

**ESTADO DEL ARTE DE LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA  
LOGÍSTICA DE ATENCIÓN A DESASTRES**

**ANGEL EVELIO SANTANA OÑATE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMÉCANICA  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA  
2015**

**ESTADO DEL ARTE DE LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA  
LOGÍSTICA DE ATENCIÓN A DESASTRES**

**ANGEL EVELIO SANTANA OÑATE  
CÓDIGO: 2081843**

**Trabajo de grado en modalidad “Trabajo de investigación” presentado como  
requisito para optar al título de ingeniero Industrial**

**DIRECTOR:  
MA. JAVIER ARIAS OSORIO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMÉCANICA  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA  
2015**

## DEDICATORIA

A Dios, por regalarme cada día e iluminarme y darme la fortaleza para afrontar los retos que se me presentaban a diario.

A mi familia, que me apoyaron y creyeron en mí para finalmente obtener las metas que me proponía. En especial a mis padres que siempre me apoyaron y confiaron en las decisiones que tomaba.

A mis compañeros de la universidad, que estuvieron presentes en los buenos y malos momentos y me brindaron su acompañamiento con su amor y cariño.

A mi novia, por ser esa persona que en esos momentos que necesitaba a alguien estaba siempre presente y me brindo todo su amor y ternura para que mis días estuvieran llenos de alegría.

A los profesores, quienes me enseñaron toda su sabiduría y ayudaron a formarme como el profesional que soy hoy.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor de este proyecto agradece:

A Dios y a la Virgen, por iluminarme en cada paso que doy en mi vida y permitirme cumplir con esta etapa de mi vida.

Al ingeniero y profesor Javier Eduardo Arias Osorio, por su apoyo, orientación y motivación en cada una de las etapas del presente proyecto.

Al grupo OPALO, por su enseñanza y los medios necesarios para realizar el trabajo de investigación.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	14
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.	16
1.1 TÍTULO	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.3 JUSTIFICACIÓN	17
1.4 OBJETIVOS	18
1.4.1 Objetivo general	18
1.4.2 Objetivos específicos	18
2. MARCO TEÓRICO.	19
2.1 FUNDAMENTOS CONCEPTUALES	19
2.1.1 Estado del arte	19
2.1.2 Logística humanitaria	22
2.1.3 Logística de atención a desastres	30
2.1.4 Relación entre la logística humanitaria y la logística de atención a desastres	32
2.1.5 Elementos de la logística de atención a desastres	33
2.1.6 Modelos de optimización	36
2.2 ANTECEDENTES DE LA LOGÍSTICA DE ATENCIÓN A DESASTRES	38
2.2.1 Desarrollo de revisiones de la literatura relacionados con modelos de optimización de la logística de atención a desastres	40
2.3 MÉTODO DE ANÁLISIS DE FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	48
2.3.1 Indicadores bibliométrico	48
2.3.2 Análisis de contenido	50
3. DESARROLLO METODOLÓGICO	51
3.1 REVISIÓN CONCEPTOS GENERALES DE LA TEMÁTICA PLANTEADA	52
3.1.1 Análisis bibliométrico	53

3.2 FASE HEURÍSTICA	57
3.2.1 Búsqueda de la información	57
3.2.2 Selección de la información	58
3.2.3 Clasificación y categorización de la información	61
3.3 FASE HERMENÉUTICA	64
3.3.1 Estructuración y elaboración del estado del arte	65
3.4 FASE DE CONCLUSIÓN	65
3.5 ELABORACIÓN DEL ARTÍCULO DE CARÁCTER PUBLICABLE	65
4. DESARROLLO DEL ESTADO DEL ARTE	66
4.1 PROBLEMAS ESTRATÉGICOS	66
4.1.1 Predicción de la demanda	66
4.1.2 Ubicación de instalaciones	67
4.2 PROBLEMAS OPERACIONALES	78
4.2.1 Distribución	78
4.2.2 Transporte/Routing	91
5. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN EN LA LOGÍSTICA DE ATENCIÓN A DESASTRES EN EL ENTORNO LATINOAMERICANO.	106
5.1 COLOMBIA	106
5.2 BRASIL	107
5.3 MEXICO	107
5.4 PERU	109
5.5 URUGUAY	109
6. CONCLUSIONES	111
7. RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFIA	116

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Análisis de casos de estudio sobre los modelos de optimización de la logística de atención a desastres.....	41
Tabla 2. Resultado de búsqueda de la información .....	58
Tabla 3. Criterios de inclusión y exclusión de los artículos .....	59
Tabla 4. Artículos potenciales seleccionados para la elaboración del estado del arte.....	61
Tabla 5. Datos principales de los artículos .....	61
Tabla 6. Relación de publicaciones clasificadas según el problema logístico .....	64

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1. Fases de la Logística Humanitaria.....	25
Ilustración 2. Clasificación de la logística de atención a desastres.....	30
Ilustración 3. Elementos de la logística de atención a desastres.....	34
Ilustración 4. Desarrollo metodológico del trabajo de grado .....	51
Ilustración 5. Análisis de autocorrelación entre las keywords de los autores.....	55
Ilustración 6. Top de Keywords.....	56
Ilustración 7. No. de artículos publicados por años.....	57
Ilustración 8. Diagrama de flujo del proceso de selección de los artículos .....	60
Ilustración 9. No. de investigaciones por autor. ....	62
Ilustración 10. Número de publicaciones por año .....	63

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Base jurídica de la gestión de la asistencia humanitaria .....	133
Anexo C. Herramientas de búsqueda y procesamiento de la información.....	134
Anexo D. Protocolo de búsqueda en la ISI Web of Science .....	136
Anexo E. Resultado del análisis bibliométrico en la base de datos ISI Web of Science .....	137
Anexo F. Artículo publicable .....	146
Anexo G. Relación de publicaciones relacionadas en el estado del arte de logística en atención a desastres.....	170

## RESUMEN

**TÍTULO:** Estado del arte de los modelos de optimización en la logística de atención a desastres.<sup>1</sup>

**AUTOR:** Santana Oñate, Angel Evelio.<sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVE:** Logística de atención a desastres, modelos de optimización, estado del arte, desastres.

### **DESCRIPCIÓN:**

Debido a la importancia y relevancia que en la actualidad posee la logística de atención a desastres y los modelos de optimización aplicables en ella, se considera pertinente el continuo estudio investigativo para la solución de los problemas que contrae un desastre. En este proyecto se presenta una revisión de la literatura de los modelos de optimización en la logística de atención a desastres, evidenciando un análisis por tipo de problema estratégico y operacional, específicamente predicción de demanda, ubicación de instalaciones, distribución de suministros y personal y transporte, con el propósito de llegar a un claro conocimiento sobre los avances en la temática planteada y las futuras propuestas de investigación. Este proyecto constituye la base para que el grupo de investigación OPALO haga su inmersión y continúe en profundizar los conocimientos en la temática planteada.

En primer lugar, se realiza una conceptualización de modelos de optimización, logística humanitaria y estado del arte. Posteriormente por medio de ecuaciones de búsqueda se descarga la información de las diferentes bases de datos como ISI Web of Science, Scopus, Proquest, entre otros. Para iniciar la fase Heurística, teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión se seleccionaron los artículos que harían parte del estado del arte y luego con la clasificación por problema logístico se inicia la fase Hermenéutica en la que se analiza por orden cronológico el avance de los modelos de optimización que proponen los diferentes autores. Finalmente se lleva a cabo la fase de Conclusión en la que se recopilan los principales hallazgos y de esta manera identificar las posibles tendencias de desarrollo.

---

<sup>1</sup> Proyecto de grado.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director, MA. Javier Eduardo Arias Osorio.

## ABSTRACT

**TITLE:** State of the art of optimization models in disaster relief logistics.<sup>3</sup>

**BY:** Santana Oñate, Angel Evelio.<sup>4</sup>

**KEYWORDS:** Disaster relief logistics, optimization models, state of the art, disasters.

### **DESCRIPTION:**

Given the importance and relevance that currently owns the disaster relief logistics and optimization models applicable to it, is considered relevant ongoing research study to solve problems that shrinks a disaster. This project presents a literature review of optimization models in disaster relief logistics, evidencing an analysis by type of strategic and operational problems, specifically demand forecasting, facility location, distribution of supplies and personnel and transport, with the aim of reaching a clear knowledge about advances in the proposed thematic and future research proposals. In this project the OPAL research group obtains the basis for its dive and continues the deepening of knowledge on the theme raised.

