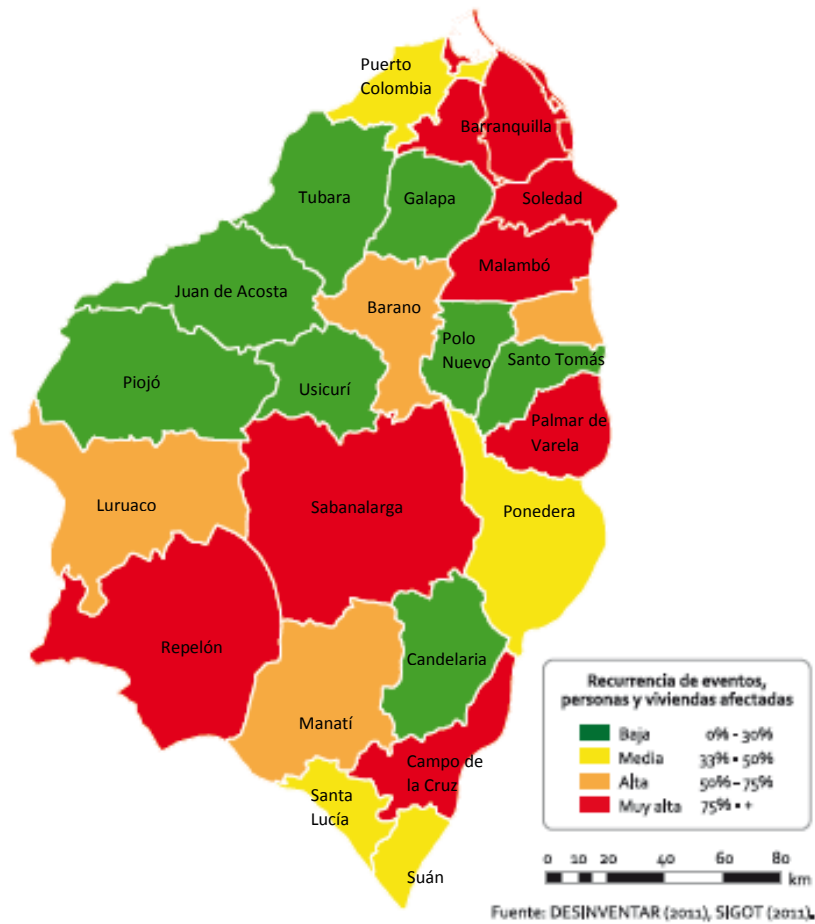
#### 5.4 Conclusiones

Los modelos propuestos en este capítulo son novedosos debido a que no se encuentran investigaciones enfocadas en el suministro de asistencia médica y psicológica en situaciones post-desastre, considerando además desde un punto de vista estratégico la localización de un único punto de distribución y múltiples albergues. Además la restricción (10) del modelo de localización es un aporte novedoso en investigación de operaciones, debido a que garantiza que una zona potencial solo tenga un uso.

Las propuestas planteadas en este capítulo muestran opciones de solución para el problema de suministro de ayuda una vez haya ocurrido una inundación. Cada propuesta plantea modelos exactos que fueron diseñados para garantizar la asistencia de toda la población afectada considerando la variedad de calamidades médicas y psicológicas entre otras presentes en este tipo de situación de emergencia.

La propuesta 1 desagrega el problema en dos subproblemas permitiendo focalizar las decisiones de acuerdo al nivel de impacto en la gestión de la situación post-desastre, mientras que la propuesta 2 aborda el problema de manera global, pasando por altos detalles importantes en la gestión post-desastre. Sin embargo, el modelo integral podría ser considerado como un modelo para toma de decisiones en situación pre-desastre, para repositionar equipos, material, etc





**Figura 8 Frecuencia de inundación por municipio. Fuente: (PNUD - UNGRD, 2012).**

## 6.2 Ambiente computacional

Para la validación de los modelos exactos planteados en el capítulo 5 se utilizó el lenguaje del software comercial GAMS utilizando el solver CPLEX, el cual fue ejecutado en un Intel(R) Core(TM) i7-4500U CPU de 1,8 GHz con 8 GB de RAM. La validación se llevó a cabo de manera secuencial, es decir, no se ejecutaba más de un modelo u operación a la vez, esto con el fin de hacer uso de toda la capacidad del CPU y tener un ambiente de validación similar entre las propuestas.

## 6.3 Escenario de base

Las zonas afectadas que son consideradas para la validación del modelo, son los municipios de Santa Lucía, Manatí, Campo de la Cruz y Repelón, los cuales son considerados como sub-zonas en el modelo. Como se dijo en el capítulo 5 los puntos geográficos donde se ubica la población que requiere ser evacuada e instalada en un albergue es un parámetro de entrada del modelo, por lo cual la Tabla 5 es considerada como la demanda por familia para cada sub-zona afectada. Sin embargo los datos poblacionales del DANE define que en promedio una familia está conformada por 5 miembros, por lo cual se puede establecer la demanda en número de personas afectadas.

**Tabla 5 Zonas afectadas por la inundación. Adaptado de: (Banco de la República de Colombia, 2011)**

Regiones Afectadas	Área Total (hectáreas)	Área Afectada (hectáreas)	Familias Afectadas	Estado
Campo de la cruz	1200	1200	106	Inundación total
Manatí	22000	22000	1861	Inundación total
Repelón	3400	2200	393	Inundación parcial
Santa Lucía	1350	1350	302	Inundación total
<b>Total</b>			<b>2662</b>	

La frecuencia de ocurrencia de una inundación es considerada como un factor de riesgo de inundación para la zona, por lo cual se considera la Figura 8 para establecer el riesgo de cada zona. De acuerdo a la Unidad Nacional de Gestión de Riesgo se establecen cuatro escalas de frecuencia de inundación para el departamento del Atlántico (Ver Figura 8), no obstante para el modelo se considera el promedio aritmético de la frecuencia de inundaciones.

Los albergues y los puntos de distribución en situaciones reales corresponden a la adecuación de las infraestructuras de coliseos, escuelas e instituciones de educación pública con capacidad de 1500 personas, por lo cual se considera para este escenario la disponibilidad de infraestructura en Sabanalarga, Ponedera, Palmar de Varela, Baranoa, Barranquilla, entre otros; hecho real de la inundación (Contraloría Departamental del Atlántico, n.d.), (Banco de la República de Colombia, 2011). A continuación la Tabla 6 muestra por municipio el número de zonas potenciales para ubicar cualquier tipo de instalación.

**Tabla 6 Puntos potenciales para adecuar como Albergues o punto de distribución.**

Municipio	Locaciones Seguras
Sabalarga	10
Ponedera	8
Palmar de Varela	2
Baranoa	10
Barranquilla	11
Repelón	8
Tubará	2

Las unidades móviles de médicos, enfermeras y psicólogos tienen una capacidad para atender 50 personas al día (SCHR/VOICE/ICVA, 2004), es decir 10 familias por día. El modelo considera las unidades móviles presentadas en la Tabla 7.

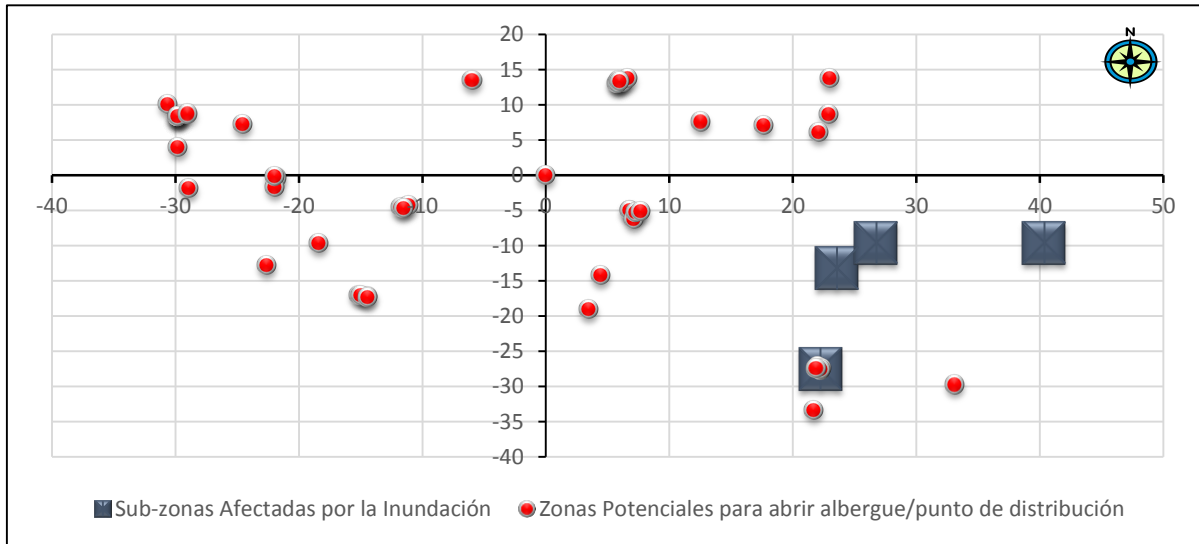
**Tabla 7 Unidades móviles consideradas en el modelo**

Unidad móvil	Cantidad
Médica (UMM)	5
Enfermeras (UME)	5
Psicólogos (UMP)	15
Brigadista UMB)	30

El número de unidades móviles se estimó de acuerdo a los datos suministrados por el informe de gestión de riesgo del 2013 (UNGRD - Colombia, 2013), los cuales fueron considerados como parámetros de entrada para la ejecución del modelo.



La ubicación geográfica de las zonas potenciales nombradas en la Tabla 6 se realizó considerando coordenadas con respecto a un punto cero arbitrariamente escogido, la Figura 9 es una representación gráfica de dichas zonas potenciales, consideradas para abrir un albergue o un punto de distribución y las sub-zonas afectadas por la inundación.



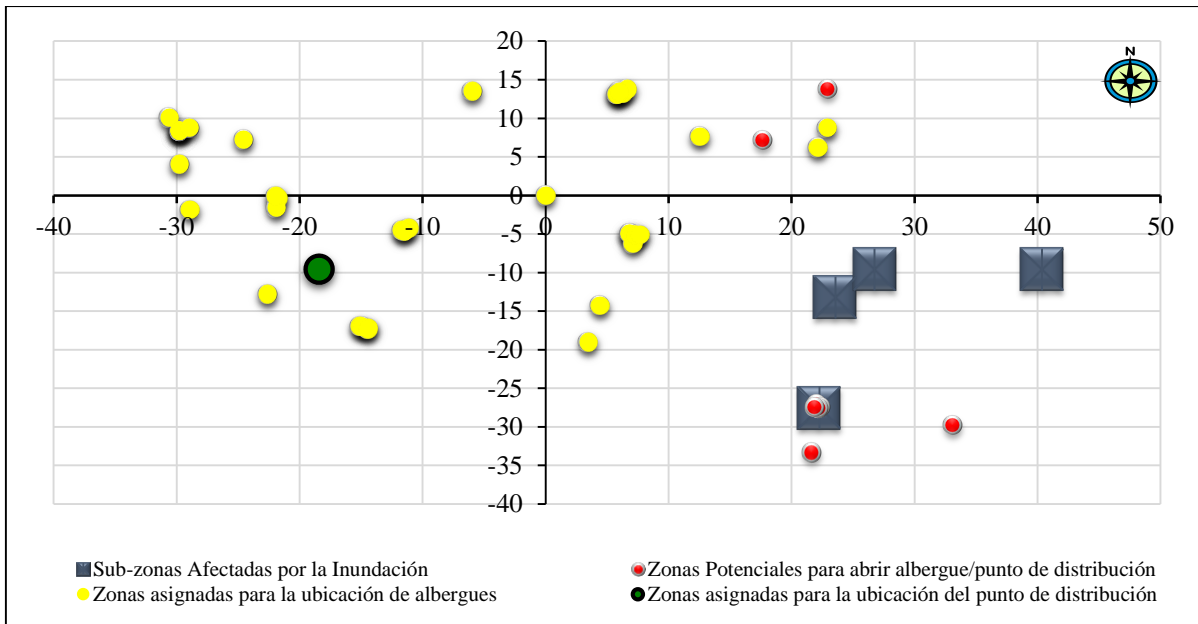
**Figura 9 Representación gráfica de la ubicación de las sub-zonas afectadas por la inundación y las 51 zonas potenciales para abrir albergue o punto de distribución.**

Para la ejecución del modelo se consideraron datos reales sobre tiempos de viaje, riesgo de la zona, número y ubicación de instituciones públicas, disponibles para refugiar a la población o instalar el punto de distribución de ayuda humanitaria (Ver anexo 4).

### 6.3.1. Propuesta 1: Modelo jerárquico

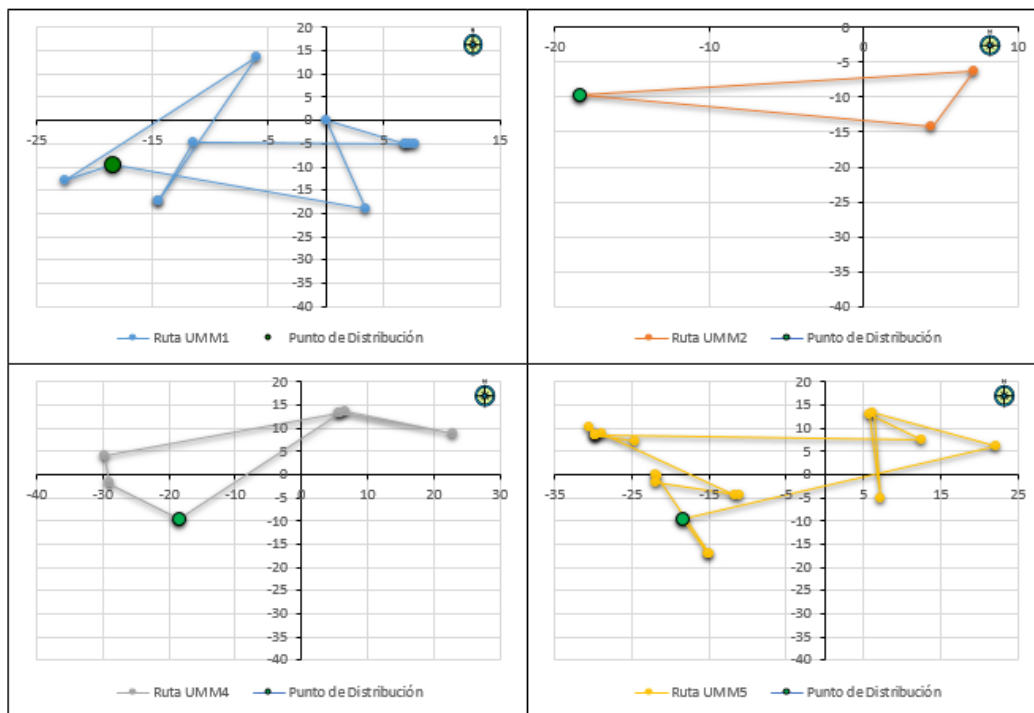
El objetivo del modelo jerárquico es minimizar el tiempo de operación (tiempo de evacuación + tiempo de viaje + tiempo de atención). La primera parte del modelo determinó abrir 39 albergues y un punto de distribución como se ve en la Figura 10, garantiza la evacuación y ubicación temporal de la población afectada en los albergues, por lo cual la red de instalaciones consta de 40 nodos de los cuales 39 requieren la presencia del personal especializado en ayuda humanitaria.