First, a conceptualization of optimization models, humanitarian logistics and state of the art is performed. Then through search equations information is discharged from different databases such as ISI Web of Science, Scopus, ProQuest, etc. to start Heuristic phase taking into account the inclusion and exclusion criteria were selected items that would make the state of the art and then with the classification by logistical problem, Hermeneutics phase begins in which is analyzed chronologically advancing of the optimization models proposed by different authors. Finally Conclusion phase is carried out, in which the main findings are collected and thus identify possible development trends.

---

<sup>3</sup> Degree project.

<sup>4</sup> Faculty of Physique Mechanics Engineering. School of Industrial and Managerial Studies. Director, MA. Javier Eduardo Arias Osorio.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la cifra de personas afectadas (muertos, heridos y bienes destruidos) a causa de desastres naturales y/o de origen humano se ha incrementado a un ritmo vertiginoso. Por lo tanto, la gestión de la cadena de suministro de la logística humanitaria debe realizarse de una manera eficiente para lograr el funcionamiento adecuado de la cadena de abastecimiento humanitaria. Para ello la mejor opción es poner en práctica los conocimientos referentes a modelos de optimización y utilizarlos en los problemas de la logística humanitaria en busca de disminuir la cantidad de personas afectadas por los desastres.

Day et al<sup>5</sup> menciona cinco razones por las que estudios en el área de la cadena de suministro humanitaria es muy importante. La primera razón, los métodos de solución no son lo suficientemente eficientes para hacer frente a los desastres, es por eso que se debe hacer un mayor esfuerzo en la investigación para mejorar la cadena de suministros de la logística de atención a desastres. La segunda razón, los costos referentes a las operaciones de socorro y el costo del sufrimiento de las persona están en constante crecimiento. La tercera razón, hay muchas organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, que donan cantidades de dinero y recursos para apoyar las operaciones de ayuda humanitaria ante un desastre, así que se tiene que encontrar la mejor manera de invertir y distribuir esas cantidades de dinero y de recursos. La cuarta razón corresponde a cómo se pueden organizar los sistemas de distribución de atención a desastres para hacer frente a la incertidumbre que se presenta en el área de la logística humanitaria. Y por último, el estudio de la cadena de suministros de emergencia no solo se debe ocupar de los resultados relacionados con reducir el costo total de operación sino que se debe mirar cómo reducir el costo del tiempo, porque el tiempo es muy

---

<sup>5</sup> DAY, Jamison, et al. Humanitarian and disaster relief supply chains: a matter of life and death. En: Journal of Supply Chain Management. 2012. Vol. 48, No. 2, p. 27.

importante en el proceso de alivio a emergencias, ya que cada segundo es vital para salvar vidas.

Debido a la importancia del tema anteriormente planteado nace el proyecto “Estado del arte de los modelos de optimización en la logística de atención a desastre”, el cual se centra en la recopilación y análisis de documentos relacionados con los procedimientos de la logística en atención a desastres, demostrando el avance de los diferentes autores en el planteamiento de modelos de optimización a través de los años y sus principales tendencias. Adicional a esto, la presente investigación constituye un aporte importante al grupo OPALO (Grupo de Optimización y Organización de Sistemas Productivos, Administrativos y Logísticos) para fortalecer los estudios en el campo de la logística de atención a desastres.

## **1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.**

### **1.1 TÍTULO**

ESTADO DEL ARTE DE LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA LOGÍSTICA DE ATENCIÓN A DESASTRES.

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad el planeta está experimentando ciertos cambios, tanto climáticos como geográficos, generando en la mayoría de los casos un impacto negativo en el mismo; al mismo tiempo, la mano del hombre ha contribuido en incrementar el número de eventos que atentan con el bienestar de las personas y de la sociedad. Un ejemplo claro, producto de las acciones del hombre o de la naturaleza son los desastres cuyas consecuencias traen la muerte de decenas de miles de personas así como la pérdida de miles de millones de dólares.

De esta manera, cualquier tipo de desastre es considerado un evento de suma importancia al que se debe destinar demasiados esfuerzos provenientes de diferentes actores como los gobiernos, la investigación, la ciencia, entre otros, puesto que son poco predecibles, no se sabe a qué hora pueden ocurrir y cuál será la magnitud con la que golpeará cierto lugar.

La logística se considera una de las principales disciplinas que participan en la atención a un desastre, para ello la generación de constante conocimiento en el desarrollo de modelos y métodos de solución que busquen optimizar la utilización de los recursos constituyen la clave para ayudar a disminuir los efectos y consecuencias de los desastres. Por lo tanto, con ayuda de este trabajo se buscará y documentará los diferentes avances de logística en atención de

desastre (también conocida como Logística Humanitaria) para guiar y dar a conocer los procedimientos a seguir o mejorar en caso de un eventual desastre.

El alcance de la investigación es el de recopilar todos los avances que se han realizado sobre los modelos de optimización de la logística de atención a desastres, donde se busca a través de esa búsqueda reunir mínimo 60 artículos a los cuales se le realizará una síntesis o análisis que luego serán la base para la realización del análisis y síntesis de este trabajo que seguro contribuirá a nuevas investigaciones dentro del grupo de investigación OPALO.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Referente al incremento vertiginoso de los desastres que demandan suministro y apoyo de la logística, las actividades de la logística humanitaria se consideran piezas claves que se deben profundizar para encontrar soluciones óptimas a los retos que nos presentan los desastres. Por lo tanto, tanto la comunidad investigativa como la sociedad, consideran clave el estudio a fondo de la logística de atención a desastre para ofrecer un mejor servicio de apoyo a emergencias.

Además de todos los estudios e implementaciones que se han realizados en el campo de la logística de atención a desastre, todavía hay mucho por investigar en este campo, razón por la cual el grupo OPALO en aras de expandir su espectro de investigación con este estudio en temáticas, como logísticas puntuales y de actualidad, donde es necesario involucrar de manera sistémica los conocimientos adquiridos sobre problemas de optimización ya trabajados y el aprendizaje sobre unos recientes, inicia su interés en este tema.

## **1.4 OBJETIVOS**

**1.4.1 Objetivo general** Construir un estado del arte sobre los modelos de optimización en logística de atención de desastres, obteniendo un análisis detallado de la evolución, tratamiento actual y tendencias del tema con el fin de identificar futuras oportunidades de investigación.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Abordar la revisión de los conceptos generales relacionados con la temática planteada.
- Analizar los resultados de la revisión, clasificando e integrando los diferentes avances, planteamientos, propuestas y desarrollos relacionados con la temática investigada.
- Realizar un análisis de los resultados de la revisión de literatura, con el propósito de llegar a un claro conocimiento en cuanto a logística y los modelos de optimización en la logística de atención a desastres.
- Identificar las investigaciones realizadas en el entorno latinoamericano y/o colombiano, con el propósito de conocer los avances y mejoras que se han hecho en la temática planteada.
- Elaborar un artículo publicable que enmarque los principales resultados del trabajo de investigación.

## 2. MARCO TEÓRICO.

### 2.1 FUNDAMENTOS CONCEPTUALES

A continuación se realizará la búsqueda de definiciones y análisis de los conceptos que serán el soporte en la realización del estado del arte de los modelos de optimización de la logística de atención a desastres.

**2.1.1 Estado del arte** El estado del arte es un estudio analítico, el cual se basa en el análisis de documentos escritos por diferentes autores. En el proceso de realización de un estado del arte no solo es inventariar o reunir los documentos encontrados del tema en específico sino que debe ir más allá, buscar futuras oportunidades de investigación que permitan enriquecer áreas en las cuales se tiene déficit en conocimientos.

El estado del arte tuvo sus orígenes en los años ochenta, en Latinoamérica se dirigieron estudios en el área de las ciencias sociales para recopilar información y tomar alternativas y políticas sobre el desarrollo social de la comunidad de América Latina, de aquí surgió el estado del arte como una acumulación de información sobre un tema determinado y así buscar la mejor forma de aprovecharlo con un riguroso análisis.

Para Messina<sup>6</sup>, un estado del arte es un mapa que permite continuar ahondando sobre una temática particular; un estado del arte es también una posibilidad de integrar discursos que en una primera mirada pueden verse como contradictorios. En un estado del arte está presente la posibilidad de contribuir a la teoría y a la práctica de algo.

---

<sup>6</sup> MESSINA, Graciela. Investigación acerca de la formación docente: un estado del arte en los noventa. En: Revista Iberoamericana de Educación. España. 1999. Enero-Abril. No. 19. p. 145.

En tanto para Vélez y Calvo<sup>7</sup>, el estado del arte es un análisis sistemático y una valoración del conocimiento y de la producción del mismo alrededor de un campo de la investigación y durante un periodo determinado. Este permite identificar los objetos de estudio y sus referentes conceptuales, las principales perspectivas teórico-metodológicas, las tendencias y temas abordados, el tipo de producción intelectual generada alrededor, los problemas de investigación así como el impacto y las condiciones de dicha producción. Por tanto, no es simplemente una ampliación de la documentación existente.

Así mismo, Giraldo<sup>8</sup> define el estado del arte como un estudio que busca sistematizar la investigación realizada dentro de un área dada, haciendo hincapié sobre la atención acerca de los cambios más prevalentes propios de investigación, los enfoques y los métodos, destacando relevancias, redundancias y vacíos que contribuyan a gestar la investigación dentro del área tratada.

Por citar un último, según Galeano et al.<sup>9</sup>, es una investigación sobre la producción intelectual acerca de un tema en específico, que trasciende la recopilación y ordenamiento de los materiales y conduce a formular supuestos y propuestas de acción relacionadas con el área del conocimiento. Es un esfuerzo por mostrar, a partir de la heterogeneidad de los materiales documentales, la presencia de relaciones y conexiones temáticas presentes en los mismos estableciendo un orden jerárquico, señalando vacíos y necesidades de articulación y haciéndolos visibles y accesibles para que sean utilizados por la comunidad

---

<sup>7</sup> VÉLEZ, Amparo y CALVO, Gloria. La investigación documental. En: Estado del arte y del conocimiento. Bogotá: Universidad de la Sabana, 1992, p. 36.

<sup>8</sup>. GIRALDO, Cesar. La investigación documental: Estado del Arte y del conocimiento. Bogotá: Facultad de Enfermería de la Universidad Nacional, 2001.

<sup>9</sup> GALEANO, María y VÉLEZ, Olga. Estado del arte sobre fuentes documentales en investigación cualitativa. Medellín: Universidad de Antioquia, 2002.

académica. Según Molina<sup>10</sup>, para desarrollar un estado del arte, es necesario realizar las siguientes fases:

**a) FASE HEURÍSTICA.**

Es la etapa donde se realizará la recopilación de diferentes fuentes bibliográficas que den un aporte al proceso investigativo. Para ejecutar esta recolección es necesario establecer un criterio de búsqueda, con la ayuda de una ecuación de palabras claves para acotar la información a la que se tiene acceso y asegurar que se encuentre la más apropiada acerca del tema. Por último se clasifica y categoriza la información para facilitar su estudio.

**b) FASE HERMENÉUTICA.**

Ciclo en el que se hace lectura, análisis e interpretación de contenido de los documentos recolectados. Se recopila la información que se considere importante para el desarrollo del estado del arte, preferiblemente en un software, que ayude a organizar el material de conocimiento y facilite el desarrollo del proceso investigativo.

**c) FASE DE CONCLUSIÓN.**

Fase en la que una vez estudiados los temas se recopilan los resultados de la investigación, explicando no solo las bases conceptuales del tema, sino también generando una crítica acerca de lo leído con el fin de crear nuevo conocimiento que contribuya a futuros estudios.

---

<sup>10</sup> MOLINA, Nancy. Herramientas para investigar: ¿Qué es el estado del arte? En: Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular. Bogotá. 2005. Julio-Diciembre. No. 5. p. 74.

Otra forma de desarrollar un estado del arte es la propuesta por Jiménez<sup>11</sup>:

- Como primer paso, se tomará la información recopilada para construir una *contextualización* del tema tratado, para luego clasificarlos por tipo de metodología, autor, texto y marco de referencia conceptual.
- Luego se crea una *clasificación* para el tratamiento de las investigaciones recopiladas, principalmente resaltando sus metodologías y conclusivas.
- Por último, se desarrolla una categorización de las investigaciones iniciando por las categorías internas de cada uno de los paper. Esto se realizará para establecer el aporte de los estudios al área de investigación que se desarrolla.

En conclusión, el estado del arte surge por una necesidad de establecer ese punto hasta donde llegaron los avances de conocimientos de una temática en particular, con la misión de identificar los nuevos aportes conceptuales sobre la temática, cantidad y calidad de la búsqueda de los conocimientos recopilados como resultado de las investigaciones realizadas, los puntos de debates que se han generado a partir de ellas, los métodos y metodologías implementadas en el abordaje del tema y los nuevos problemas que se derivan de las investigaciones ya realizadas. En pocas palabras, el estado del arte es una “investigación sobre la investigación”.

**2.1.2 Logística humanitaria** La Humanitarian Logistics Conference<sup>12</sup> define la logística humanitaria como el proceso de planificar, implementar y controlar de manera eficiente, el flujo y almacenamiento de materiales y de información relacionada, desde el punto de origen al punto de consumo, con el propósito de satisfacer las necesidades de los beneficiarios y aliviar el sufrimiento de la población vulnerable.

---

<sup>11</sup> JIMENEZ, Absalón. El estado del arte en la investigación en las ciencias sociales. En: La práctica investigativa en ciencias sociales. Colombia, 2006, p. 37.

<sup>12</sup> USA. INSTITUTE FRITZ. Humanitarian Logistic Conference. En: INSTITUTE FRITZ. [en línea]. (2004). [consultado 4 oct. 2013]. Disponible en < <http://www.fritzinstitute.org/prgSCHLCaf2004-procceding.html>>

Otra definición de logística humanitaria es dada por Gaytan et al.<sup>13</sup>, quienes la definen como el proceso de planear, implementar y controlar efectiva y eficientemente los flujos de productos, materiales e información desde los donadores —individuos y organizaciones— hasta las personas afectadas, con el fin de atender sus necesidades de supervivencia. La aplicación de conocimientos y habilidades, más la movilización de personas y recursos, es de demasiada importancia para atender rápida y efectivamente a la población afectada.

Finalmente Thomas & Mizushima<sup>14</sup> la definen como el proceso de planificar, implementar y controlar el flujo eficiente y efectivo en cuanto al costo, así como el almacenar los bienes y materiales, e información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de que el beneficiario final tenga la satisfacción de sus requerimientos.

En el transcurso de los años, la sociedad ha tomado un cambio de percepción en el impacto que puede generar un desastre natural (terremoto, sismo, inundaciones, entre otros) o desastre antrópico (violencia social, incendios, accidentes nucleares, entre otros). Donde en un principio se trabajaba en la ocurrencia del desastre y su respectiva respuesta, la administración del desastre, y luego se pasó a trabajar en el riesgo que predispone el desastre, debido a que en un siniestro no ocurre sin previo aviso, debe existir una situación de riesgo en la cual se debe enfatizar para así mitigar o eliminar su impacto en la comunidad.

La gestión del riesgo es la que se ocupa de la gestión del desastre con el objetivo de predecir y/o mitigar el siniestro, también se encarga de servir de guía para la recuperación de los daños que dejó la catástrofe. Uno de los puntos críticos de la

---

<sup>13</sup> GAYTAN, J.; ARROYO, P. y ENRÍQUEZ, R. Logística humanitaria: planeación y control del producto. *Enfasis Logistic*. 2010.

<sup>14</sup> THOMAS, A y MIZUSHIMA, M. Capacitación en logogística: ¿Necesidad o lujo? Fritz Institute. 2004.

gestión del riesgo es la distribución adecuada de los suministros en las zonas afectadas por el evento.

El propósito fundamental de la logística humanitaria es trabajar armónicamente para que las personas tengan una atención lo más pronto posible, ya que son vidas las que están en juego, un retraso en algún punto de la cadena de abastecimiento, como el transporte de personal de rescate, o una decisión mal tomada puede llevar a que se pierdan vidas humanas.

La logística humanitaria es muy similar a los sistemas de gestión logísticos militares, ya que los dos trabajan u operan bajo condiciones especiales que los diferencian de las demás logísticas, como las comerciales o de negocios. En estos dos sistemas (humanitario y militar), la demanda de los suministros es incierta en tiempo, lugar, tamaño de lote, transporte, tecnología y personal, todo esto se debe hacer en un tiempo de respuesta lo más corto posible y sin fallas en su operación.

Las fases que tiene la logística humanitaria en todo el proceso de manejo de un desastre se muestran en la figura 1. En esta figura se identifica en qué posición se encuentra nuestro tema de investigación, la logística de atención a desastres, que en los siguientes capítulos se dará a conocer su significado y qué relación tiene con la logística humanitaria.

La figura 1 muestra la representación o las fases<sup>15</sup> que tiene la logística humanitaria en el proceso de abordar un desastre (puede ser natural o causado por el hombre). Cada fase tiene una forma de proceder distinta a las otras pero siempre en la busca del bienestar de los seres humanos y del medio ambiente, a continuación se explica que se hace en cada etapa del proceso de control ante un desastre:

---

<sup>15</sup> AKHAVAN, R. Ingeniería industrial en la prevención y atención a desastres. En: Centro para la optimización y probabilidad aplicada. Universidad de los Andes. Bogota. 2010.