En el modelo jerárquico, una vez definidos los puntos de atención y el punto de distribución, se procede a tomar la decisión táctica y operativa de asignar y definir las rutas de las unidades móviles.



**Figura 10 Ubicación de los múltiples albergues y punto de distribución.**

La segunda parte del modelo jerárquico asignó a cuatro unidades móviles médicas para la atención de la población afectada, las rutas definidas para cada unidad móvil médica se muestran en la Figura 11.



**Figura 11 Rutas definidas por el modelo jerárquico para cada unidad móvil asignada.**

El modelo jerárquico determinó que aproximadamente se requiere mínimo de 8 meses para evacuar, ubicar temporalmente y asistir a las 2662 familias. El GAP con respecto a la cota inferior es de 0.123% y el tiempo de ejecución del modelo en el software Gams fue de 50.31 segundos.

Aunque aproximadamente el tiempo mínimo de operación es de 8 meses, son 11065 horas de trabajo llevadas a cabo por las cuatro unidades móviles médicas. La tabla 8 muestra algunas medidas de desempeño para la propuesta 1.

<b>Tiempo de operación máx. (mes)</b>	8.013045833	
<b>Horas de trabajo</b>	11065	
<b>Porcentaje de alivio</b>	Promedio	82%
	Des. Est.	10%
	Min.	60%
	Max.	100%
<b>Familias atendidas/hora de trabajo</b>	0.886967917	
<b>Familias atendidas</b>	100%	
<b>Promedio de albergues visitados por:</b>	<b>Ruta</b>	10
	<b>UMM</b>	39
	<b>UME</b>	0
	<b>UMP</b>	0
	<b>UMB</b>	0

El resultado de esta propuesta garantiza que en un periodo de 8 meses, con una disponibilidad de 4 UMM y una productividad del 88% (familias atendidas/hora de trabajo) la población afectada es atendida en su totalidad, no obstante la atención o asistencia no significa el alivio de las calamidades (al 100%). Es importante resaltar que el tiempo de operación es de 8 meses debido a que la asignación de personal está concentrado en las unidades móviles médicas.

Para este primer escenario base, el porcentaje promedio de alivio entre las calamidades es del 82%, lo que quiere decir que el 82% de la población es atendida y aliviada, mientras que el 18% de la población damnificada es atendida pero no aliviada.

### **6.3.2. Propuesta 2: Modelo integral**

El modelo integral de manera simultánea determina la ubicación del punto de distribución, que en este caso determinó la misma ubicación del modelo jerárquico (Ver Figura 8) y las rutas para cada una de las unidades móviles asignadas, el modelo se ejecutó considerando la ubicación de los albergues definidas por el modelo jerárquico. Sin embargo no son modelos que están relacionados, sino que se consideró dicha ubicación para la validación de la propuesta. Las Figuras 12, 13 y 14 muestran las rutas de las unidades móviles asignadas por el modelo integral.

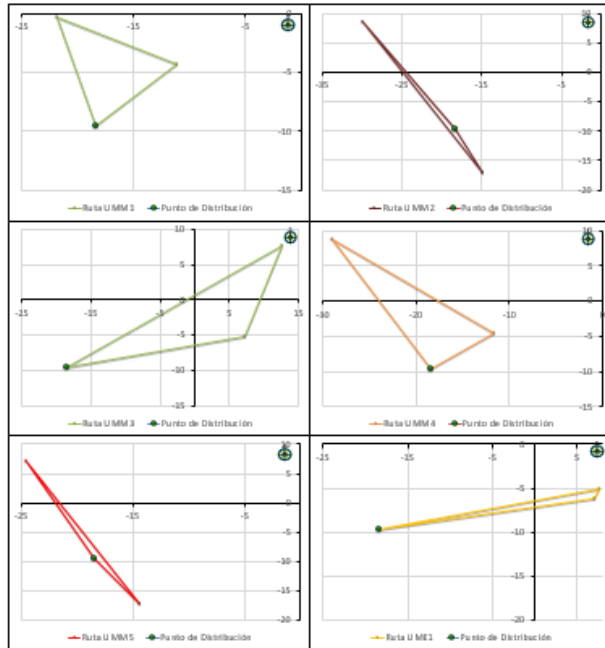


Figura 12 Rutas definidas por el modelo integral para UMM1, UMM2, UMM3, UMM4, UMM5 Y UME1.

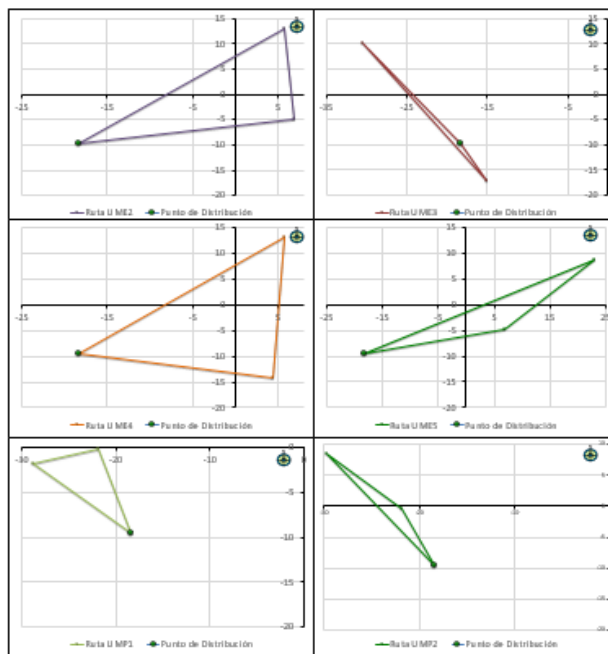
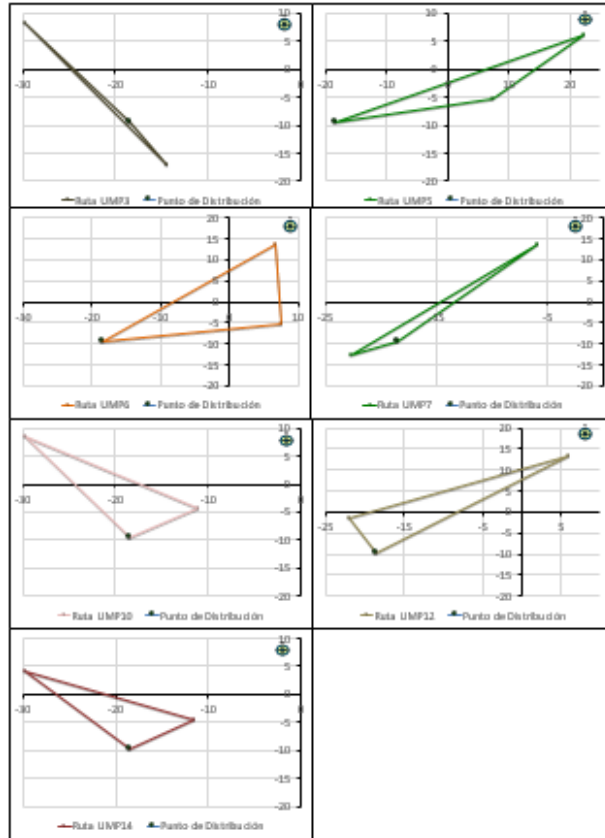


Figura 13 Rutas definidas por el modelo integral para UME2, UME3, UME4, UME5, UMP1 Y UMP2.



**Figura 14 Rutas definidas por el modelo integral para UMP3, UMP5, UMP6, UMP7, UMP10, UMP12 Y UMP14.**

El tiempo de operación mínimo para atender a toda la población afectada es de aproximadamente 15 días, con un total aproximado de 842 horas de trabajo entre 5 unidades móviles médicas, 5 unidades móviles de enfermeras y 9 unidades móviles de psicólogos. El promedio de albergues que visita cada unidad móvil es 2 por lo cual el modelo asigna más unidades móviles para garantizar que toda la población reciba asistencia, no obstante el porcentaje de alivio promedio es del 48%, es decir que el 52% de la población afectada recibe asistencia pero no es aliviada (Ver Tabla 9). El GAP con respecto a la cota inferior del problema es de 3.17% y el tiempo de corrida del modelo en el software Gams fue de 112 segundos.

**Tabla 9 Resultados del modelo Integral**

<b>Tiempo de operación máx (días)</b>	15.766375	
<b>Horas de trabajo</b>	841.667	
<b>Porcentaje promedio de alivio</b>	<b>Promedio</b>	48%
	<b>Des. Est.</b>	6%
	<b>Min.</b>	28%
	<b>Max.</b>	61%
<b>Familias atendidas/hora de trabajo</b>	7.058195224	
<b>Familias atendidas</b>	100%	
<b>Promedio de albergues visitados por:</b>	<b>Ruta</b>	<b>2</b>
	<b>UMM</b>	<b>10</b>
	<b>UME</b>	<b>10</b>
	<b>UMP</b>	<b>20</b>
	<b>UMB</b>	<b>0</b>

### 6.3.3. Discusión

Aunque las propuestas plantean modelos exactos para la solución no se puede asegurar que el resultado obtenido sea el óptimo, debido a que existe una diferencia entre la solución encontrada y la cota inferior calculada para el problema con relajación en las variables (GAP); no obstante, las soluciones no pueden ser descartadas debido a que pueden ser la mejor solución para el problema. Las rutas definidas por el modelo integral presentan un mejor desempeño puesto que el tiempo de operación es mucho más reducido que el tiempo de operación del modelo jerárquico lo cual representa una oportunidad de mejora para la propuesta 1. Sin embargo, es importante aclarar que los modelos no son comparables debido a que las condiciones en que opera cada propuesta son distinta, por lo tanto cada propuesta es alternativa de solución para la localización de instalación y programación de los recursos.

La Tabla 8 y 9 muestra que el modelo jerárquico decide que el 100% de los albergues sean visitados por unidades móviles médicas (UMM), mientras que el modelo integral determina que el 25% de los albergues son visitados por unidades móviles médicas y por unidades móviles de enfermeras, los albergues restantes son visitados por las unidades móviles de psicólogos. De acuerdo a la asignación de personal especializado se puede decir que el tiempo de operación es mayor para el modelo jerárquico debido a que utiliza menos personal que el modelo integral, por lo cual el poco personal asignado se encarga de atender a toda la población damnificada.

El criterio del tiempo de atención en la función objetivo, permite que el modelo seleccione el personal más efectivo, es decir, que requiera de un menor tiempo para aliviar el sufrimiento de la población. Como se dijo en el capítulo 4, el tiempo requerido para atender una calamidad está directamente relacionado con el porcentaje de alivio que puede ofrecer cada unidad móvil, por lo cual es importante considerar el porcentaje de la población que recibe asistencia y el porcentaje de alivio a la población afectada que proporciona cada propuesta. La Tabla 10 muestra el porcentaje promedio de alivio por calamidad (Ver Anexo 6).

**Tabla 10 Proporción de la población atendida para cada una de las propuestas.**

Tipo de Calamidad	Cantidad de familias afectadas	Porcentaje de alivio de calamidades en la población atendida	
		Modelo Jerárquico	Modelo Integral
Trastornos de sueño (PE)	723	80%	49%
Ansiedad (PE)	572	80%	49%
Estrés post-traumático (PE)	1065	80%	49%
Trastornos de sueño (PA)	723	80%	49%
Ansiedad (PA)	572	80%	49%
Estrés post-traumático (PA)	1065	80%	49%
Trastornos de sueño (A)	723	70%	45%
Ansiedad (A)	572	70%	45%
Estrés post-traumático (A)	1065	70%	45%
Fracturas	343	80%	46%
Aplastamiento de extremidades	343	70%	43%
Golpes, rasguños, cortadas pequeñas	2397	100%	61%
Vómito	152	90%	49%
Diarrea	152	90%	49%
Cólera	76	90%	49%
Tos	229	90%	49%
Rinorrea	267	90%	49%
Exantema	115	90%	49%
Dolor de garganta	115	90%	49%
Malaria, dengue, etc.	799	60%	28%

El modelo jerárquico presenta mayor porcentaje de alivio que el modelo integral, debido a que la asignación de unidades móviles en el modelo jerárquico se centra en las unidades móviles médicas, las cuales en promedio por calamidad ofrecen un 80% de alivio (Ver Tabla 4). En el caso del modelo integral el porcentaje de alivio es inferior debido a que el modelo asigna unidades móviles garantizando el cumplimiento de la demanda (atención de la población). (Ver Anexo 6).

#### 6.4 Experimentación

El conjunto de escenarios que se describen en la Tabla 11 tienen como objetivo evaluar las propuestas de solución planteadas para el problema. Los escenarios se probaron bajo el mismo ambiente computacional considerado para el escenario base.

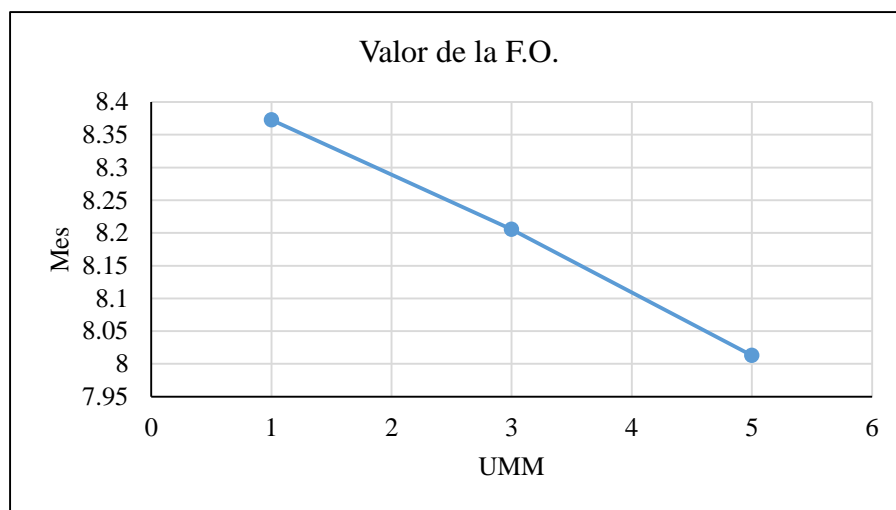
Los escenarios considerados en la tabla 11 se definieron con el objetivo de variar parámetros y analizar la sensibilidad de los modelos.