## Ilustración 1. Fases de la Logística Humanitaria



**El antes** se refiere a que todavía no ha ocurrido el siniestro, es una etapa de alerta del desastre. En esta fase hay dos etapas que son:

- **Mitigación:** son las medidas que se aplican para prevenir y/o reducir el impacto de los desastre en la comunidad. Ejemplos de esta fase son las construcciones de murallas alrededor de los ríos y construcción de edificaciones sísmicas, o, análisis del riesgo potencial en las zonas, para determinar cuáles zonas son más probables que ocurra un desastre.
- **Preparación:** son las actividades que se realizan antes del desastre para preparar a la comunidad para que respondan en una situación de emergencia lo mejor posible. Ejemplos de esta fase; reunir el personal y capacitarlo, adquirir recursos para atender la emergencia (vehículos), construcción de bodegas donde se guarden los equipos, mantenimiento de los equipos utilizados para la emergencia y simulacros de entrenamiento.

**El durante** es cuando el desastre está ocurriendo o ya ocurrió, es decir, son las actividades relacionadas post-desastre. En esta parte de la logística humanitaria es donde se ubica todo lo relacionado con la logística de atención a desastre y en donde la investigación se va a centrar. La fase que se trabaja en este momento del proceso es:

- **Respuesta:** son los procedimientos que se desempeñan cuando el desastre ocurre, se emplean todos los recursos disponibles para preservar la vida de los afectados por el siniestro. Ejemplos de esta fase; atender y evacuar la población, abrir y administrar hangares de resguardo, búsqueda y rescate y recuperación de líneas vitales.

**El después** hace referencia a las actividades que se desarrollan cuando el desastre ya tuvo su impacto y se está recuperando el lugar del siniestro. La actividad relacionada a esta fase es:

- **Recuperación:** son las acciones que se toman para estabilizar a la comunidad y hacer que vuelvan a su estado normal lo más pronto posible. Ejemplos de esta fase; recolección de escombros y reconstrucción de vías y de edificaciones dañadas.

El rendimiento en las operaciones no solo van a ser afectado por la demanda de los suministros sino que también se encuentra condicionado por la naturaleza del sitio en el cual ocurrió el desastre (espacio geográfico), concentración y números de personas afectadas, las instalaciones, los vehículos disponibles para las operaciones de atención, entre otras. Un elemento que se debe considerar como importante y tratar con mucho cuidado es el de las instalaciones, pues estas juegan un papel importante en lo que concierne a la rapidez de respuesta de las personas afectadas. En la actualidad se están realizando avances en este campo para reducir los tiempos de respuesta y mejorar la cadena de abastecimiento, mediante la ubicación óptima de los centros de acopio que son destinados para el almacenamiento de materiales y para la atención a las personas en caso de que se produzca un desastre. Las decisiones que se tomen repercuten en el aumento del riesgo de alargar los plazos de reacción y un impacto negativo en la comunidad donde sucedió el desastre.

Por otro lado, todo desastre no puede ser manejado de la misma manera pues existen diferencias tanto en impacto, magnitud, lugar, acceso, clima, entre otros; por tanto cada desastre requiere de una respuesta hecha a la medida de cada uno. Por ejemplo, en el terremoto de Cachemira, que tuvo lugar el 8 de octubre del 2005 en la región de Cachemira entre India y Pakistán, debido a que tenían una cadena de abastecimiento estándar donde se tenían suministros almacenados que habían quedado de otras emergencias (específicamente en ropa), la Médecins Sans Frontières Bélgica cometió el error de no considerar una zona de clima frío por lo cual suministró recursos que eran los inapropiados para las personas afectadas. Por esta razón, es muy difícil crear una estandarización de los procedimientos necesarios para prestar los servicios con rapidez a las personas afectadas, porque no se sabe en qué condiciones específicas tendrá origen el siniestro.

Manejar las labores logísticas en un eventual desastre no es una tarea fácil, primero por el grado de complejidad de la situación que se presenta en cada uno de los desastres y segundo las comunicaciones de las instituciones involucradas a brindar su trabajo de atención. Según González et al.<sup>16</sup>, las empresas involucradas no comparten información, lo cual genera un problema al momento de coordinar las diferentes labores que se deben llevar a cabo en una calamidad natural o antrópica. Es por ende que se debe trabajar en métodos que logren integrar de una mejor manera los diferentes actores que hacen parte de los trabajos logísticos para la atención humanitaria.

---

<sup>16</sup> GONZÁLEZ, L, et al. Potencial uso de la logística focalizada en sistemas logísticos de atención a desastres. Un análisis conceptual. En: Grupo de Investigación en Producción, Universidad Católica de Colombia y Grupo de Investigación en Sistemas Logísticos, Universidad de la Sabana. Bogotá. 2012.

Para realizar labores humanitarias, todas las organizaciones deben regirse por unos marcos normativos y legales<sup>17</sup>, los cuales son:

a. Marco Normativo

La obligación inherente a los estados de procurar asistencia humanitaria para la población afectada por desastres de cualquier origen, tiene su sustento en la siguiente normativa regional e internacional:

- Instrumentos Regionales e Internacionales:
  - ✓ Los Convenios de Ginebra y sus Protocolos, I y II de 1949, en especial.
  - ✓ La Declaración Universal de los Derechos Humanos.
  - ✓ La Resolución 46/182 de la Asamblea General de las Naciones Unidas.
  - ✓ El Derecho Internacional Humanitario Consuetudinario.
  - ✓ El Marco Estratégico para la Reducción de la Vulnerabilidad y los Desastres en Centroamérica, Guatemala 1999.
  - ✓ La Declaración de Quebec, del 22 de abril de 2001.
  - ✓ La Conferencia Mundial de Reducción de Desastres, Hyogo, Japón, enero de 2005.
  
- Principios rectores de la Asistencia Humanitaria Internacional:

La asistencia humanitaria se sustenta en los Principios Rectores del Derecho Internacional Humanitario y de los Derechos Humanos.

Las autoridades que planifican, dirigen y ejecutan la asistencia humanitaria, tendrán siempre presente el principio y el deber de amparo hacia los más vulnerables, dando la primera prioridad a las necesidades de protección y

---

<sup>17</sup> SAN SALVADOR. MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES. Manual para la gestión de asistencia humanitaria internacional en casos de desastres. En: MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES. San Salvador. 2009.

asistencia que demandan las mujeres embarazadas, los niños, niñas y adolescentes especialmente los que están sin compañía, las madres con hijos pequeños, las mujeres cabeza de familia, así como las personas con discapacidad y los adultos mayores.

La asistencia humanitaria debe contribuir de manera integral, a evitar la reproducción de los factores de vulnerabilidad que permiten la ocurrencia de la crisis.

Las operaciones humanitarias procurarán el manejo autónomo de la crisis por parte de los diferentes actores de la sociedad civil y las autoridades locales y se orientará a facilitar la recuperación y fortalecimiento de las redes comerciales y productivas en las áreas impactadas, por lo que es recomendable que las donaciones sean solicitadas después de que han sido agotados los recursos locales, departamentales y nacionales.

La cooperación para la asistencia humanitaria, responderá a solicitudes concretas y específicas que sean emitidas por los mecanismos nacionales y regionales dispuestos para ello, en cuyo caso se activará el Mecanismo Regional de Ayuda Mutua ante Desastres.

Con el fin de tonar más eficiente y eficaz la asistencia humanitaria, es pertinente que la crisis sea considerada como un conjunto de “pequeñas” crisis humanitarias que han afectado numerosas localidades, donde las necesidades son distintas y particulares a las condiciones de vulnerabilidad preexistentes a la crisis.