**Tabla 11. Escenarios para las propuestas**

Escenario	$\alpha$	UMM	UME	UMP	UMB	Capacidad de atención unidades móviles	Aumento de demanda
Base	0.05	5	5	15	30	0	0
1	0.05	1	5	15	30	0	0
2	0.05	3	5	15	30	0	0
3	0.05	5	5	15	30	-50%	0
4	0.05	1	5	15	30	-50%	0
5	0.05	3	5	15	30	-50%	0
6	0.05	5	5	15	30	0	30%
7	N.A.	5	5	15	30	0	0
8	0.45	5	5	15	30	0%	0
9	0.55	5	5	15	30	0%	0
10	0.95	5	5	15	30	0%	0

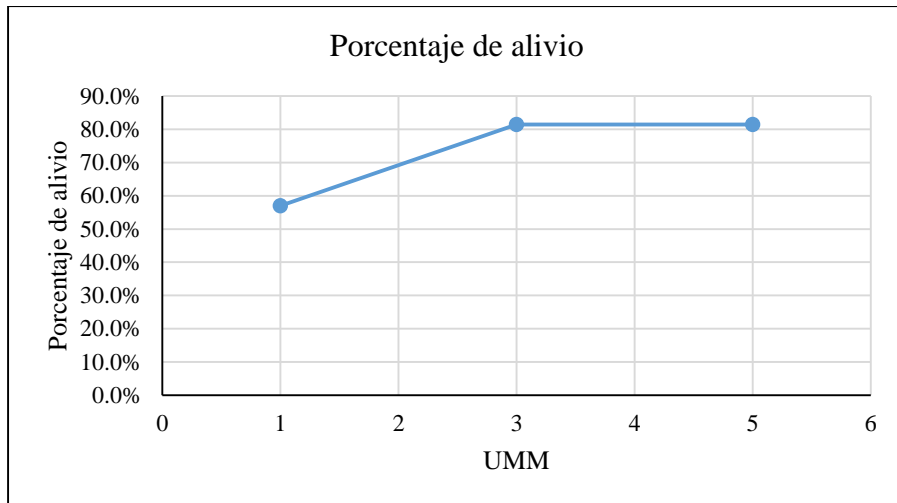
#### 6.4.1 Escenario: Modelo Jerárquico

El modelo jerárquico prefiere enviar sólo las unidades móviles médicas debido a que estas son las que suministran un mayor porcentaje de alivio. Al analizar los valores de la función objetivo se evidencia que el valor más alto es cuando sólo se tiene una unidad móvil médica (UMM). Sin embargo no coincide con el valor del porcentaje de alivio logrado, debido a que el tiempo de operación es el tiempo mínimo requerido para atender a la población. No obstante la atención al 100% de la población afectada no significa el 100% de alivio para ésta, por lo cual se requiere de más unidades móviles médicas para aumentar el porcentaje de alivio de la población afectada. (Ver Figura 15 y 16)



**Figura 15 Modelo Jerárquico. Valor de la F.O. para el escenario base, 1 y 2**

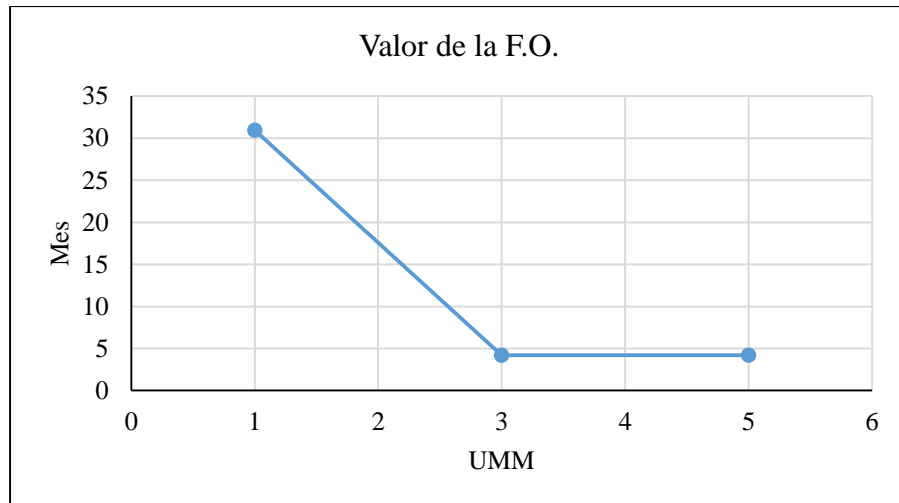




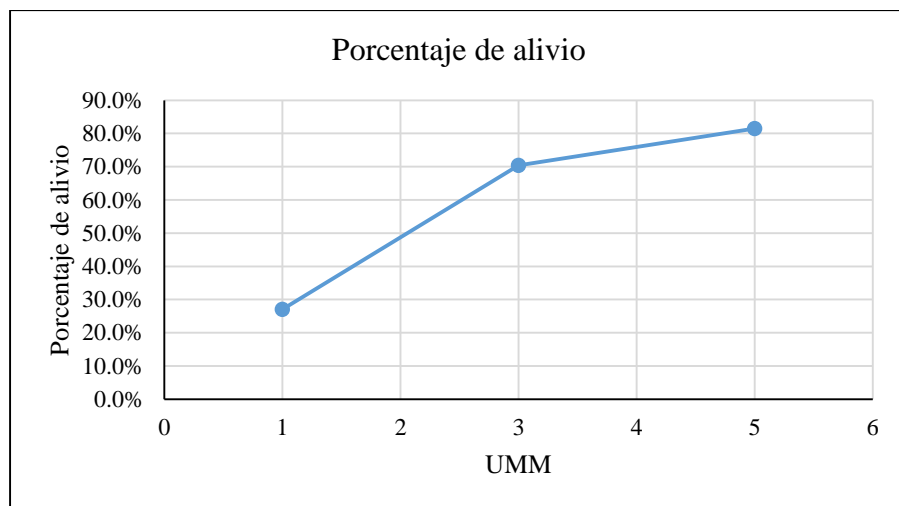
**Figura 16 Modelo Jerárquico. Porcentaje de alivio para el escenario base, 1 y 2.**

La Figura 14 muestra el porcentaje de alivio según las unidades móviles médicas, en donde se evidencia que el mayor porcentaje de alivio se obtiene cuando están operando las 5 UMM, sin embargo el modelo sólo asigna 4 UMM de las 5 UMM que tiene disponible. Analizando los valores del porcentaje de alivio de acuerdo al número de UMM disponibles, se evidencia que el modelo genera el mismo porcentaje de alivio cuando tiene 5 UMM disponibles o tiene 3 UMM, la estabilidad del porcentaje de alivio alcanzado por el modelo se altera cuando sólo tiene 1 UMM. Esto se debe a que el sistema necesita de las otras unidades móviles para poder atender a toda la población afectada, hecho que se refleja en la disminución del porcentaje de alivio suministrado y el aumento del tiempo de operación del modelo para estos escenarios.

Se realizó la consideración de otros escenarios en donde la capacidad de atención de las unidades móviles se reducen al 50%; el objetivo es medir el tiempo de operación reflejando la variabilidad de la disponibilidad de unidades móviles médicas (las más vitales) y la variabilidad en la capacidad de atención de las unidades móviles en general. Analizando el valor de la función objetivo se refleja que el mayor tiempo de operación se logra en estos escenarios, en donde las unidades móviles médicas no tienen la capacidad de atender a la población y requiere del otro tipo de unidades móviles. En la Figura 17 y 18 se muestran los valores de la función objetivo y el porcentaje de alivio con los respectivos escenarios.



**Figura 17 Modelo Jerárquico. Valor de la F.O. para el escenario 3, 4 y 5**



**Figura 18 Modelo Jerárquico. Porcentaje de alivio para el escenario 3, 4 y 5**

Se observa que el porcentaje de alivio es el mismo cuando se tiene disponible 5 UMM y 3 UMM con capacidad al 100% (Ver Figura 16), incluso el porcentaje de alivio de los casos anteriores es igual para el escenario en el que se tiene 5 UMM disponibles con la capacidad reducida al 50% (Ver Figura 16 vs. Figura 18); el porcentaje de alivio se estabiliza en un 80% dado que los albergues son atendidos por unidades móviles médicas, las cuales en promedio por calamidad ofrecen un 80% de alivio (Ver tabla 4). El tiempo de operación se reduce a casi 4 meses cuando se tienen 5 UMM o 3 UMM con reducción de capacidad de atención al 50%, de igual manera el porcentaje de alivio se reduce para el escenarios 4 y 5.

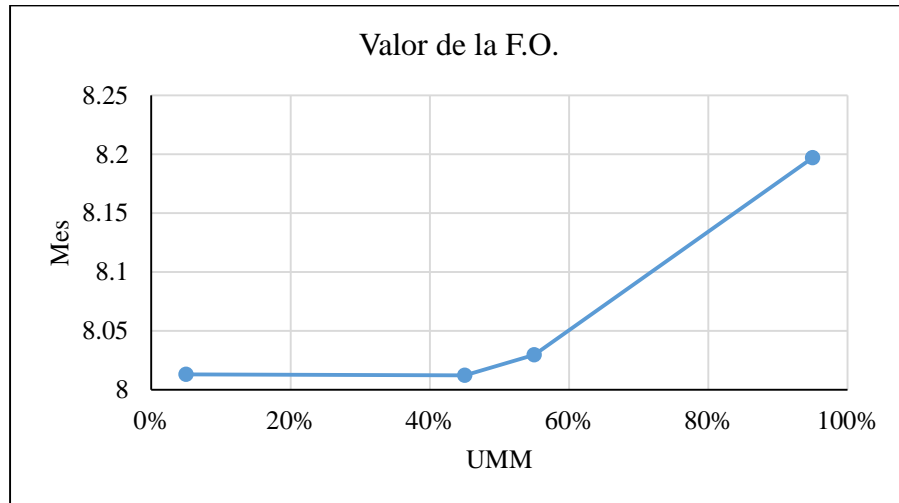
Analizando el valor de la función objetivo cuando se tiene un aumento del 30% (3460.6 familias) en la demanda, el tiempo de operación es de 8.17 meses y un porcentaje de alivio del 82%; lo cual significa que considerando las condiciones del escenario base (5 UMM, 5 UME, 15 UMP, 30 UMB) el modelo responde a un aumento de demanda del 30% logrando el mismo porcentaje de alivio promedio que el escenario base (82%). Se obtienen resultados similares cuando no se definen pesos

de importancia para el tiempo de viaje y para el tiempo de atención (ver ecuación 1), no obstante el porcentaje de alivio promedio es del 81%. (Ver Anexo 5)

$$\text{MIN } Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} X_i^{j,l} (TV_{i,j} + TA_{l,m} D_{j,m})$$

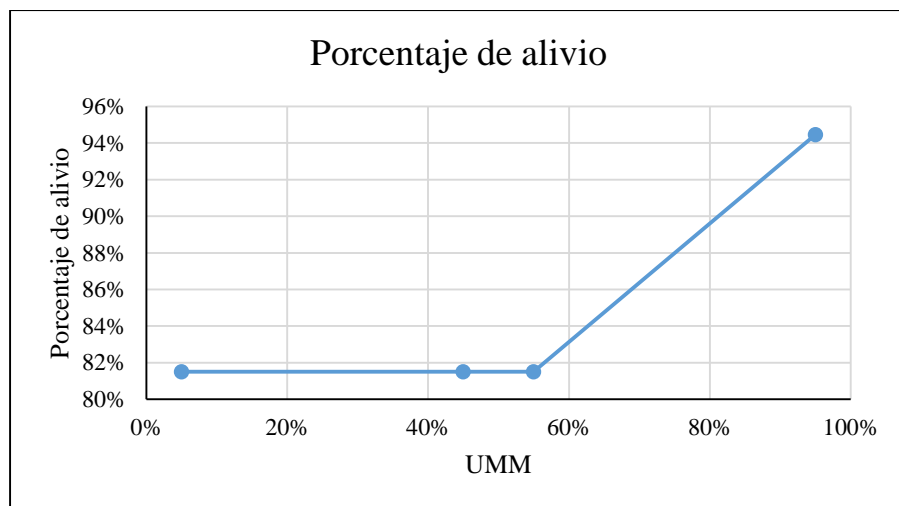
**F.O**  
**Propuesta 1**

**Ecuación 1 Función objetivo sin pesos de importancia**



**Figura 19 Modelo Jerárquico. Valor de la función objetivo para escenarios 8, 9 y 10**

La variación del  $\alpha$  o del criterio de importancia para el tiempo de viaje hace que el tiempo de operación aumente, debido a que la prioridad son los tiempos de viaje y no el tiempo de atención (Ver Figura 19). A medida que aumenta el  $\alpha$ , el tiempo de operación aumenta debido a que no existe un incentivo para asignar las unidades móviles más eficientes, por lo cual el tiempo de operación aumenta abruptamente.



**Figura 20 Modelo Jerárquico. Porcentaje de alivio promedio para los escenarios 8, 9 y 10**

Para los escenarios 8, 9 y 10 el comportamiento del porcentaje de alivio con respecto a la variación de  $\alpha$ , es creciente debido a que las unidades móviles tienen la libertad de invertir más del tiempo necesario para atender las calamidades. Sin embargo esta situación no es real debido a que

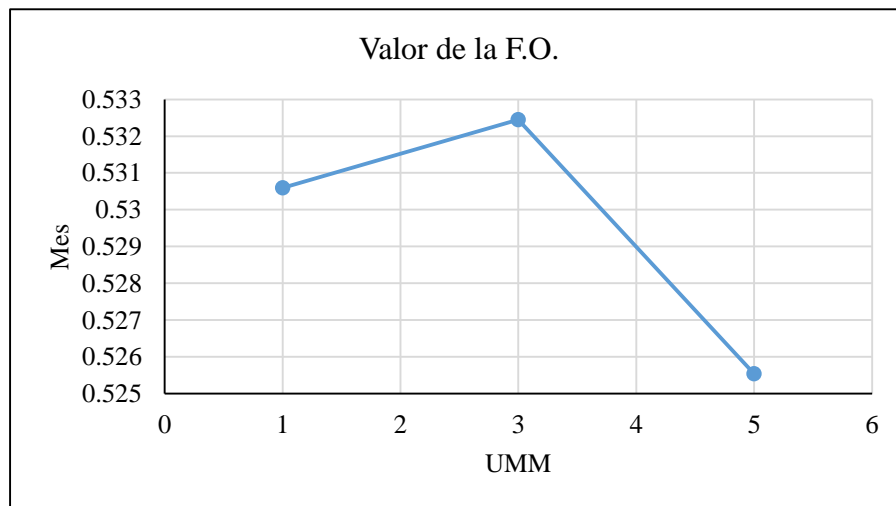
prolongados tiempos de atención, no siempre significan control sobre la propagación de enfermedades y si representa ineficiencia en el proceso de asignación de unidades móviles (Ver Figura 20).

Es importante resaltar que el GAP aumenta cada vez que aumenta  $\alpha$ , por lo cual nos permite concluir que entre más importancia tenga el tiempo de viaje los resultados del modelo se alejan del valor de la cota inferior con respecto al óptimo.

#### 6.4.2 Escenario: Modelo Integral

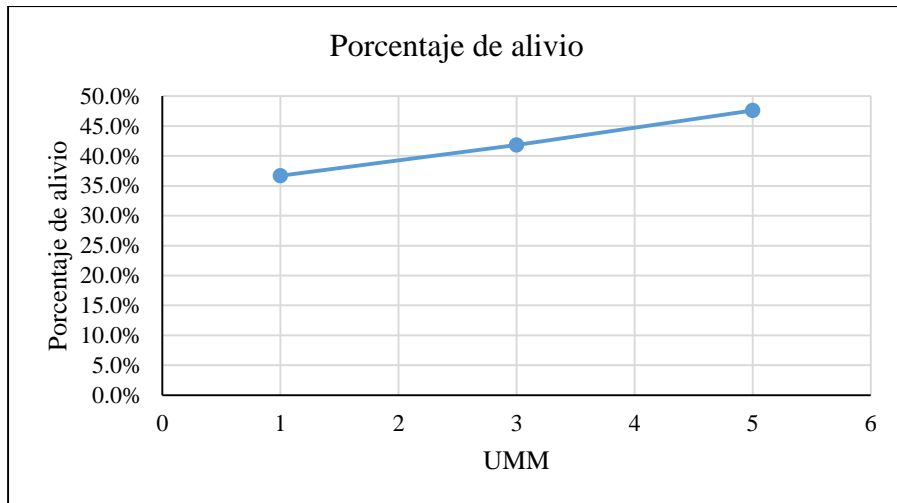
De igual manera el modelo integral fue analizado bajo los mismos escenarios que el modelo jerárquico, en donde se variaron la cantidad de unidades móviles médicas disponibles y la capacidad de las unidades móviles médicas en general, además se consideraron otros escenarios en donde no existen pesos de importancia para el tiempo de viaje y el tiempo de atención, finalmente se define un aumento de demanda del 30%.

Analizando los valores de la función objetivo, el tiempo de operación (tiempo de atención + tiempo de viaje) es más alto cuando se tienen 3 UMM debido a que el tiempo de viaje aumenta puesto que requiere de más tipos de unidades móviles para aumentar el porcentaje de alivio, lo mismo ocurre cuando sólo se tiene una unidad móvil médica. No obstante cuando se tienen las 5 UMM el tiempo de operación se reduce debido a que las unidades móviles médicas tienen una mayor capacidad de aliviar el sufrimiento de la población, por lo cual el tiempo de atención se reduce ( Ver Figura 21).



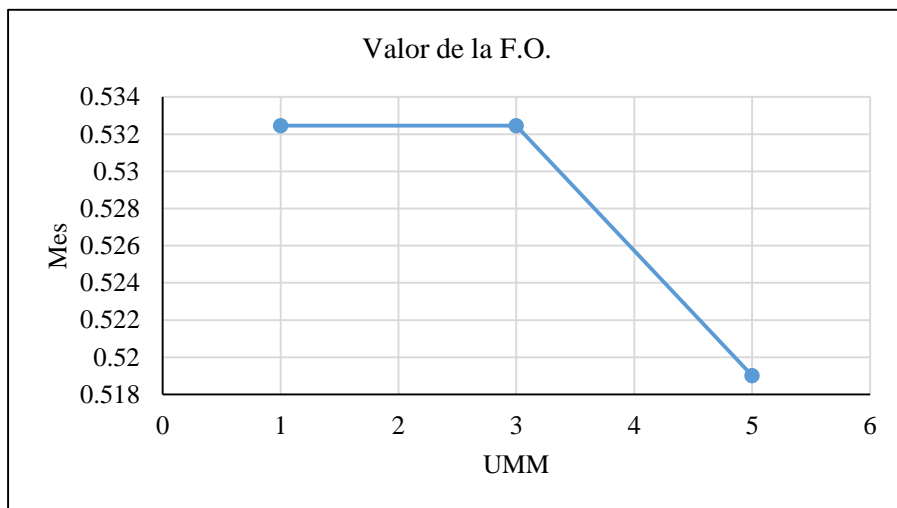
**Figura 21 Modelo Integral. Valor de la F.O. para el escenario base, 1 y 2**

El escenario con 5 UMM es el escenario que requiere de menos tiempo para atender a toda la población afectada y es el que proporciona mayor porcentaje de alivio (45%), lo cual quiere decir que el 55% de la población afectada no recibe alivio de sus calamidades pero si recibe atención. Este hecho se da porque las unidades móviles son asignadas para atender calamidades en las cuales ellos no suministran un gran porcentaje de alivio, lo cual se ve reflejado en el porcentaje de alivio promedio de las calamidades de la población afectada.



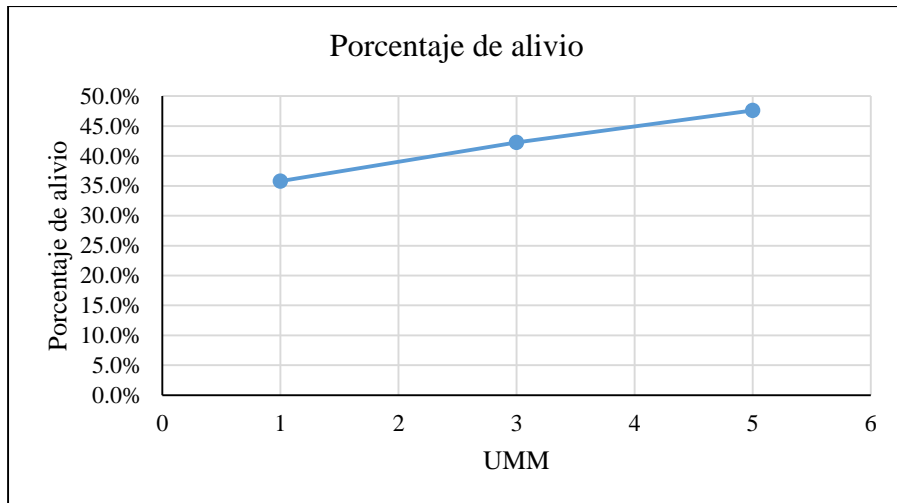
**Figura 22 Modelo Integral. Porcentaje de alivio para el escenario base, 1 y 2**

Entre otros factores no analizados estadísticamente por estar fuera del alcance del presente estudio, se concluye que el porcentaje de alivio está directamente relacionado con las unidades móviles médicas disponibles para atención de la población afectada (Ver Figura 22). El porcentaje de alivio varía entre los escenarios debido a que se requiere de la intervención de las otras unidades móviles para garantizar la asistencia, no obstante el porcentaje de alivio en mucho más inferior que el porcentaje de alivio proporcionado por el modelo jerárquico.



**Figura 23 Modelo Integral. Valor de la F.O. para el escenario 3, 4 y 5**

La Figura 21 muestra los valores de la función objetivo para los escenarios 3, 4 y 5, en donde claramente se ve que sí se cuenta con 1 UMM o 3 UMM al 50% de capacidad de atención, se requiere el mismo tiempo para atender a toda la población afectada. En el caso de las 5 UMM con capacidad de atención al 50% requiere del mismo tiempo que si se contara con 5 UMM al 100% de capacidad, para atender a toda la población afectada es de 0.53 meses. Lo anterior nos permite que existe una estabilidad del modelo entre 5 UMM al 100% y 5 UMM al 50%, es decir, que tanto el tiempo de operación como el porcentaje de alivio es el mismo para ambos casos (Ver Figura 24).



**Figura 24 Modelo Integral. Porcentaje de alivio para el escenario 3, 4 y 5**

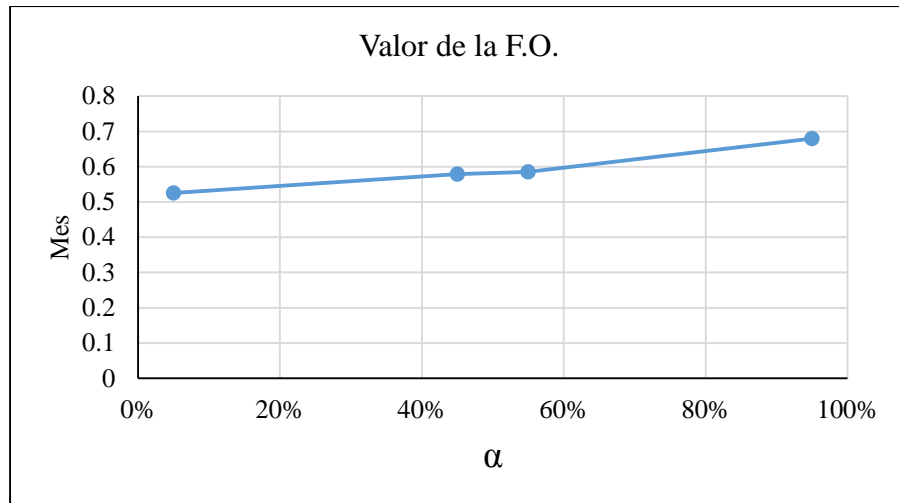
Analizando el valor de la función objetivo cuando se tiene un aumento del 30% (3460.6 familias) en la demanda, el tiempo de operación es de 35 días y un porcentaje de alivio del 43%; lo cual significa que si la demanda considerando las condiciones del escenario base ( 5 UMM, 5 UME, 15 UMP, 30 UMB) el porcentaje de alivio y el tiempo de operación se alteran completamente, puesto que el porcentaje de alivio se reduce y el tiempo de operación aumenta más del doble con respecto al modelo del escenario base.

Con respecto al escenario 7, se obtienen resultados similares al escenario base cuando no se definen pesos de importancia para el tiempo de viaje y para el tiempo de atención (ver ecuación 2), no obstante el tiempo de operación aumenta en casi 5 horas pero el porcentaje de alivio es el 48%. (Ver Anexo 5)

$$\begin{aligned}
 \text{MIN } Z = & \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} E_i^{j,l} (TVDA_{i,j} RCD_i + TA_{l,m} D1_{j,m}) + \\
 & \sum_{i \in V} \sum_{k \in V} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} X_j^{k,l} (TV_{j,k} + TA_{l,m} D2_{k,m})
 \end{aligned}$$

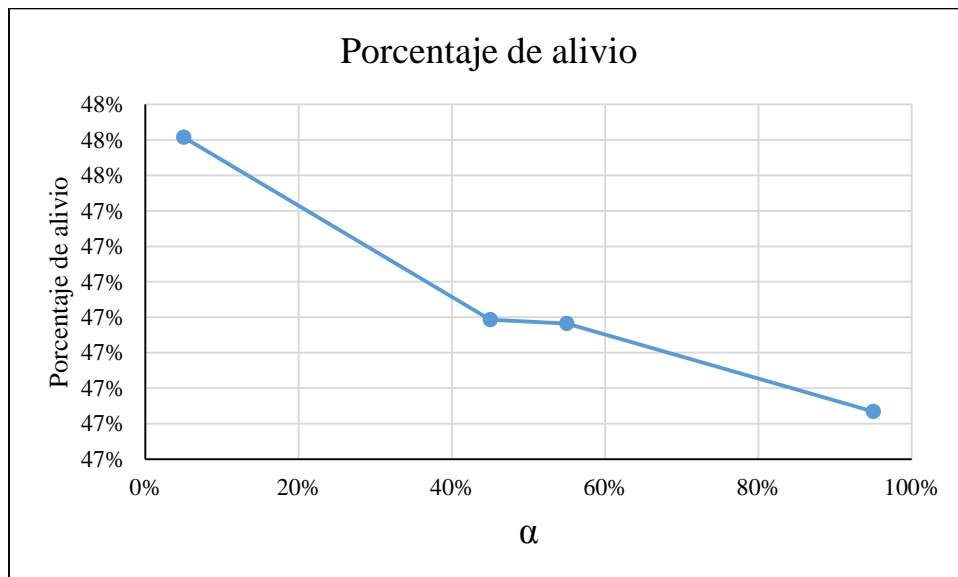
**F.O**  
**Propuesta 2**

**Ecuación 2 Función objetivo sin pesos de importancia**



**Figura 25 Modelo Integral. Valor de la F.O. para el escenario 8, 9 y 10**

La Figura 25 evidencia que el modelo integral es sensible a la variación de  $\alpha$ , sin embargo la variación no es tan abrupta comparada con la variación en el modelo jerárquico. En cuanto al porcentaje de alivio, el incremento de  $\alpha$  hace que éste disminuya a medida que aumenta  $\alpha$  debido a que el modelo se centra en cumplir la demanda (atención a la población) en el menor tiempo posible, dejando de lado el porcentaje de alivio.



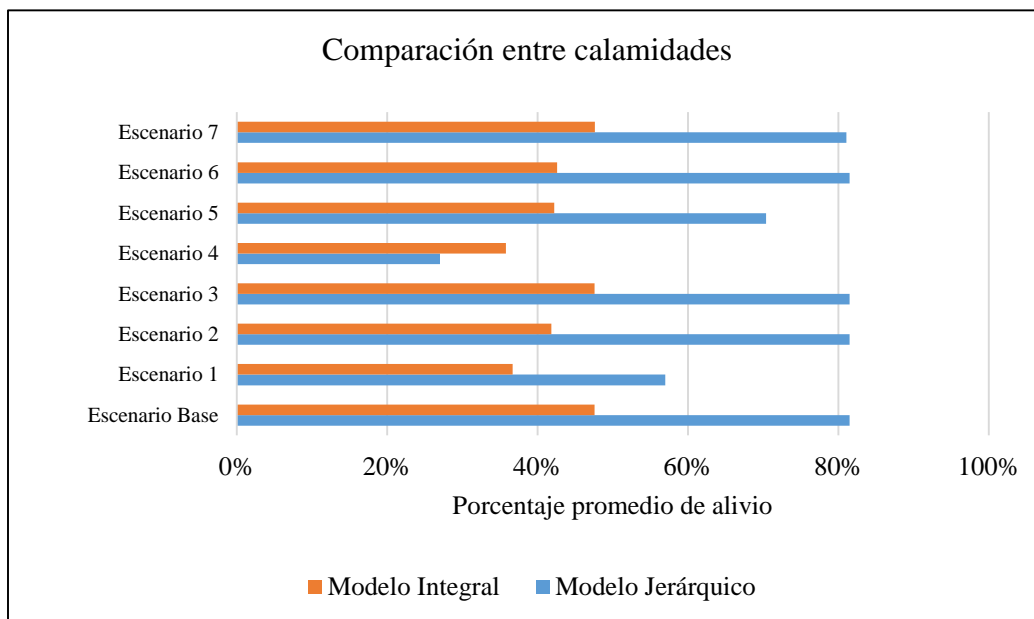
**Figura 26 Modelo Integral. Porcentaje de alivio para el escenario 8, 9 y 10**

### 6.5 Análisis de resultados

Es importante recordar que en el capítulo 5 se plantean dos propuestas de solución, las cuales pueden ser consideradas como herramientas de apoyo en la toma de decisiones en situaciones de emergencia; por lo cual con los escenarios planteados se pretende evaluar las propuestas para que éstas pueden ser consideradas como herramientas funcionales.

Aunque las dos propuestas no son comparables, se concluye de acuerdo a los resultados mostrados que la mejor propuesta con respecto al tiempo de operación, es la propuesta 2; sin embargo las operaciones que realizan las dos propuestas son distintas. Además un menor tiempo de operación no significa la mejor gestión de la situación de emergencia, puesto que la reducción del tiempo de operación puede representar una reducción en el porcentaje de alivio de la población afectada, por lo cual es importante considerar el porcentaje de la población que es atendida y aliviada como un criterio para evaluar el desempeño de las dos propuestas.

El Anexo 5 y Anexo 6 muestra el porcentaje de alivio por calamidad que ofrece cada una de las propuestas en los escenarios considerados, dichos resultados muestran que la propuesta 1 presente el mayor porcentaje de alivio; es decir, presenta una mayor proporción de las personas que son atendidas y aliviadas versus la población afectada. La Figura 27 muestra gráficamente la comparación entre la proporción promedio de las personas que son atendidas y aliviadas por cada propuesta. Evidentemente la demanda o los requerimientos de la población afectada no son 100% atendidos; sin embargo la propuesta 1 presenta una menor diferencia entre población afectada que requiere ser atendida y la población atendida y aliviada. Por otro lado la relación entre población afectada que requiere ser atendida y la población atendida y aliviada, justifica los tiempos de atención calculados para la propuesta 1 y la propuesta 2, en donde los tiempos de atención son el 90% del tiempo de operación para la propuesta 1 y el 22% para la propuesta 2.