#### b. Marco Legal

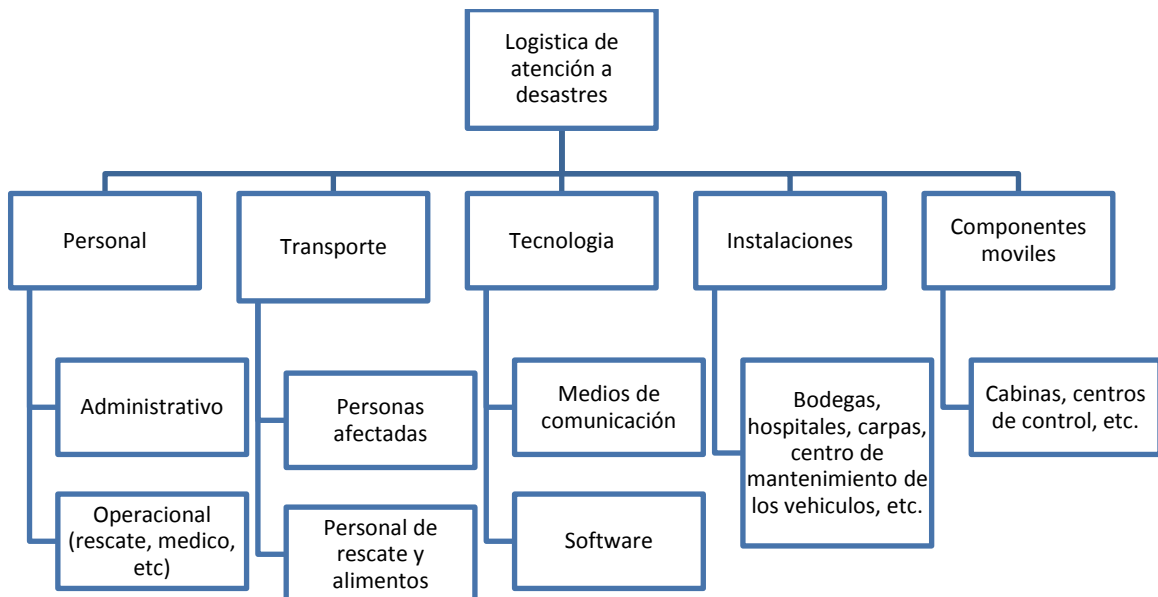
- De acuerdo a la Ley de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres, sus reglamentos y su plan, la gestión de la asistencia humanitaria internacional

es competencia del Ministerio de Relaciones Exteriores (Anexo A), siendo sus funciones las de coordinar tanto las solicitudes, como los ofrecimientos de Recursos de Asistencia Humanitaria (RAH), en estrecha coordinación con la Dirección General de Protección Civil, que es la instancia técnica responsable de determinar el tipo y cantidad de dichos recursos que se solicitarán y aceptarán de la comunidad internacional.

- La Secretaría Nacional de la Familia u otras instituciones que las autoridades designen, serán responsables de administrar y distribuir los RAH a la población afectada por el desastre, lo cual se hará en coordinación con otras instancias del gobierno, la empresa privada y la sociedad civil.
- La asistencia humanitaria en especie, efectivo y la asistencia técnica especializada que sea gestionada en el contexto de una emergencia, será recibida con carácter de donación no reembolsable, salvo que exista otro tipo de acuerdo entre las partes involucradas.

### 2.1.3 Logística de atención a desastres

**Ilustración 2. Clasificación de la logística de atención a desastres**



Según Stephenson<sup>18</sup>, la logística de atención a desastres (o Logística de Emergencia) se define como el trabajo en conjunto del personal de apoyo para lograr que los sistemas involucrados en las actividades de socorro se ejecuten de una forma integrada y coordina.

Otra definición de la logística de emergencia es la propuesta por Barajas<sup>19</sup>, es coordinar los recursos físicos y humanos a niveles técnicos, operativos y administrativos que nos garanticen un óptimo manejo de las situaciones críticas.

La figura 2 muestra los elementos que hacen parte de la logística de atención a desastres, y en la cuales se menciona algunos ejemplos que hacen parte de cada elemento.

Se destaca que la tarea básica de la logística de atención a desastres es la entrega de los suministros requeridos en el momento justo, en la cantidad apropiada y en el lugar indicado, que se hace en el elemento de transporte. Pero la logística de emergencia no solo se encarga de la distribución de los suministro, cumple también un papel importante ya que es la encargada de la reubicación de las personas afectadas por el desastre, el traslado de las víctimas y el traslado de los trabajadores de socorro.

Por lo anterior, la logística de atención a desastre requiere:

- El suministro de los productos de primera necesidades en el menor tiempo posible que garanticen la satisfacción de las personas.
- Los desastres son impredecibles lo que ocasiona que a menudo se improvise el transporte ya que no se cuenta con la flota apropiada, debido a esto se

---

<sup>18</sup> STEPHENSON, R. Logística. Programa de entrenamiento para el manejo de desastre. 1993.

<sup>19</sup> BARAJAS, O. Soporte logístico en atención a emergencias. Grupo de Apoyo y Rescate-UN. Bogota. 1997.

requiere una gran variedad de medios de transporte para apoyar las actividades logísticas.

- Abastecimiento de los almacenes regionales con productos necesarios de una manera efectiva.
- Un plan de planificación con el cual se priorice los diversos productos de emergencia.
- Instalaciones que posibiliten el mejor manejo de grandes mercancías.
- Respuesta rápida del personal de socorro para trasladar las personas (tanto heridas como las que no lo están) a zonas seguras.
- La participación de todas las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales.

#### **2.1.4 Relación entre la logística humanitaria y la logística de atención a**

**desastres** Conociendo las definiciones de cada logística, mientras que la logística de atención a desastre se pone en marcha cuando un lugar está en alerta o cuando ocurre el desastre, la logística humanitaria está en constante movimientos de los suministros, ubicación de albergues por un eventual siniestro, investigación de modelos, entre otros. La logística humanitaria es bastante amplia e incluye aspectos más allá de la respuesta inmediata a la catástrofe. Por ejemplo, la distribución de ayuda, o de vacunas, o medicina en un campo de refugiados; o los planes de acción de organismos internacionales como la Cruz Roja o UN o ONGs como Oxfam en el proceso de respuesta a desastres como sequías, hambrunas u otros eventos que no son inesperados sino de activación lenta (*slow on-set disasters*)<sup>20</sup>. Mientras que la logística de atención a desastres es más enfocada a los procesos que se deben ejecutar cuando el siniestro esté a punto de suceder o que ya se haya presentado el desastre, por ejemplo, distribución de ayuda, evacuación, transporte de víctimas, decisiones operativas, localización de albergues, entre otros.

---

<sup>20</sup> ANAYA, A; RENAUD, J y RUIZ, A. Relief Distribution Networks: A Systematic Review. En: Annals of Operations Research. 2014. Vol. 223, No. 1, p. 43-79.

Otra diferencia es la red logística que maneja cada una, se presentan condiciones y exigencias en las cuales se debe proceder de diferente manera y por lo tanto los modelos de optimización han de ser diferentes.

En conclusión, la logística de atención a desastres es una rama de la logística humanitaria, en donde la primera se encarga de poner en marcha todas las estrategias y procedimientos que se realizaron en el análisis de la situación de un potencial siniestro en la segunda, es decir, las actividades que se realizan en el post-desastre que fueron planeadas en el pre-desastre hacen parte de la logística de atención a desastres (respuesta). Pero todos los procedimientos y estrategias que se hicieron en la etapa de planeación pueden cambiar debido a la naturaleza de cada desastre.

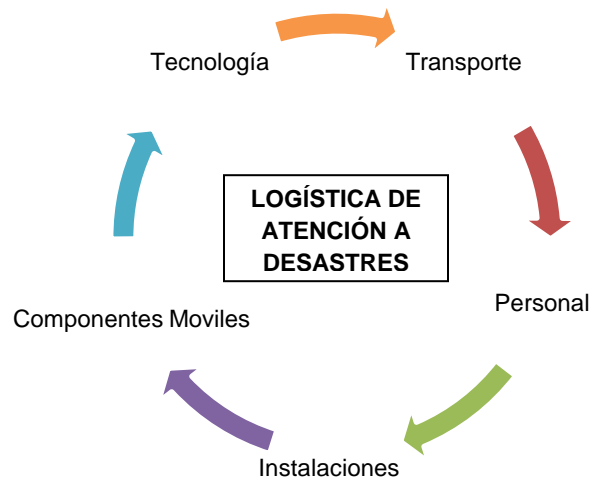
**2.1.5 Elementos de la logística de atención a desastres** La figura 3 muestra los elementos incluidos dentro de la logística de atención de desastres y que su trabajo en conjunto es necesario para lograr la meta, salvar las vidas humanas y asegurar la zona afectada.

Según Stephenson<sup>21</sup>, el objetivo de conocer cada una de las etapas es el de identificar los elementos que están involucrados en toda la logística de atención a desastre. Los siguientes elementos son los que tiene un trabajo importante para que se cumpla la misión de la gestión del desastre (salvar vidas).

---

<sup>21</sup> STEPHENSON, R. Logística. En: Programa de entrenamiento para el manejo de desastres. Madison. 1993.