**Figura 27 Porcentaje de alivio promedio en cada escenario.**

Es necesario hacer un análisis de medias para comprobar que estadísticamente existe diferencia entre los resultados de las propuestas, para realizar esta prueba se tomaron los resultados del escenario base. La Tabla 12 muestra que en promedio la propuesta 1 ofrece un mayor porcentaje de alivio, no obstante la variabilidad es mucho mayor en la propuesta 1 que en la propuesta 2. La Tabla 13 muestra la comparación de medias en donde estadísticamente se reafirma que existe una diferencia significativa entre las medias de las dos propuestas (el valor de significancia es menor al 5%), las medias de la propuesta 1 y la propuesta 2 difieren en promedio 27.10%, no obstante con un intervalo de confianza



del 95%, la diferencia puede estar entre 21.582% y 32,63%. Desde el punto de vista del porcentaje de alivio la propuesta 1 presenta mejores resultados.

**Tabla 12 Descripción estadística.**

	Propuesta	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Alivio	M. Jerárquico	40	69,2481053243	15,4061873150	2,43593209873
	M. Integral	40	42,1438427961	8,21046343268	1,29818825464

**Tabla 13 Comparación de medias.**

Prueba T para la igualdad de medias						
t	gl	Sig.	Diferencia de	Error típ. de la	95% I.C	
		(bilateral)	medias	diferencia	Inf.	Sup.
9,82	59,5	,000	27,10426252825	2,76026410587	21,581957	32,626567

## 6.6 Conclusiones

El enfoque de las 2 propuestas es minimizar el tiempo de respuesta en la atención de calamidades de la población afectada, no obstante es importante garantizar que el personal que atienda la calamidad sea oportuno y llegue en el menor tiempo posible. A manera de conclusión se puede decir que la propuesta 1 se enfoca en la decisión de localizar el punto de distribución y los múltiples albergues, garantizando la cercanía entre instalaciones y asegurando tiempos reducidos de viaje, la decisión de asignar el personal y las rutas para estos son determinados bajo el criterio del tiempo de atención, parámetro que está directamente relacionado con el alivio de las calamidades; la propuesta 2 determina la ubicación del punto de distribución de acuerdo a la ubicación de los albergues y determina las rutas de las unidades móviles asignadas, evidentemente las dos propuestas realizan las mismas operaciones, no obstante cada propuesta aborda el problema de manera diferente, la propuesta 1 permite focalizar las decisiones de acuerdo al nivel de impacto en la gestión de la situación post-desastre, mientras que la propuesta 2 aborda el problema de manera global, pasando por alto detalles importantes en la gestión post-desastre por la modelación propuesta realizada.

A partir de lo anterior, se concluye que los modelos integrales han presentado acogida debido a que consideran todas las características de la situación, mientras que los modelos integrales segmentan las decisiones por niveles para reducir la complejidad de la situación, por lo cual no se puede deducir que este tipo de modelos proponen soluciones óptimas a un problema, puesto que proponen soluciones óptimas para divisiones del problema. No obstante la inclusión de todos los niveles de decisión en un solo modelo es importante para la gestión de la situación post-desastre, puesto que permite considerar factores que afectan directamente el tiempo de operación y el porcentaje de alivio.

De acuerdo a los resultados obtenidos el modelo Integral presenta un menor tiempo de operación pero un menor porcentaje de alivio, mientras que el modelo jerárquico presenta altos porcentajes de alivio a la población. Esto debido a que la propuesta 1 asigna y envía sólo las unidades móviles médicas, puesto que estas unidades móviles ofrecen el mayor porcentaje de alivio de calamidades, mientras

que la propuesta 2 asigna y envía unidades móviles, buscando la reducción global de los tiempos de operaciones, sin importar las implicación de dichos tiempos.

### **6.7 Resultados de la investigación**

El contenido de los capítulos 4, 5 Y 6 fue presentado en el congreso: “1st International Conference on Mathematical Methods & Computational Techniques in Science & Engineering” (MMCTSE) 2014, con memorias en proceso de indexación en: ISI (Thomson Reuters), SCOPUS (ELSEVIER). Reyes-Rubiano Lorena S., Torres-Ramos Andrés F., Quintero-Araújo Carlos L. (2014). “Supply Chain Management for Medical and Psychological Assistance in Post-Disaster Calamities Situation - Case Flood”. Noviembre 28-30, 2014, Atenas, Grecia. ISSN: 2227-4588. ISBN: 978-1-61804-256-9. (Reyes-rubiano, Torres-ramos, & Quintero-araújo, 2014).

## CAPÍTULO 7

### ALGORÍTMO DE MEJORA

En el capítulo 6 se evidencia que el modelo jerárquico presenta rutas no óptimas, por lo cual en este capítulo se propone utilizar la técnica “Algoritmo de Lin y Kernighan”, como método de mejora. La técnica fue implementada en la mejora de las rutas del modelo jerárquico, sin embargo el presente capítulo muestra las rutas UMM1 y UMM5 debido a que fueron las únicas que presentaron mejora en los tiempos de viaje (ver Figura 9).

Para la implementación de este algoritmo se tomó como punto de partida las rutas definidas por el modelo jerárquico, por lo cual cada ruta a mejorar va a tener una ruta de mejora. Para lo anterior es necesario definir rutas que inicien y terminen en el punto de distribución, además de garantizar las visitas de todos los albergues que integren dicha ruta. Las mejoras de las rutas se hacen de manera independiente, es decir, no se hace la mejora sobre las dos rutas al mismo tiempo con el fin de respetar la asignación del personal especializado, hecha por el modelo jerárquico.

#### 7.1 Algoritmo de Lin y Kernighan

Uno de las variantes del algoritmo de Lin y Kernighan es el movimiento 2-Opt. seguido de un movimiento de inserción teniendo como criterio el arco más próximo en tiempo de viaje. Se parte de un grafo inicial que es la ruta UMM1 ( $S_1$ ) y ruta UMM5 ( $S_2$ ), las rutas no se combinan, con el fin de respetar la asignación hecha por el modelo de la propuesta jerárquica.

Se parte de cualquier nodo y se identifican los arcos más próximos a éste, una vez encontrado se parte de este nuevo nodo y se busca el arco más próximo a este nuevo nodo, formando arcos con tiempos de viaje cortos. Se eliminan los arcos iniciales y se reemplazan por los encontrados, el tiempo de viaje de las nuevas rutas  $S_1^*$  y  $S_2^*$  puede ser mejor o peor, pero el movimiento final (después de haber evaluado todos los nodos) mejora el tiempo de viaje.

##### 7.1.1 Estructura general del algoritmo

El objetivo es encontrar en  $N(S_1)$  y  $N(S_2)$  la mejor solución que garantice la reducción del tiempo de viaje y la visita de todos los nodos ( $s_1 \dots s_k$ ) de las rutas  $S_1$  y  $S_2$ . Para la búsqueda de mejores soluciones se determina el conjunto de arcos y se escoge el más cercano de tal manera que garantice la reducción del tiempo de viaje.

El enfoque del algoritmo es encontrar una solución factible que reduzca el tiempo de viaje de  $S_1$  y  $S_2$  este proceso se repite hasta que no sea posible mejorar dichas rutas, es decir, este proceso se repite hasta encontrar las rutas  $S_1^*$  y  $S_2^*$  en donde se garantiza encontrar el óptimo local para  $N(S_1)$  y  $N(S_2)$  (Martí, 2003). El procedimiento del algoritmo es el siguiente:

1. Tomar solución  $S_1$  o  $S_2$ .
2.  $G^* = 0$  (mejoras realizadas).  $i = 1$ .
3. Se escoge cualquier nodo  $s_1$  con  $x_1$  una de los arcos adyacentes a  $s_1$ .
4. Se escoge cualquier nodo  $s_2$  con  $x_2$  una de los arcos adyacentes a  $s_2$ .
5. Se realiza un el intercambio 2-opt reemplazando  $x_1$  y  $x_2$  por los arcos más próximos  $y_1$  y  $y_2$ .
6. Si  $g_i = |x_i| - |y_i| > 0$  entonces  $G^* = 1$  y  $S_i^*$  es la nueva ruta mejorada. Si no vaya a 9.

7.  $i = i + 1$ . Repita pasos 3 a 6 tomando a  $S_i^*$  como solución inicial.
8. La búsqueda termina cuando:
  - a. Cuando todos los  $x_i$  y los  $y_i$  son disjuntos.
  - b. Cuando  $\sum g_i = |x_i| - |y_i| > 0$ .
  - c.  $G^* > 0$ .
9. Si  $g_i = |x_i| - |y_i| < 0$  entonces:
  - a. Considere otros arcos  $y_1$  y  $y_2$  para reemplazar  $x_1$  y  $x_2$ .
  - b. Si a falla entonces seleccione un nuevo  $s_1$ .
10. El procedimiento termina cuando todos los nodos de la ruta  $S_1$  y  $S_2$  han sido evaluados sin encontrar mejora alguna.

## 7.2 Mejora de rutas para el modelo jerárquico

De acuerdo a lo dicho al inicio del capítulo, el algoritmo se implementa con el fin de mejorar las rutas de la UMM 1 y la UMM 5 representadas en la Figura 28 y 30. La implementación del algoritmo permitió encontrar una reducción del 29% para la ruta de la UMM 1 y una del 34% para la ruta de la UMM 5, la Figura 29 y 31 muestra las rutas de mejora encontradas en la implementación del algoritmo.

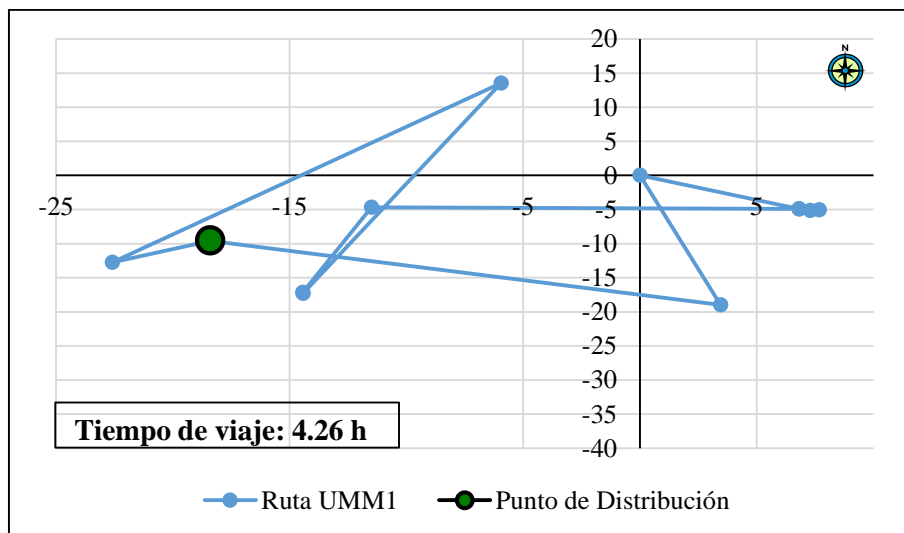


Figura 28 Ruta de UMM1 a mejorar.

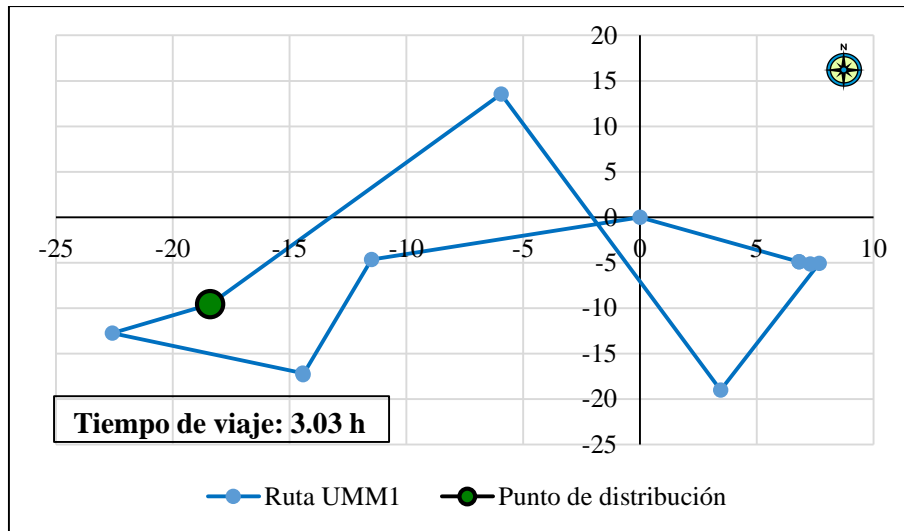


Figura 29 Ruta para UMM1 definida por el algoritmo.

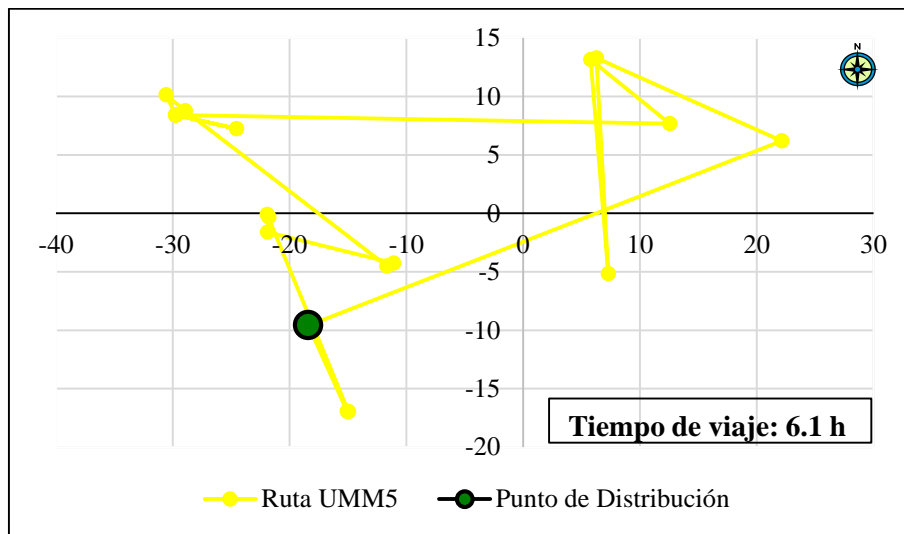
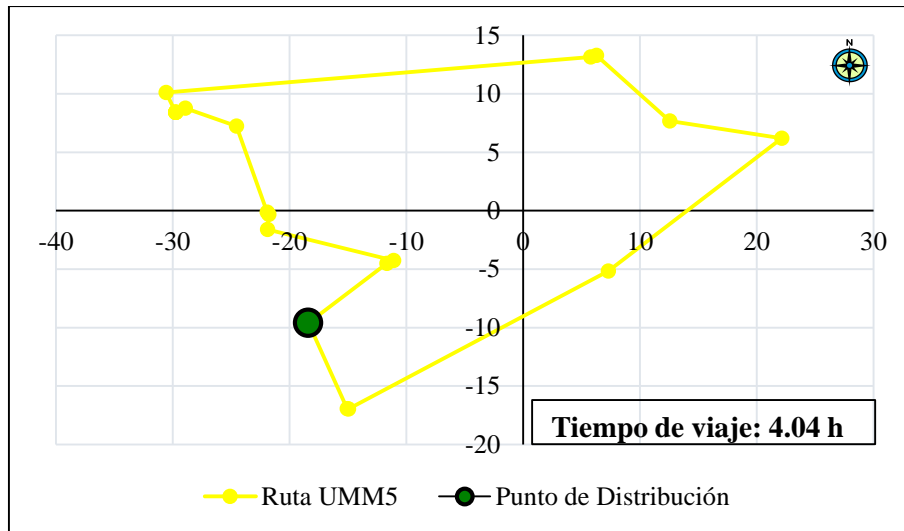


Figura 30 Ruta de UMM5 a mejorar.



**Figura 31 Ruta para UMM5 definida por el algoritmo.**

Estas rutas se plantean como propuestas de mejora para las rutas de la unidad móvil médica 1 (UMM1) y la unidad móvil médica 5 (UMM5), definidas por el modelo jerárquico. Lo que se pretende además de ofrecer un mayor porcentaje de alivio, es mejorar el tiempo de respuesta del personal especializado frente a la atención de calamidades presentes en la población afectada. La implementación del algoritmo ofrece una reducción en los tiempos de viaje un poco más de 3 horas, tiempo considerable cuando se trata de calamidades vitales.

### **7.3 Conclusiones**

De acuerdo a los resultados obtenidos, el algoritmo propuesto permite que el modelo jerárquico presente una mayor eficiencia en los tiempos de viaje, sin embargo es un algoritmo que permite encontrar mejoras para escenarios pequeños, es decir, donde existe un reducido número de nodos asignados a las rutas.

El algoritmo propuesto se desarrolla a partir de operaciones elementales, por lo cual no implica tiempos prolongados en la ejecución permitiendo a los organismos de socorro y al gobierno tomar decisiones rápidas y efectivas. Sin embargo, se propone para trabajos futuros la realización de un heurísticos que facilite a los decisores la elección de rutas completamente optimizadas.

La reducción del tiempo de viaje para el modelo jerárquico, implica mejora en la velocidad de respuesta del personal, lo cual hace que la propuesta 1 además de ofrecer un alto porcentaje de alivio con respecto al modelo integral sea eficiente en el ruteo del personal especializado.

## CAPÍTULO 8

### CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN

#### 8.1 Conclusiones

Este trabajo de grado presenta propuestas de solución frente al problema de la situación post-desastre en una inundación repentina, cuyo objetivo es tener un tiempo mínimo de operación (Tiempo de operación: Tiempo de viaje + Tiempo de atención). Para la realización de este trabajo de grado se identificaron los factores propios de la situación post-inundación, tales como: la carencia de infraestructura, la velocidad de respuesta, el tamaño de la población afectada, la efectividad del personal, la aparición y propagación de enfermedades (calamidades), entre otros.

La dinámica de una situación post-desastre está definida por la velocidad de operación, por lo cual el tiempo se convierte en el factor común de las operaciones en la gestión post-desastre. En las situaciones de emergencia los organismos de ayuda humanitaria cuentan con personal especializado y capacitado para atender cualquier calamidad, por lo tanto la asignación y distribución del personal se realiza teniendo en cuenta la proximidad del personal a la población afectada, sin considerar la efectividad o el porcentaje de alivio el cual varía de acuerdo a la calamidad y el personal asignado.

En la revisión bibliográfica se identificó que las inundaciones son un problema mundial que puede ser caracterizado como el tipo de desastre que ocurre con mayor frecuencia y que cobra el mayor número de vidas pérdidas debido a la aparición y propagación de enfermedades (calamidades). En este tipo de situaciones existe una población afectada que requiere ser evacuada de la zona inundada y requiere ser instalada en una zona segura equipada por albergues, usualmente dichos albergues corresponden a instituciones públicas adecuadas para que funcionen como albergues o como punto de distribución. Otra característica propia de la situación post-desastre es la obstrucción del flujo de físico, económico y de información, aislando a la población afectada y dejándola vulnerable.

La modelación matemática de la situación post-inundación se basó en el *Vehicle Routing Problem* y en el *Facility Location Problem*, con algunas adecuaciones para que se ajustaran a la situación post-inundación. Los modelos matemáticos consideran el riesgo de inundación de las zonas consideradas como zonas potenciales, dicho riesgo está asociado a la frecuencia de inundación de las zonas. Los modelos son diseñados para ser considerados herramientas de apoyo en la toma de decisiones, en los cuales se busca que el tiempo de operación sea el menor tiempo posible, considerando el porcentaje de alivio de la población afectada como medida de desempeño de dichos modelos propuestos.

Para el modelo de localización se definió que sólo se va a instalar un punto de distribución, debido a que permite recopilar y dar información a los actores externos sobre el impacto de la inundación en la población; el centralizar la información permite la coordinación de los organismos de socorro, considerando la disponibilidad y capacidad del personal logrando que estos actúen bajo un mismo objetivo. El tener sólo un punto de distribución facilita el control y el seguimiento de la asistencia a la población, lo cual implica mantener activa las operaciones destinadas a la atención de la población afectada por la inundación.

Para la modelación matemática de la situación se definió que la reducción del tiempo de operación debe ser el menor tiempo posible, no obstante este objetivo está compuesto por dos partes para las



cuales se definieron unos pesos de importancia, en donde es menos importante el tiempo de viaje ( $\alpha = 5\%$ ) que el tiempo de atención ( $1 - \alpha = 95\%$ ), debido a que los modelos están diseñados de tal manera que diseñen estratégicamente la red de instalaciones, garantizando proximidad entre las instalaciones y permitiendo un menor tiempo de viaje, mientras que el tiempo de atención es un parámetro que está directamente relacionado con la efectividad del personal, el tipo de relación entre estos parámetros es inversamente proporcional, es decir, que entre el conjunto de unidades móviles la que presente el mayor tiempo de atención para una calamidad específica, indica que dicha unidad móvil no es una unidad móvil especializada en la atención de ese tipo de calamidad, por lo cual el porcentaje de alivio para dicha unidad móvil es el menor entre el conjunto de todas las unidades móviles.

De acuerdo a las comparaciones hechas en el capítulo 6 se puede concluir que el modelo jerárquico presenta en promedio un 30% más de alivio que el modelo integral, por lo cual se considera que el modelo jerárquico presenta mejor desempeño. Sin embargo la respuesta del modelo jerárquico, no puede considerarse como una solución final debido a que en el capítulo 7 fue necesario definir un algoritmo que permitiera mejorar las rutas (UMM1 y UMM5) definidas por dicho modelo, la mejora fueron 3.5 horas en promedio para cada ruta. Las rutas definidas por el modelo jerárquico determinan que es mejor asignar varios albergues a una ruta que pocos albergues a está, además se evidencia que el personal médico, es la unidad móvil más importante en la gestión de la situación post-desastre.

Las contribuciones de este trabajo de grado es el planteamiento de soluciones para el problema de la definición de lugares potenciales para la ubicación de albergues y el punto de distribución, considerando el riesgo de inundación asociado a la zona, además de realizar la planeación y programación de las rutas de las unidades móviles considerando las calamidades presentes en la población. Hasta lo estudiado se encontró que éste es el primer trabajo que presenta el porcentaje de alivio de la población afectada como medida de desempeño de la propuesta de solución, por lo cual es importante aclarar que dichos modelos propuestos no sólo definen la ubicación estratégica de los albergues, del punto de distribución, la asignación y distribución de las unidades móviles, sino que son capaces de calcular el porcentaje de alivio por calamidad dentro de la población afectada.

## 8.2 Perspectivas de investigación

Las inundaciones ocasionan problemas sanitarios en la región debido a que éstas interrumpen el suministro de electricidad, comunicación, manejo de aguas residuales y el manejo de desechos sólidos, incentivando así la aparición y propagación de enfermedades en la población. No obstante una extensión a este trabajo de grado es el planteamiento estratégico, táctico y operativo de la gestión post-inundación en el caso en el que la zona inundada tenga sustancias tóxicas y elementos contaminantes en el medio ambiente aumentando exponencialmente el impacto de la inundación en la población afectada.

Los modelos propuestos presentan más de 80 mil variables por lo cual se trata de un problema NP-duro en donde dichos modelos pueden no encontrar una solución en caso de que el número de instancias sea demasiado grande, por lo cual la extensión a este trabajo sería el desarrollo heurístico de un modelo que permita encontrar soluciones para grandes y pequeñas instancias, garantizando así la respuesta a catástrofes o a desastres naturales.

Las propuestas planteadas en este trabajo de grado se validaron a partir de datos estimados para la inundación ocurrida en 2010 en el departamento del Atlántico; la validación de dichas propuestas, en otras regiones, en otro tipo de inundaciones en zonas rurales y urbanas, puede ser considerado como una extensión a este trabajo. Esto permite evaluar la flexibilidad de las propuestas y el beneficio que ofrece cada propuesta.

El riesgo de inundación considerado en los modelos hace referencia a la frecuencia de inundación de las zonas definidas como zonas potenciales, por lo cual se propone para futuras investigación el uso de SIG (Sistemas de Información Geográficos), esto con el propósito de evaluar el estado de cada zona potencial y así cuantificar su respectiva vulnerabilidad frente a inundaciones repentinas.

Desde el punto de vista matemático una extensión de este trabajo es la consideración de la incertidumbre en la formulación matemática así como en los métodos de solución; dicha incertidumbre representa el diseño y definición de modelos estocástico como herramienta de apoyo en la toma de decisiones, aunque esta consideración no es un tema nuevo en la gestión post-desastre si es un enfoque distinto al que usualmente se da en este tipo de situaciones de emergencia.

## REFERENCIAS

- Afshar, A., & Haghani, A. (2012). Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(4), 327–338. doi:10.1016/j.seps.2011.12.003
- Alderman, K., Turner, L. R., & Tong, S. (2012). Floods and human health: a systematic review. *Environment International*, 47, 37–47. doi:10.1016/j.envint.2012.06.003
- Asamblea General de la AMM. (2006). *Declaración de la AMM sobre la Etica Médica en Casos de Catástrofes* (pp. 4–7). Estocolmo, Suecia. Retrieved from <http://www.wma.net/es/30publications/10policies/d7/>
- Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 11(2), 101–121. doi:10.1080/13675560701561789
- Balcik, B., Beamon, B., & Smilowitz, K. (2008). Last Mile Distribution in Humanitarian Relief. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 51–63. doi:10.1080/15472450802023329
- Banco de la República de Colombia. (2011). *Documentos de trabajo sobre Economía Regional* (pp. 1–50). Cartagena, Colombia.
- Barbarosoğlu, G., & Arda, Y. (2004). A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *Journal of the Operational Research Society*, 55(1), 43–53. doi:10.1057/palgrave.jors.2601652
- Benini, A., Conley, C., Dittmore, B., & Waksman, Z. (2009). Survivor needs or logistical convenience? Factors shaping decisions to deliver relief to earthquake-affected communities, Pakistan 2005-06. *Disasters*, 33(1), 110–31. doi:10.1111/j.1467-7717.2008.01065.x
- Campbell, a. M., Vandenbussche, D., & Hermann, W. (2008). Routing for Relief Efforts. *Transportation Science*, 42(2), 127–145. doi:10.1287/trsc.1070.0209
- Caunhye, A. M., Nie, X., & Pokharel, S. (2012). Optimization models in emergency logistics: A literature review. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 4–13. doi:10.1016/j.seps.2011.04.004
- Centre for research on the epidemiology of disaster -CRED. (2014). Database | EM-DAT. Retrieved May 11, 2014, from <http://www.emdat.be/database>
- Contraloría Departamental del Atlántico. (n.d.). *Estado de los Recursos Naturales y Medio Ambiente en el Departamento del Atlántico*. (pp. 1–107). Barranquilla, Colombia. Retrieved from <http://contraloriadelatlantico.gov.co/sitio/>
- Cornejo C.C., Vargas F.J., Aragon L.C., S. V. O. (2013). Localización de almacenes y distribución de ayuda humanitaria para atención de damnificados en caso de desastre natural. In *Innovation in Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity* (pp. 1–10). Cancun: Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. doi:ISBN-10 978-0-9822896-6-2, ISBN-13 0-9822896-6-9

- Faulin, J., Jorba, J., Caceres, J., Marquès, J. M., & Juan, A. (2011). Using parallel & distributed computing for real-time solving of vehicle routing problems with stochastic demands. *Annals of Operations Research*, 207(1), 43–65. doi:10.1007/s10479-011-0918-z
- Galindo, G., & Batta, R. (2013). Prepositioning of supplies in preparation for a hurricane under potential destruction of prepositioned supplies. *Socio-Economic Planning Sciences*, 47(1), 20–37. doi:10.1016/j.seps.2012.11.002
- Gracia G., V. (2002). International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). Retrieved August 15, 2014, from [http://www.eird.org/esp/revista/No6\\_2002/art13.htm](http://www.eird.org/esp/revista/No6_2002/art13.htm)
- Griffin, D., & Johnston, K. (n.d.). Katrina investigation focuses on more than one person - Dec 21, 2005. Retrieved October 6, 2014, from <http://edition.cnn.com/2005/US/12/21/katrina.hospital/>
- Hamedi, M., Haghani, A., & Yang, S. (2012). Reliable Transportation of Humanitarian Supplies in Disaster Response: Model and Heuristic. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 1205–1219. doi:10.1016/j.sbspro.2012.09.835
- HASC. (2010). *Catastrofes: Organización de la Logística Humanitaria* (No. 1). Humanitarian Aid Studies Centre (HASC), Andalucía, España.
- Holguín-Veras, J., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., Pérez, N., & Wachtendorf, T. (2012). On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. *Journal of Operations Management*, 30(7-8), 494–506. doi:10.1016/j.jom.2012.08.003
- Holguín-Veras, J., Jaller, M., & Wachtendorf, T. (2012). Comparative performance of alternative humanitarian logistic structures after the Port-au-Prince earthquake: ACEs, PIEs, and CANs. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(10), 1623–1640. doi:10.1016/j.tra.2012.08.002
- Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., & Aros-Vera, F. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of Operations Management*, 31(5), 262–280. doi:10.1016/j.jom.2013.06.002
- Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., & Aros-Vera, F. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of Operations Management*, 31(5), 262–280. doi:10.1016/j.jom.2013.06.002
- Holguín-Veras, J., Taniguchi, E., Ferreira, F., Jaller, M., & Thompson, R. (2012). The Tohoku disasters: preliminary findings concerning the post disaster humanitarian logistics response. In *Annual Meeting of the Transportation Research Board* (pp. 1–18). Washington D.C., United State: Annual Meeting of the Transportation Research Board. Retrieved from <http://docs.trb.org/prp/12-1162.pdf>
- Huang, M., Smilowitz, K., & Balcik, B. (2012). Models for relief routing: Equity, efficiency and efficacy. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 2–18. doi:10.1016/j.tre.2011.05.004