### Ilustración 3. Elementos de la logística de atención a desastres



#### a. Transporte.

El transporte en la logística de atención a desastre son los encargados de la movilización, tanto de humanos como de suministro, por toda la zona afectada, pero siempre con la dificultad de que todos los caminos no están aptos y se necesite mejor planificación para llegar a la zona. El transporte no solo es local, también se debe contemplar la opción de aeropuertos en donde son puntos de entradas/salidas del país si se llegase a necesitar insumos del exterior. Este elemento es común con la logística hospitalaria ya que en dado caso ocurra un desastre se requerirá la flota de ambulancias disponible para socorrer a las personas afectadas; y también común con la logística aeroportuaria ya que se debe contar con la capacidad de los aeropuertos para el transporte de suministro o de personal que llegara a la zona afectada.

#### b. Personal.

El personal puede ser de tipo administrativo o de rescate. El administrativo está encargado de la estrategia propuesta se lleve en completa normalidad, garantizando las vidas de los seres humanos; también se encuentra el personal de rescate que son los encargados del trabajo físico, en ellos recae todo el peso de

búsqueda de las personas afectadas y hacer todo lo posible para que reciban el mejor tratamiento posible.

c. Instalaciones.

La mejor ubicación de las instalaciones juegan un papel importante en toda la logística de atención a desastre, se debe analizar la mejor ubicación del lugar donde se puedan colocar estas centrales las cuales nos ayudaran en la reducción de tiempo de movilidad de las personas afectadas a los hospitales o de suministros al lugar del siniestro. Otras ubicaciones de instalaciones que se deben realizar dependiendo de la magnitud del desastre es la de localizar hoteles o carpas cercanas al siniestro para colocar a los afectados y que sean tratados lo más rápido posible, siempre y cuando no se cuente con hospitales o lugares a donde puedan ser llevados. Entre estas instalaciones también entran las bodegas de almacenaje y depósitos de combustible. Este elemento es común con la logística hospitalaria ya que se necesitan de sus servicios de su planta física para el tratamiento de los afectados y también nos facilita la cadena de frio que deben tener los suministros farmacéuticos que se utilizan en el tratamiento de las personas.

d. Componentes móviles.

Se debe contar con la mayor flexibilidad de los componentes, como cabinas o puestos de control, para que sean de muy fácil movilización a otros lugares.

e. Tecnología.

La tecnología juega un rol muy importante en la logística de atención a desastre, sin ella las operaciones no estarían guiadas y por ende no tuvieran tanta efectividad. En toda organización o empresa debe tener una muy buena tecnología así sea de telecomunicación o computacional, con ayuda de la tecnología se puede llegar a lugares imposibles con robots que se mueven dentro

de edificaciones destruidas y que tienen la función de buscar sobrevivientes o personas para sacarlas de los escombros.

El trabajo de las organizaciones gubernamentales, como ONG's, es la de planificar toda la estrategia encaminada a la protección de los seres humanos así que tienen el oficio de tener a la mano en un lugar crítico de desastre todos los elementos ya mencionados anteriormente, sino se cuenta con estos elementos en el momento del siniestro el gobierno debe contratar los elementos necesarios o pedir ayuda a empresas del sector privado.

**2.1.6 Modelos de optimización** Para poder entender un modelo matemático hay que conocer los significados de modelo y modelar. Un modelo es una representación matemática en la cual se puede plasmar una situación real simplificada, y modelar es la acción de construir un modelo, en el cual se vea la realidad; estas dos palabras trabajan en conjunto para lograr realizar un modelo matemático. Un modelo debe equilibrar la necesidad de contemplar todos los detalles con la factibilidad de encontrar técnicas de solución adecuadas.

Un modelo es entonces una herramienta de ayuda para que las personas interesadas tengan una imagen más clara de la realidad plasmada en el modelo para luego poder tomar la decisión correcta.

Según Bustos<sup>22</sup>, un modelo de optimización es un conjunto de ecuaciones o inecuaciones y que integran en su estructura unas series de restricciones y una función objetivo. Los modelos son utilizados en las diferentes áreas de conocimiento que involucren la toma de decisiones para maximizar un beneficio o minimizar una pérdida.

---

<sup>22</sup> BUSTOS, E. Optimización de modelos. En: Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México.

Por otro lado, Ruiz<sup>23</sup> plantea que la optimización matemática implica utilizar un conjunto de métodos matemáticos para hallar la mejor solución posible a un problema sea industrial o de servicios.

Los pasos para la construcción de un modelo, según Linares<sup>24</sup>, son:

**Identificación del problema:** consiste en la recolección y análisis de la información relevante para el problema, en el intercambio entre el modelador y el experto, en establecer una relación simbiótica y una estrecha coordinación entre ambos. Esta primera etapa es de suma importancia ya que una mala interpretación guiaría todo esfuerzo a soluciones erróneas es por ende que las interpretaciones sean las correctas para llegar a soluciones óptimas que proporcionen una toma de decisión con un margen de error mínimo.

**Especificación matemática y formulación:** esta fase hace referencia a la construcción matemática del problema de optimización, desarrollando la función objetivo y las restricciones que ayudaran a calcular las variables y parámetros que se establecieron para el modelo. Para la formulación se debe tener una atención muy especial debido a que es la etapa de creación del modelo de optimización.

**Resolución:** en esta etapa se implementan métodos de solución para calcular el resultado óptimo o cuasióptima del modelo de optimización.

**Verificación, validación y refinamiento:** en este paso se busca conseguir que el modelo haga lo que se desea (depurar y verificar). Es necesario comprobar la validez de las simplificaciones realizadas a través de los resultados obtenidos, incluso contrastando éstos con situaciones reales ya transcurridas (validar).

---

<sup>23</sup> ESPAÑA. RUIZ, J. Introducción a la programación matemática. En: Universidad Complutense Madrid. Madrid. 2013.

<sup>24</sup> LINARES, P, et al. Modelos matemáticos de optimización. En: Universidad Pontificia de Comillas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería. España. 2001.

**Interpretación y análisis de los resultados:** consiste en proponer soluciones que arrojen la mejor solución. Para este paso se estudia el comportamiento del modelo al ser sometido a análisis de sensibilidad en los parámetros de entrada para estudiar cómo funcionan los parámetros en diferentes escenarios y comprobar si la solución objetivo es robusta.

**Implantación, documentación y mantenimiento:** La documentación ha de ser clara, precisa y completa para garantizar una extensa difusión. También se incluye en esta etapa la tarea de formación de los usuarios que van a implementar el modelo desarrollado.

## 2.2 ANTECEDENTES DE LA LOGÍSTICA DE ATENCIÓN A DESASTRES

A nivel mundial, las Naciones Unidas (NN.UU. ó ONU), desde 1990 hasta 1999, estableció la década para la reducción de los desastres, debido a que la comunidad internacional ha tomado conciencia de la importancia del tema de los desastres. Al finalizar este período se creó –al interior de la ONU- la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, con el propósito de que los países trabajen en investigaciones acerca sobre este tema. La primera conferencia mundial que se realizó para tratar el tema de reducción de los desastres fue en 1995 en Yokohama, Japón.

Luego de 10 años de estudios e investigaciones sobre los desastres, se realizó la segunda conferencia mundial sobre la reducción de los desastres (en la ciudad de Kobe, Prefectura de Hyogo, Japón), en donde se planteó varias recomendaciones para que los integrantes de las Naciones Unidas las tuvieran en cuenta<sup>25</sup>. Estas recomendaciones son:

---

<sup>25</sup> PODESTÁ, Juan Luis. El comité andino para la prevención y atención de desastres (CAPRADE). EN: Revista tecnología & sociedad. No. 7 (Oct., 2006); p. 145-150.

- Velar porque la reducción de los riesgos de desastres constituya una prioridad nacional y local, dotada de una sólida base institucional de aplicación.
- Identificar, evaluar y vigilar los riesgos de desastres y potenciar la alerta temprana.
- Utilizar los conocimientos, las innovaciones y la educación para crear una cultura de seguridad y de resiliencia a todo nivel.
- Reducir los factores de riesgo secundarios.
- Robustecer la preparación a los desastres para responder efectivamente.

En los países Andinos, en los últimos años las naciones han realizado investigaciones en el tema de prevención y atención a desastres, que le han proporcionado un importante conocimiento y manejo sobre este tema.

En 1998 el Consejo Presidencial Andino, preocupado por los recurrentes impactos del Fenómeno El Niño (FEN), solicitó a la Corporación Andina de Fomento (CAF) realizar evaluaciones de los impactos generados por FEN para estudiarlos. En el 2000 el Consejo Presidencial Andino en reuniones realizadas, instó a la CAF a apoyar a las naciones andinas en este campo, lo que llevo a crear el Programa Andino para la Preparación y Mitigación de riesgos (PREANDINO), con el propósito de fortalecer los conocimientos acerca de este tema en los países integrantes de las naciones andinas.