- Huang, M., Smilowitz, K. R., & Balcik, B. (2013). A continuous approximation approach for assessment routing in disaster relief. *Transportation Research Part B: Methodological*, 50, 20–41. doi:10.1016/j.trb.2013.01.005
- IFCR. (2012). World Disasters Report 2012 - Data. Retrieved August 15, 2014, from <http://worlddisastersreport.org/es/data/index.html>
- IFRC. Mundial sobre Desastres (2010). doi:-ISBN: 978-92-9139-158-5
- Kara, I., Laporte, G., & Bektas, T. (2004). A note on the lifted Miller–Tucker–Zemlin subtour elimination constraints for the capacitated vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 158(3), 793–795. doi:10.1016/S0377-2217(03)00377-1
- Kovács, G., & Spens, K. M. (2011). Trends and developments in humanitarian logistics - a gap analysis. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(1), 32–45. doi:http://dx.doi.org/10.1108/09600031111101411
- Lin, Y.-H., Batta, R., Rogerson, P. a., Blatt, A., & Flanigan, M. (2011). A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster. *Socio-Economic Planning Sciences*, 45(4), 132–145. doi:10.1016/j.seps.2011.04.003
- Lin, Y.-H., Batta, R., Rogerson, P. a., Blatt, A., & Flanigan, M. (2012). Location of temporary depots to facilitate relief operations after an earthquake. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(2), 112–123. doi:10.1016/j.seps.2012.01.001
- Marín, A., Nickel, S., Puerto, J., & Velten, S. (2009). A flexible model and efficient solution strategies for discrete location problems. *Discrete Applied Mathematics*, 157(5), 1128–1145. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166218X08001376>
- Martí, R. (2003). Procedimientos Metaheurísticos en Optimización Combinatoria. *Matemàtiques 1(1)*, 3-62, 1–60. Retrieved from [www.uv.es/~rmarti/paper/docs/heur1.pdf](http://www.uv.es/~rmarti/paper/docs/heur1.pdf)
- Medicos sin Fronteras. (2010). *Tecnical report: Respuesta de emergencia tras el terremoto de HAITÍ: DECISIONES, RETOS, ACTIVIDADES Y FINANZAS* (pp. 1–36). Puerto Principe, Haití.
- Mete, H. O., & Zabinsky, Z. B. (2010). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 76–84. doi:10.1016/j.ijpe.2009.10.004
- Nagy, G., & Salhi, S. (2007). Location-routing : Issues , models and methods. *European Journal of Operational Research*, 177, 649–672. doi:10.1016/j.ejor.2006.04.004
- Najafi, M., Eshghi, K., & Dullaert, W. (2013). A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 49(1), 217–249. doi:10.1016/j.tre.2012.09.001
- Organización Panamericana de la Salud. (2006). 3. Asistencia Internacional humanitaria. Retrieved August 26, 2014, from [http://saludydesastres.info/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=152&Itemid=538&lang=es](http://saludydesastres.info/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=152&Itemid=538&lang=es)

- Özdamar, L., & Demir, O. (2012). A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(3), 591–602. doi:10.1016/j.tre.2011.11.003
- Pedraza, A. J., Stapleton, O., & Van Wassenhove, L. N. (2011). Field vehicle fleet management in humanitarian operations: A case-based approach. *Journal of Operations Management*, 29(5), 404–421. doi:10.1016/j.jom.2010.11.013
- Peng, M., Peng, Y., & Chen, H. (2013). Post-seismic supply chain risk management: A system dynamics disruption analysis approach for inventory and logistics planning. *Computers & Operations Research*, 1–11. doi:10.1016/j.cor.2013.03.003
- Philippe Rekacewicz, Emmanuelle Bournay, U.-A. (2012). Number of flood events by continent and decade since 1950 | GRID-Arendal - Maps & Graphics library. Retrieved October 28, 2013, from [http://www.grida.no/graphicslib/detail/number-of-flood-events-by-continent-and-decade-since-1950\\_10c2](http://www.grida.no/graphicslib/detail/number-of-flood-events-by-continent-and-decade-since-1950_10c2)
- PNUD - UNGRD. (2012). *Reporte técnico: Plan Departamental de Gestión del Riesgo Atlántico* (pp. 1–136). Departamento del Atlántico, Colombia.
- Reyes-rubiano, L. S., Quintero-araújo, C. L., & Torres-ramos, A. F. (2014). Modelo Matemático para la Programación de Personal Especializado en Logística Humanitaria- Post-Desastre. In *LACCEI 2014* (pp. 1–7).
- Reyes-rubiano, L. S., Torres-ramos, A. F., & Quintero-araújo, C. L. (2014). Supply Chain Management for Medical and Psychological Assistance in Post-Disaster Calamities Situation - Case Flood. In *1st International Conference on Mathematical Methods & Computational Techniques in Science & Engineering (MMCTSE 2014)* (p. 2014). Athens, Greece.
- Reyes-rubiano, L. S., Torres-ramos, A. F., & Quintero-araújo, C. L. (2015). Aplicación de la investigación de operaciones en la logística humanitaria post- desastre : Revisión bibliográfica Application of Operations Research in post-disaster humanitarian logistics : Literature review. *Ingeniare. Revista de Ingeniería, Submitted*.
- Rodríguez C., A. M. (1998). *Avances sobre el problema de localización continua de un único centro. - Fondos Digitalizados de la Universidad de Sevilla*. Universidad de Sevilla.
- Rottkemper, B., Fischer, K., & Blecken, A. (2012). A transshipment model for distribution and inventory relocation under uncertainty in humanitarian operations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 98–109. doi:10.1016/j.seps.2011.09.003
- RTVE. (2010, August 29). Nueva Orleans hace balance cinco años después del huracán Katrina. Retrieved June 8, 2014, from <http://www.rtve.es/noticias/20100829/cinco-anos-despues-del-katrina-nueva-orleans-sigue-recuperandose/349646.shtml>
- SCHR/VOICE/ICVA. (2004). *El Proyecto Esfera Humanitaria y Normas mínimas de respuesta humanitaria en casos de desastre* (pp. 2–408). Ginebra, Suiza. Retrieved from <http://www.sphereproject.org>

- Sheu, J.-B. (2007). An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 687–709. doi:10.1016/j.tre.2006.04.004
- Song, R., He, S., & Zhang, L. (2009). Optimum Transit Operations during the Emergency Evacuations. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 9(6), 154–160. doi:10.1016/S1570-6672(08)60096-3
- Street, T. (2006). *Hospitales seguros ante inundaciones*. Washington, D.C, Estados Unidos.
- Tinguaro, J., Begoña, V., & Montero, J. (2012). A general methodology for data-based rule building and its application to natural disaster management. *Computers & Operations Research*, 39(4), 863–873. doi:10.1016/j.cor.2009.11.014
- Tomasini, R., & Wassenhove, L. Van. (2009). *HUMANITARIAN LOGISTICS* (1st ed., pp. 1–193). Great Britain: Palgrave Macmillan.
- Tzeng, G.-H., Cheng, H.-J., & Huang, T. D. (2007). Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 673–686. doi:10.1016/j.tre.2006.10.012
- UNGRD - Colombia. (2013). *Technical report: Informe de Gestión 2013* (pp. 1–80). Colombia. Retrieved from [www.gestiondelriesgo.gov.co](http://www.gestiondelriesgo.gov.co)
- UNISDR. (2009). UNISDR Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres.
- USAID/OFDA. (2008). Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades.
- Van den Bergh, J., Beliën, J., De Bruecker, P., Demeulemeester, E., & De Boeck, L. (2013). Personnel scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 226(3), 367–385. doi:10.1016/j.ejor.2012.11.029
- VanRooyen, M., & Leaning, J. (2005). After the tsunami--facing the public health challenges. *The New England Journal of Medicine*, 352(5), 435–8. doi:10.1056/NEJMp058013
- Waxman, H. A., Cardoza, D. A., Obey, D. R., Tanner, J. S., & Holmes N., E. (2006). *WASTE , FRAUD , AND ABUSE IN HURRICANE KATRINA CONTRACTS* (pp. 1–22). United States.

## Anexo 1

El riesgo se determina como la probabilidad de ocurrencia de una inundación en cada municipio, estos son valores tomados directamente de: (UNGRD). Se determinó el uso del promedio aritmético para facilidad y simplicidad en el modelo.

Riesgo de la zona ( $RA_j, RCD_i$ ). Modelo jerárquico.

Zona	$j/i$	% de riesgo	Zona	$j/i$	% de riesgo
Sabanalarga	1	1.875	Repelón	27	1.875
	2	1.875		28	1.875
	3	1.875		29	1.875
	4	1.875		30	1.875
	5	1.875	Baranoa	31	1.625
	6	1.875		32	1.625
	7	1.875		33	1.625
	8	1.875		34	1.625
	9	1.875		35	1.625
	10	1.875		36	1.625
Ponedera	11	1.415		37	1.625
	12	1.415		38	1.625
	13	1.415		39	1.625
	14	1.415		40	1.625
	15	1.415	41	1.875	
	16	1.415	42	1.875	
	17	1.415	43	1.875	
	18	1.415	44	1.875	
Tubará	19	1.15	Barranquilla	45	1.875
	20	1.15		46	1.875
Palmar de Varela	21	1.875		47	1.875
	22	1.875		48	1.875
Repelón	23	1.875		49	1.875
	24	1.875		50	1.875
	25	1.875		51	1.875
	26	1.875			

Riesgo de la zona ( $RCD_i$ ). Modelo integral.

Zona	$j/i$	% de riesgo	Zona	$j/i$	% de riesgo
Sabalarga	1	1.875	Repelón	7	1.875
Ponedera	2	1.415		8	1.875
Tubará	3	1.15		9	1.875
	4	1.15		10	1.875
Repelón	5	1.875		11	1.875
	6	1.875		12	1.875



## Anexo 2

### Capacidad de atención del personal:

De acuerdo a la carta humanitaria y normas mínimas de respuesta humanitaria en casos de desastres, se establece que el personal profesional en cuidados clínicos (médicos, enfermeras, psicólogos), no puede atender a más de 50 personas al día (10 familias al día), por lo cual para los modelos se consideró que la capacidad máxima de atención para el personal profesional en cuidados clínicos es de 10 familias al día, mientras que para el personal voluntariado se establece la siguiente relación: (1 voluntario)/(500-1000 personas damnificadas), no obstante esta relación no se tuvo en cuenta en la definición de parámetros de los modelos, pero a partir de esto se definió que una unidad móvil de voluntarios puede atender a 50 familias por día.

<b>Unidad móvil</b>	<b>Familias/ día</b>
U.M. Médico	10
U.M. Enfermera	10
U.M. Psicólogo	10
U.M. Voluntariado	50

### Anexo 3

Problemas de Salud	Tiempo esperado de atención por familia (horas)			
	U.M. Médico	U.M. Enfermera	U.M. Psicólogo	U.M. Voluntariado
Trastornos de sueño (PE)	1.3	1.7	0.5	0.7
Ansiedad (PE)	1.3	1.7	0.5	0.7
Estrés post-traumático (PE)	1.3	1.7	0.5	0.7
Trastornos de sueño (PA)	1.3	1.7	0.5	0.7
Ansiedad (PA)	1.3	1.7	0.5	0.7
Estrés post-traumático (PA)	1.3	1.7	0.5	0.7
Trastornos de sueño (A)	1.3	1.7	0.5	0.7
Ansiedad (A)	1.3	1.7	0.5	0.7
Estrés post-traumático (A)	1.3	1.7	0.5	0.7
Fracturas	0.7	0.8	1.7	2.5
Aplastamiento de extremidades (golpes, rasguños, cortadas pequeñas)	0.2	0.2	1.3	0.5
Vomito	0.3	0.5	1.7	2.5
Diarrea	0.3	0.5	1.7	2.5
Cólera	0.3	0.5	1.7	2.5
Tos	0.3	0.5	1.7	2.5
Rinorrea	0.3	0.5	1.7	2.5
Exantema	0.3	0.5	1.7	2.5
Dolor de garganta	0.3	0.5	1.7	2.5
(Malaria, dengue, etc.)	0.5	0.8	2.5	3.3

## Anexo 4

COORDENADAS		x	y
1	Santa Lucía	40.3683504	9.56140284
2	Campo de la Cruz	23.5586168	-13.1882531
3	Manatí	26.760503	-9.572638
4	Repelón	22.2450733	-27.4980666
5	Alianza para el Progreso - sede de la I.E. Fernando Hoyos Ripoll.	-7.7836E-05	-1.1141E-11
6	Divino Niño - Sede de la I.E. Fernando Hoyos Ripoll	6.81321259	-4.89623117
7	Institución Educativa Antonia Santos de Molinero	3.46313035	-18.9992331
8	Institución Educativa de Sabanalarga "CODESA"	6.81321259	-4.89623117
9	Institución Educativa Escuela Normal Superior Santa Teresita	4.44099436	-14.2254026
10	Institución Educativa Fernando Hoyos Ripoll	7.11322122	-6.21677373
11	Institución Educativa Máximo Mercado	7.29242262	-5.16328674
12	Institución Educativa Técnica Ambrosio Plaza	7.29575847	-5.16328724
13	Jesús de Nazareth - Sede de la I.E. Fernando Hoyos Ripoll	17.6404034	7.16346519
14	Marco Fidel Suárez. Sede de la I.E. de Sabanalarga CODESA. INSTITUCION EDUCATIVA TECNICA COMERCIAL DE	7.67605976	-5.06498631
15	PONEDERA I.E. TECNICA AGROPECUARIA LA CANDELARIA - SEDE	6.29055578	13.295865
16	PRINCIPAL	12.5496356	7.67133542
17	I.E. TECNICA AGROPECUARIA DE PUERTO GIRALDO	22.1522977	6.18660194
18	CENTRO EDUCATIVO LA RETIRADA	22.9819341	13.849045
19	CENTRO EDUCATIVO SANTA RITA	22.9179894	8.76050387
20	I.E. LAS FLORES	5.79855662	13.1416073
21	I.E. RAFAEL NUÑEZ	6.64420534	13.8083926
22	INSTITUCION EDUCATIVA MARTILLO	5.82717002	13.1625348
23	INSTITUCION EDUCATIVA GUAIMARAL	-18.3967733	-9.59733276
24	INSTITUCION EDUCATIVA PLAYA MENDOZA	-22.5928201	-12.7649062
25	INSTITUCION EDUCATIVA COMERCIAL DE PALMAR	-5.93876553	13.5575993
26	INSTITUCION EDUCATIVA TECNICA AGROPECUARIA	5.94139421	13.5436884
27	CENTRO EDUCATIVO ARROYO NEGR	22.2394253	-27.606302
28	CENTRO EDUCATIVO MADRE LAURA	22.2405899	-27.5417963
29	I.E. CIEN PESOS Y LAS TABLAS	21.6849675	-33.3206
30	INSTITUCION EDUCATIVA JOHN F. KENNEDY DE REPELON INSTITUCION EDUCATIVA JOSE DAVID MONTEZUMA	22.0775244	-27.0595085
31	RECUERO	33.144684	-29.6955391
32	INSTITUCION EDUCATIVA MARIA INMACULADA INSTITUCION EDUCATIVA TECNICO AGROPECUARIA DE	22.3630104	-27.410694
33	VILLA ROSA INSTITUCION EDUCATIVA TECNICO AGROPISCICOLA DE	22.2450377	-27.5417999
34	ROTINET	21.9171135	-27.4201785
35	I.E. MARIA INMACULADA DE PITAL DE MEGUA	-21.7735047	-0.31133802