En el 2001 se realizaron varias reuniones con el fin de fortalecer las plataformas o sistemas nacionales con miras a la creación de un sistema andino para enfrentar los desastres, lo cual llevó a la creación del Comité Andino para la Prevención y Atención de Desastres (CAPRADE). El principal objetivo de la CAPRADE es: contribuir a la reducción del riesgo y del impacto de los desastres naturales y antrópicos que puedan producirse en el territorio de la subregión andina, a través de la coordinación y promoción de políticas, estrategias y planes, y la promoción de actividades en la prevención, mitigación, preparación, atención de desastres,

rehabilitación y reconstrucción, así como mediante la cooperación y asistencia mutuas y el intercambio de experiencias en la materia.

**2.2.1 Desarrollo de revisiones de la literatura relacionados con modelos de optimización de la logística de atención a desastres** En el pasado, las investigaciones relacionadas con modelos de optimización de la logística de atención a desastres constituyen un análisis de información muy general o muy detallada. En algunos trabajos, la recolección de artículos sobre modelos se hace en el tema de logística humanitaria (donde involucran las fases de preparación, mitigación, respuesta y recuperación) y en otros solo buscan artículos que trabajen una parte en específico como algoritmos evolutivos.

En el presente trabajo se toma como foco de estudio la fase de respuesta ante un siniestro, se realiza un barrido en las diferentes bases de datos para obtener los modelos de optimización que involucren las diferentes maneras de solución de un problema en específico. En la tabla 1 se muestran los diferentes casos de estudio sobre modelos de optimización relacionados con la logística de atención a desastres, los cuales se han tenido en cuenta para el presente proyecto.

**Tabla 1. Análisis de casos de estudio sobre los modelos de optimización de la logística de atención a desastres**

ARTICULO	OBJETIVO	METODOLOGÍA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
<p><b>Optimization models in emergency logistics: A literature review</b></p>	<p>Utilizar el análisis de contenido de las herramientas más popular en la logística de emergencia, que son los modelos de optimización, a fin de identificar lagunas en la investigación y sugerir futuras líneas de investigación.</p>	<p>Estos procedimientos se llevan a cabo a través de dos pasos principales: la categorización de la investigación y la categorización de fuentes de la literatura.</p> <p>La razón de la aplicación de análisis de contenido para revisar los modelos de optimización de la logística de emergencia es que puede ofrecer una visión de cómo se perciben las situaciones de desastre. Esto se logra por medio de análisis de variables de decisión, objetivos, parámetros, restricciones y estructuras de los modelos.</p> <p>Lo siguiente a trabajar en la investigación es organizar la secuencia a trabajar, de la siguiente manera: como primera parte explicar con detalle el alcance del análisis.</p>	<p>Hay una clara limitación de los modelos de optimización integrales (modelos que combinan diferentes operaciones).</p> <p>Teniendo en cuenta solamente la capacidad de respuesta, el investigador puede encontrar problemas, tales como exceso de oferta de recursos que conducen a la dificultad con la coordinación, mayor tráfico y la programación compleja. Estos problemas, junto con la falta de comunicación y daños a la infraestructura, han obstaculizado los servicios de socorro, como por ejemplo, en el terremoto de Haití y tsunami del Océano Índico.</p> <p>Los avances en los algoritmos de optimización están haciendo más fácil para resolver los modelos más complejos. Por ello, en los últimos años está creciendo el número de modelos que integran varias operaciones de socorro.</p>

ARTICULO	OBJETIVO	METODOLOGÍA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
		<p>En la siguiente sección, los contenidos de la literatura son clasificados y analizados. Y por último, se presentan las conclusiones de resultados de la revisión y futuras líneas de investigación sugeridas<sup>26</sup>.</p>	<p>Tendencias en investigación son la planeación de la capacidad, ubicación de las instalaciones y planeación de inventarios. En la planeación de inventario post-desastre se puede utilizar un modelado dinámico para incorporar nuevos patrones de demanda, capacidad de ampliar instalaciones o subcontratar, y eventos de interrupción.</p> <p>Una de las limitaciones de los tipos de modelos de optimización revisados en este trabajo es que el comportamiento humano puede hacer un plan óptimo difícil de implementar correctamente.</p> <p>Para la distribución de ayuda a los centros de demandas, hay un reto en la programación, ya que puede ser desigual debido a que para algunas familias puede haber exceso de oferta que para otras puede haber un desabastecimiento. Una solución para esa incertidumbre es el uso de la optimización robusta.</p>

<sup>26</sup> CAUNHYE, A; NIE, X y POKHAREL, S. Optimization models in emergency logistics: A literature review. En: Socio-Economic Planning Sciences. 2012. Vol. 46, No. 1, p. 4-13.

ARTICULO	OBJETIVO	METODOLOGÍA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
			Los modelos generales se basan en datos en tiempo real, los cuales no pueden estar a disposición en momento de utilizarlos lo cual no garantiza una solución óptima rápida.
<p><b>Humanitarian/ Emergency Logistics Models: A State of the Art Overview</b></p>	<p>El objetivo principal del trabajo es presentar una revisión de la literatura sobre-visualización del problema y desafíos encontrados en las operaciones de respuesta a emergencias, a nivel de la logística y la gestión de emergencias.</p>	<p>Los documentos se citan en orden cronológico. Para la clasificación de los documentos se va a dividir en los temas de Logística Humanitaria (HL) y gestión de emergencia (EM). La HL abarcara los temas de distribución de la ayuda y la ubicación de los almacenes; mientras que EM abarcara los temas de transporte y gestión de la cadena de suministro. Como metodología para la investigación se componen en 4 secciones. Una primera sección cubre los modelos que proponen el modo de obtención y almacenamiento de los suministros. La segunda sección trata del transporte y</p>	<p>Las acciones estratégicas clave en la planificación previa a los desastres para la logística humanitaria están determinando los lugares de almacenamiento de la oferta, la evaluación de demanda de empleo y la prestación de asistencia médica. Estas acciones se pueden lograr mediante el uso de modelos precisos que proponen soluciones optimas de abastecimiento, distribución, transporte, ubicación y preparación. La aplicación de los modelos de optimización tiende a minimizar el tiempo de rescate, optimizar el uso de los recursos y mejorar la eficacia/eficiencia del plan de rescate. Es decir, la eficacia y la eficiencia términos utilizados en este documento reflejan la naturaleza de la solución propuesta por los modelos citados.</p>

ARTICULO	OBJETIVO	METODOLOGÍA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
		<p>ruteo de vehículos a las zonas afectadas. En la sección 2, se presentan los enfoques centrados en el transporte/enrutamiento y de la cadena de aprovisionamiento, desde el punto de vista EM. Sección 3 se trabaja sobre la distribución y suministro de ubicación desde el punto de vista HL. Finalmente, la última sección recoge las conclusiones y proporciona un resumen<sup>27</sup>.</p>	
<p><b>Evolutionary optimization for disaster relief operations: A survey</b></p>	<p>En este trabajo se presenta un estudio de los trabajos de investigación sobre este tema (algoritmos evolutivos), el propósito principal se basa en tres puntos: primero, proporcionar a los lectores una</p>	<p>En el resto del artículo, primero se clasifica los problemas de optimización en cinco categorías típicas de las operaciones de socorro, después describir los avances recientes en los EA para la solución de los problemas. En la siguiente sección se presenta el experimento de</p>	<p>EA se desempeñan bien en problemas con ruido y parámetros inciertos, y producen soluciones robustas y adaptables a los cambios del entorno. Otra fortaleza de los EA, son flexibles y se pueden sintonizar en gran medida a los problemas actuales. El verdadero reto que debemos superar, es el de convencer a los tomadores de decisiones escépticos</p>

<sup>27</sup> DIAZ, Rafael, et al. Humanitarian/Emergency Logistics Models: A State of the Art Overview. En: Proceedings of the 2013 Summer Computer Simulation Conference. 2013. Artículo No. 24.

ARTICULO	OBJETIVO	METODOLOGÍA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
	<p>visión general de las principales novedades surgidas en el transcurso de los años. Segundo, Mostrar los principales puntos fuertes y las deficiencias de los estados del arte, y los profesionales de ayuda para encontrar enfoques valiosos que se puede hacer referencia en la práctica de las operaciones de socorro. Y por último, discutir potenciales direcciones para investigaciones futuras, y estimular un mayor interés en este campo interdisciplinario.</p>	<p>seis típicos EAs en un conjunto de problemas de transporte de emergencia en el mundo real. Después se discute las fortalezas, limitaciones y futuras direcciones en la zona, y, finalmente, conclusiones acerca del tema tratado<sup>28</sup>.</p>	<p>de que los nuevos métodos son capaces de producir resultados dignos de su confianza. Para lograr esto, los métodos tienen que aplicarse realmente y demostrar su rendimiento en más operaciones del mundo real.</p>

<sup>28</sup> ZHENG, YJ; CHEN, SY y LING HF. Evolutionary optimization for disaster relief operations: A survey. En: Applied Soft Computing. 2015. Vol. 27, p. 553-566.