	COORDENADAS	x	y
36	INSTITUCION EDUCATIVA DE BARANOA JULIO PANTOJA MALDONADO	-14.4406579	-17.1584469
37	INSTITUCION EDUCATIVA DE SIBARCO	-15.0838376	-16.9316073
38	INSTITUCION EDUCATIVA ESCUELA NORMAL SUPERIOR SANTA ANA DE BARANOA	-11.6862247	-4.50175176
39	INSTITUCION EDUCATIVA FRANCISCO JOSE DE CALDAS	-21.9068303	-1.61089723
40	INSTITUCION EDUCATIVA JUAN JOSE NIETO	-21.9351243	-0.11437765
41	INSTITUCION EDUCATIVA TECNICA AGROPECUARIA DE CAMPECHE	-14.9544351	-16.965289
42	INSTITUCION EDUCATIVA TECNICO INDUSTRIAL PEDRO A. OÐORO DE BARANOA	-14.4221346	-17.3140556
43	INSTITUTO MIXTO EL LIBERTADOR DE BARANOA	-11.0913006	-4.25388743
44	INSTITUCION EDUCATIVA JUAN JOSE NIETO	-11.4961017	-4.64890391
45	C.E.D. LA CONCEPCION	-24.543158	7.22696023
46	CENT. EDUC. DIST. No.062	-29.7560815	8.41237652
47	CENTRO DE EDUCACION BAS. Y MEDIA No. 103	-29.7560815	8.41232194
48	CENTRO DE EDUCACION BASICA Y MEDIA No. 132	-30.596854	10.1238807
49	CENTRO DE EDUCACION BASICA Y MEDIA No. 203	-29.7560482	8.41237653
50	CENTRO DE EDUCACION BASICA Y MEDIA No.089	-29.7560815	8.41221277
51	CENTRO DE EDUCACION BASICA Y MEDIA No. 161	-29.7571601	8.41237624
52	CENTRO DE EDUCACION BASICA Y MEDIA No. 176	-28.8912847	-1.84848817
53	CENTRO DE EDUCACION SALVADOR ENTREGAS	-29.7554523	4.04577097
54	CENTRO EDUC. DIST. No. 181	-28.9483852	8.77670128
55	CENTRO EDUC. DIST. JESUS MAESTRO FE Y ALEGRIA (ANT. C.E.B. No. 149 )	6.02456375	13.4430729

## Anexo 5

		Porcentaje de alivio por calamidad																				
	Descripción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Modelo Jerárquico	Escenario Base	80%	80%	80%	80%	80%	80%	70%	70%	70%	80%	70%	100%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	60%	
	Escenario 1	66%	66%	66%	66%	66%	66%	61%	61%	61%	48%	42%	63%	53%	53%	53%	53%	53%	53%	53%	37%	
	Escenario 2	80%	80%	80%	80%	80%	80%	70%	70%	70%	80%	70%	100%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	60%
	Escenario 3	80%	80%	80%	80%	80%	80%	70%	70%	70%	80%	70%	100%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	60%
	Escenario 4	35%	35%	35%	30%	30%	30%	29%	29%	29%	26%	21%	48%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	14%
	Escenario 5	74%	74%	74%	74%	74%	74%	66%	66%	66%	65%	57%	83%	73%	73%	73%	73%	73%	73%	73%	73%	49%
	Escenario 6	80%	80%	80%	80%	80%	80%	70%	70%	70%	80%	70%	100%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	60%
	Escenario 7	80%	80%	80%	80%	80%	80%	70%	70%	70%	80%	61%	100%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	60%	
Modelo Integral	Escenario Base	49%	49%	49%	49%	49%	49%	45%	45%	45%	46%	43%	61%	49%	49%	49%	49%	49%	49%	49%	28%	
	Escenario 1	42%	42%	42%	42%	42%	42%	41%	41%	41%	32%	32%	46%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	18%	
	Escenario 2	47%	46%	47%	47%	46%	47%	44%	44%	44%	38%	36%	52%	39%	39%	39%	40%	40%	40%	40%	23%	
	Escenario 3	49%	49%	49%	49%	49%	49%	45%	45%	45%	46%	43%	61%	49%	49%	49%	49%	49%	49%	49%	28%	
	Escenario 4	42%	42%	42%	42%	42%	42%	41%	41%	41%	31%	30%	44%	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%	17%	
	Escenario 5	46%	46%	46%	46%	46%	46%	43%	43%	43%	40%	38%	54%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	23%	
	Escenario 6	48%	48%	48%	46%	46%	46%	43%	43%	43%	40%	36%	56%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	24%	
	Escenario 7	49%	49%	49%	49%	49%	49%	45%	45%	45%	46%	44%	62%	49%	49%	49%	49%	49%	49%	49%	28%	

### Calamidades:

1. Trastornos de sueño (PE). 2. Ansiedad (PE). 3. Estrés post-traumático (PE). 4. Trastornos de sueño (PA). 5. Ansiedad (PA). 6. Estrés post-traumático (PA). 7. Trastornos de sueño (A). 8. Ansiedad (A). 9. Estrés post-traumático (A). 10. Fracturas. 11. Aplastamiento de extremidades. 12. Herida leves. 13. Vomito. 14. Diarrea. 15. Cólera. 16. Tos. 17. Rinorrea. 18. Exantema. 19. Dolor de garganta. 20. Malaria, dengue, etc.

	Descripción	GAP (%)	Tiempo de corrida (s)	Tiempo de operación (mes)	Horas de trabajo	Porcentaje promedio de alivio	Productividad promedio (familias atendidas/hora de trabajo)
<b>Modelo Jerárquico</b>	<b>Escenario Base</b>	0.123%	50.31	8.013045833	11065	82%	0.886967917
	<b>Escenario 1:</b> 1 unidad móvil médica	0.179%	63.12	8.372513889	13366.833	57%	0.542492002
	<b>Escenario 2:</b> 3 unidades móviles médicas	0.231%	27.982	8.205654167	11065	82%	0.886967917
	<b>Escenario 3:</b> Modelo base con reducción de capacidad al 50%	0.150%	50.796	4.182658333	11065	82%	0.886967917
	<b>Escenario 4:</b> 1 unidad móvil médica con reducción de capacidad al 50%	9.728%	183.399	30.9449	12692.333	27%	0.306389692
	<b>Escenario 5:</b> 3 unidades móviles médicas con reducción de capacidad al 50%	0.304%	147.965	4.193680556	11202.333	70%	0.772258779
	<b>Escenario 6:</b> Modelo base con aumento de la demanda	0.076%	119.236	8.177561111	14533	82%	0.886946948
	<b>Escenario 7:</b> Sin pesos de Importancia	1.930%	66.38	8.178580556	11065	81%	0.884229553
<b>Modelo Integral</b>	<b>Escenario Base</b>	3.176%	112.036	0.525545833	841.667	48%	7.058195224
	<b>Escenario 1:</b> 1 unidad móvil médica	2.992%	78.293	0.530595833	897.667	37%	5.326808271
	<b>Escenario 2:</b> 3 unidades móviles médicas	3.092%	114.426	0.532451389	869.667	42%	6.157644248
	<b>Escenario 3:</b> Modelo base con reducción de capacidad al 50%	3.160%	193.705	0.519020833	841.667	48%	7.058195224
	<b>Escenario 4:</b> 1 unidad móvil médica con reducción de capacidad al 50%	2.996%	56.205	0.532451389	897.667	36%	5.232731068
	<b>Escenario 5:</b> 3 unidades móviles médicas con reducción de capacidad al 50%	3.092%	81.266	0.532451389	869.667	42%	6.167073144
	<b>Escenario 6:</b> Modelo base con aumento de la demanda	9.027%	195.716	1.169056944	1175.667	43%	6.141194743
	<b>Escenario 7:</b> Sin pesos de Importancia	6.715%	156.978	0.532451389	841.667	48%	7.05855166

## Anexo 6

Modelo jerárquico: Porcentaje de alivio de cada calamidad en cada albergue

		Albergues																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19
Calamidades	1	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
	2	80%	80%	80%	80%	80%	80%	81%	81%	81%	81%	81%	81%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
	3	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
	4	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
	5	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
	6	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
	7	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
	8	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
	9	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
	10	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
	11	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
	12	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	13	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	14	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	15	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	16	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	17	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	18	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	19	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	20	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
UM Asignada	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	

El nodo 17 del conjunto de albergues fue determinado por el modelo de localización como el punto de distribución.

		Albergues																				
		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Calamidades	1	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
	2	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
	3	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
	4	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
	5	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
	6	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
	7	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
	8	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
	9	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
	10	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
	11	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
	12	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	13	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	14	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	15	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	16	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	17	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	18	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	19	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	20	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
UM Asignada	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	UMM	

Calamidades: 1. Trastornos de sueño (PE). 2. Ansiedad (PE). 3. Estrés post-traumático (PE). 4. Trastornos de sueño (PA). 5. Ansiedad (PA). 6. Estrés post-traumático (PA). 7. Trastornos de sueño (A). 8. Ansiedad (A). 9. Estrés post-traumático (A). 10. Fracturas. 11. Aplastamiento de extremidades. 12. Herida leves. 13. Vomito. 14. Diarrea. 15. Cólera. 16. Tos. 17. Rinorrea. 18. Exantema. 19. Dolor de garganta. 20. (Malaria, dengue, etc).



Modelo integral: Porcentaje de alivio de cada calamidad en cada albergue

		Albergues																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Calamidades	1	50%	10%	50%	10%	10%	80%	50%	50%	50%	10%	80%	50%	10%	10%	50%	10%	50%	50%	50%
	2	50%	10%	50%	10%	10%	80%	50%	50%	50%	10%	80%	50%	10%	10%	50%	10%	50%	50%	50%
	3	50%	10%	50%	10%	10%	80%	50%	50%	50%	10%	80%	50%	10%	10%	50%	10%	50%	50%	50%
	4	50%	10%	50%	10%	10%	80%	50%	50%	50%	10%	80%	50%	10%	10%	50%	10%	50%	50%	50%
	5	50%	10%	50%	10%	10%	80%	50%	50%	50%	10%	80%	50%	10%	10%	50%	10%	50%	50%	50%
	6	50%	10%	50%	10%	10%	80%	50%	50%	50%	10%	80%	50%	10%	10%	50%	10%	50%	50%	50%
	7	50%	5%	50%	5%	5%	70%	50%	50%	50%	5%	70%	50%	5%	5%	50%	5%	50%	50%	50%
	8	50%	5%	50%	5%	5%	70%	50%	50%	50%	5%	70%	50%	5%	5%	50%	5%	50%	50%	50%
	9	50%	5%	50%	5%	5%	70%	50%	50%	50%	5%	70%	50%	5%	5%	50%	5%	50%	50%	50%
	10	10%	80%	10%	80%	80%	80%	10%	10%	10%	80%	80%	10%	80%	80%	10%	80%	10%	10%	10%
	11	10%	80%	10%	80%	80%	70%	10%	10%	10%	80%	70%	10%	80%	80%	10%	80%	10%	10%	10%
	12	20%	100%	20%	100%	100%	100%	20%	20%	20%	100%	100%	20%	100%	100%	20%	100%	20%	20%	20%
	13	10%	80%	10%	80%	80%	90%	10%	10%	10%	80%	90%	10%	80%	80%	10%	80%	10%	10%	10%
	14	10%	80%	10%	80%	80%	90%	10%	10%	10%	80%	90%	10%	80%	80%	10%	80%	10%	10%	10%
	15	10%	80%	10%	80%	80%	90%	10%	10%	10%	80%	90%	10%	80%	80%	10%	80%	10%	10%	10%
	16	10%	80%	10%	80%	80%	90%	10%	10%	10%	80%	90%	10%	80%	80%	10%	80%	10%	10%	10%
	17	10%	80%	10%	80%	80%	90%	10%	10%	10%	80%	90%	10%	80%	80%	10%	80%	10%	10%	10%
	18	10%	80%	10%	80%	80%	90%	10%	10%	10%	80%	90%	10%	80%	80%	10%	80%	10%	10%	10%
	19	10%	80%	10%	80%	80%	90%	10%	10%	10%	80%	90%	10%	80%	80%	10%	80%	10%	10%	10%
	20	10%	30%	10%	30%	30%	60%	10%	10%	10%	30%	60%	10%	30%	30%	10%	30%	10%	10%	10%
UM Asignada	UMP	UME	UMP	UME	UME	UME	UMM	UMP	UMP	UME	UMM	UMP	UME	UME	UMP	UME	UMP	UMP	UMP	

		Albergues																			
		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Calamidades	1	50%	10%	80%	50%	50%	80%	80%	100%	50%	80%	80%	80%	10%	50%	50%	50%	50%	50%	80%	50%
	2	50%	10%	80%	50%	50%	80%	80%	100%	50%	80%	80%	80%	10%	50%	50%	50%	50%	50%	80%	50%
	3	50%	10%	80%	50%	50%	80%	80%	100%	50%	80%	80%	80%	10%	50%	50%	50%	50%	50%	80%	50%
	4	50%	10%	80%	50%	50%	80%	80%	100%	50%	80%	80%	80%	10%	50%	50%	50%	50%	50%	80%	50%
	5	50%	10%	80%	50%	50%	80%	80%	100%	50%	80%	80%	80%	10%	50%	50%	50%	50%	50%	80%	50%
	6	50%	10%	80%	50%	50%	80%	80%	100%	50%	80%	80%	80%	10%	50%	50%	50%	50%	50%	80%	50%
	7	50%	5%	70%	50%	50%	70%	70%	100%	50%	70%	70%	70%	5%	50%	50%	50%	50%	50%	70%	50%
	8	50%	5%	70%	50%	50%	70%	70%	100%	50%	70%	70%	70%	5%	50%	50%	50%	50%	50%	70%	50%
	9	50%	5%	70%	50%	50%	70%	70%	100%	50%	70%	70%	70%	5%	50%	50%	50%	50%	50%	70%	50%
	10	10%	80%	80%	10%	10%	80%	80%	90%	10%	80%	80%	80%	80%	10%	10%	10%	10%	10%	80%	10%
	11	10%	80%	70%	10%	10%	70%	70%	80%	10%	70%	70%	70%	80%	10%	10%	10%	10%	10%	70%	10%
	12	20%	100%	100%	20%	20%	100%	100%	100%	20%	100%	100%	100%	100%	20%	20%	20%	20%	20%	100%	20%
	13	10%	80%	90%	10%	10%	90%	90%	100%	10%	90%	90%	90%	80%	10%	10%	10%	10%	10%	90%	10%
	14	10%	80%	90%	10%	10%	90%	90%	100%	10%	90%	90%	90%	80%	10%	10%	10%	10%	10%	90%	10%
	15	10%	80%	90%	10%	10%	90%	90%	100%	10%	90%	90%	90%	80%	10%	10%	10%	10%	10%	90%	10%
	16	10%	80%	90%	10%	10%	90%	90%	100%	10%	90%	90%	90%	80%	10%	10%	10%	10%	10%	90%	10%
	17	10%	80%	90%	10%	10%	90%	90%	100%	10%	90%	90%	90%	80%	10%	10%	10%	10%	10%	90%	10%
	18	10%	80%	90%	10%	10%	90%	90%	100%	10%	90%	90%	90%	80%	10%	10%	10%	10%	10%	90%	10%
	19	10%	80%	90%	10%	10%	90%	90%	100%	10%	90%	90%	90%	80%	10%	10%	10%	10%	10%	90%	10%
	20	10%	30%	60%	10%	10%	60%	60%	70%	10%	60%	60%	60%	30%	10%	10%	10%	10%	10%	60%	10%
UM Asignada	UMP	UME	UMM	UMP	UMP	UMM	UMM	UMP	UMP	UMM	UMM	UMM	UME	UMP	UMP	UMP	UMP	UMP	UMM	UMP	

Calamidades: 1. Trastornos de sueño (PE). 2. Ansiedad (PE). 3. Estrés post-traumático (PE). 4. Trastornos de sueño (PA). 5. Ansiedad (PA). 6. Estrés post-traumático (PA). 7. Trastornos de sueño (A). 8. Ansiedad (A). 9. Estrés post-traumático (A). 10. Fracturas. 11. Aplastamiento de extremidades. 12. Herida leves. 13. Vómito. 14. Diarrea. 15. Cólera. 16. Tos. 17. Rinorrea. 18. Exantema. 19. Dolor de garganta. 20. (Malaria, dengue, etc).