ARTICULO	OBJETIVO	METODOLOGÍA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
<p><b>OR models with stochastic components in disaster operations management: A literature survey</b></p>	<p>Los objetivos del presente trabajo incluye una revisión bibliográfica de los componentes estocásticos en la Gestión de Operaciones de Desastres (DOM), su contribución principal es un análisis de los componentes estocásticos presentes en cada paper y las metodologías utilizadas para resolver los modelos. Otra contribución importante es la creación de una base de datos de los últimos avances en el tema, útiles para los futuros investigadores y una</p>	<p>El documento está organizado de la siguiente manera: primero se presenta las definiciones más importantes de DOM (Gestión de operaciones de desastre) y establece la justificación de la investigación y la metodología de búsqueda. El estudio de la literatura se presenta en la siguiente sección; un análisis de los componentes estocásticos y los métodos utilizados para acercarse a ellos se presenta en la sección siguiente y las conclusiones y posibles investigaciones futuras se sugiere en la última sesión. Por último, el Apéndice A muestra la base de datos construida para el opinión<sup>29</sup>.</p>	<p>El énfasis de la investigación en Programación Matemática es principalmente en las operaciones de preparación y respuesta, teniendo en cuenta las instalaciones de pre-posicionamiento, la asignación de recursos, distribución de socorro y transporte de víctimas. Simulación investigación se centra en el desarrollo de modelos que ayudan a procesar y analizar los datos de entrada para la fase de respuesta y consideran principalmente el desarrollo de sistemas de ayuda a la decisión espacial utilizando sistemas de información geográfica, con unos pocos modelos DES. Muchos modelos asumen distintos parámetros o variables sin análisis previo, que pueden conducir a errores importantes durante las fases de planificación y respuesta. El uso de herramientas probabilísticas o estocásticas puede ayudar con la</p>

<sup>29</sup> HOYOS, M; MORALES, R y AKHAVAN-TABATABAEI, R. OR models with stochastic components in disaster operations management: A literature survey. *En*: Computers & Industrial Engineering. 2015. Vol. 82, p. 183-197.

ARTICULO	OBJETIVO	METODOLOGÍA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
	<p>clasificación de todos los artículos consultados según la fase del desastre, técnica y año de publicación. Por último, el documento identifica los trabajos deficientes y posibles futuras líneas de investigación en el DOM con estocasticidad incluido.</p>		<p>exactitud de los supuestos de los modelos de optimización, como el uso de teoría de colas ayuda a replicar el comportamiento del sistema real.</p> <p>Otro tema que no se ha estudiado tanto en la fase de respuesta es la planificación de inventario en la distribución o centros de socorro locales, en su mayoría debido a la incertidumbre de la oferta y la demanda de materias primas.</p> <p>Por otra parte, la investigación de transporte de evacuación y de accidentes ha sido limitada y así necesita de mayor estudio.</p> <p>Otras técnicas que no han sido utilizados comúnmente y pueden proporcionar una contribución importante a muchos modelos, son los algoritmos genéticos cubren múltiples puntos de demanda con múltiples centros de distribución para garantizar la satisfacción de la demanda.</p>

## 2.3 MÉTODO DE ANÁLISIS DE FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

El investigador tiene como primera tarea conocer la documentación sobre el problema que está desarrollando; por ello una fase primordial en todo trabajo investigativo es el análisis de las fuentes bibliográficas relacionadas con el tema planteado<sup>30</sup>. Como métodos de análisis de las fuentes bibliográficas se escogieron el análisis bibliométrico y el análisis de contenido.

**2.3.1 Indicadores bibliométrico** El objetivo principal del análisis bibliométrico es esencialmente cálculo y el análisis de los datos que son cuantificables en la producción y en el consumo de la información científica. Según Filippo & Fernández<sup>31</sup>, uno de los resultados que se obtienen del análisis de las características de las publicaciones científicas son los indicadores bibliométricos, los cuales son datos estadísticamente cuantitativos que nos muestran información relacionada al volumen de investigación que se han realizado en cierta área, la estructura de la publicación, países que generan más investigaciones, etc.

El análisis bibliométrico se lleva a cabo utilizando indicadores bibliométricos los cuales nos permiten determinar aspectos<sup>32</sup> como:

- El crecimiento de cualquier campo de la ciencia, según la variación cronológica del número de trabajos publicados en él.
- El envejecimiento de los campos científicos según la «vida media» de las referencias de sus publicaciones.
- La evolución cronológica de la producción científica según el año de publicación de los documentos.

---

<sup>30</sup> LOPEZ, F. El análisis de contenido como método de investigación. En: Revista de educación. Universidad de Huelva. 2002. Vol. 4, p. 171.

<sup>31</sup> DE FILIPPO, Daniela y FERNÁNDEZ, María. Bibliometría: importancia de los indicadores bibliométricos. RICYT. Buenos Aires. 2000.

<sup>32</sup> SANCHO, R. Indicadores bibliométricos utilizados en la evaluación de la ciencia y la tecnología. Revisión bibliográfica. En: Rev Esp Doc Cient. 1990. Vol. 13, No. 3-4, p. 843.

- La productividad de los autores o instituciones medida por el número de sus trabajos.
- La colaboración entre los científicos e instituciones medida por el número de autores por trabajo o centros de investigación que colaboran.
- El impacto o visibilidad de las publicaciones dentro de la comunidad científica internacional medido por el número de citas que reciben éstas por parte de trabajos posteriores.
- El análisis y evolución de las fuentes difusoras de los trabajos por medio de indicadores de impacto de las fuentes.
- La dispersión de las publicaciones científicas entre las diversas fuentes, entre otros.

La ciencia, mediante el análisis bibliométrico, puede ser estudiada bajo tres aspectos<sup>33</sup> (calidad, importancia científica e impacto científico), de los cuales se puede analizar los tipos de indicadores bibliométricos, estos aspectos son descritos a continuación:

- Indicadores de la calidad científica:** son indicadores a través de los cuales se obtiene información sobre los aspectos de calidad, sólo pueden ser indicadores basados en ideas o pensamientos (opiniones de expertos o revisión por colegas) que juzgan las publicaciones por su contenido científico.
- Indicadores de la importancia científica:** dentro de este tipo de indicador se evalúa la importancia científica medida desde el número y distribución de las publicaciones, la productividad de sus autores, colaboración en publicaciones y el número y distribución de las referencias de las publicaciones científicas.
- Indicadores de impacto científico:** se lleva a cabo mediante el estudio de citas y referencias, siendo este uno de los campos más desarrollados de la bibliometría. Su objetivo es medir el consumo de información científica en un país o por parte de un autor, institución, revista, etc. Estos indicadores se

---

<sup>33</sup> GONZÁLEZ, J y MOYA. M. Indicadores bibliométricos: Características y limitaciones en el análisis de la actividad científica. An Esp Pediatr. España. 1997. pp. 235-244.

apoyan en el supuesto de que los trabajos importantes son usualmente citados, mientras que los irrelevantes se ignoran.

**2.3.2 Análisis de contenido** El análisis de contenido es técnica de tratamiento de artículos con el fin de encontrar patrones de investigaciones que se realizan de cierto tema en específico. Según José Piñuel<sup>34</sup>, “Se suele llamar análisis de contenido al conjunto de procedimientos interpretativos de productos comunicativos (mensajes, textos o discursos) que proceden de procesos singulares de comunicación previamente registrados, y que, basados en técnicas de medida, a veces cuantitativas (estadísticas basadas en el recuento de unidades), a veces cualitativas (lógicas basadas en la combinación de categorías) tienen por objeto elaborar y procesar datos relevantes sobre las condiciones mismas en que se han producido aquellos textos, o sobre las condiciones que puedan darse para su empleo posterior”.

Para la recolección de información, el análisis de contenido se basa en la lectura como instrumento de exploración de conocimiento. Es por eso que Jaime Andréu<sup>35</sup>, dice que la lectura del contenido de un documento debe seguir el método científico, es decir, debe ser sistemática, objetiva, replicable y válida. El análisis de contenido se diferencia a otras técnicas de investigación sociológica, en que se trata de una técnica que combina intrínsecamente la observación y producción de datos, y la interpretación o análisis de los datos.

---

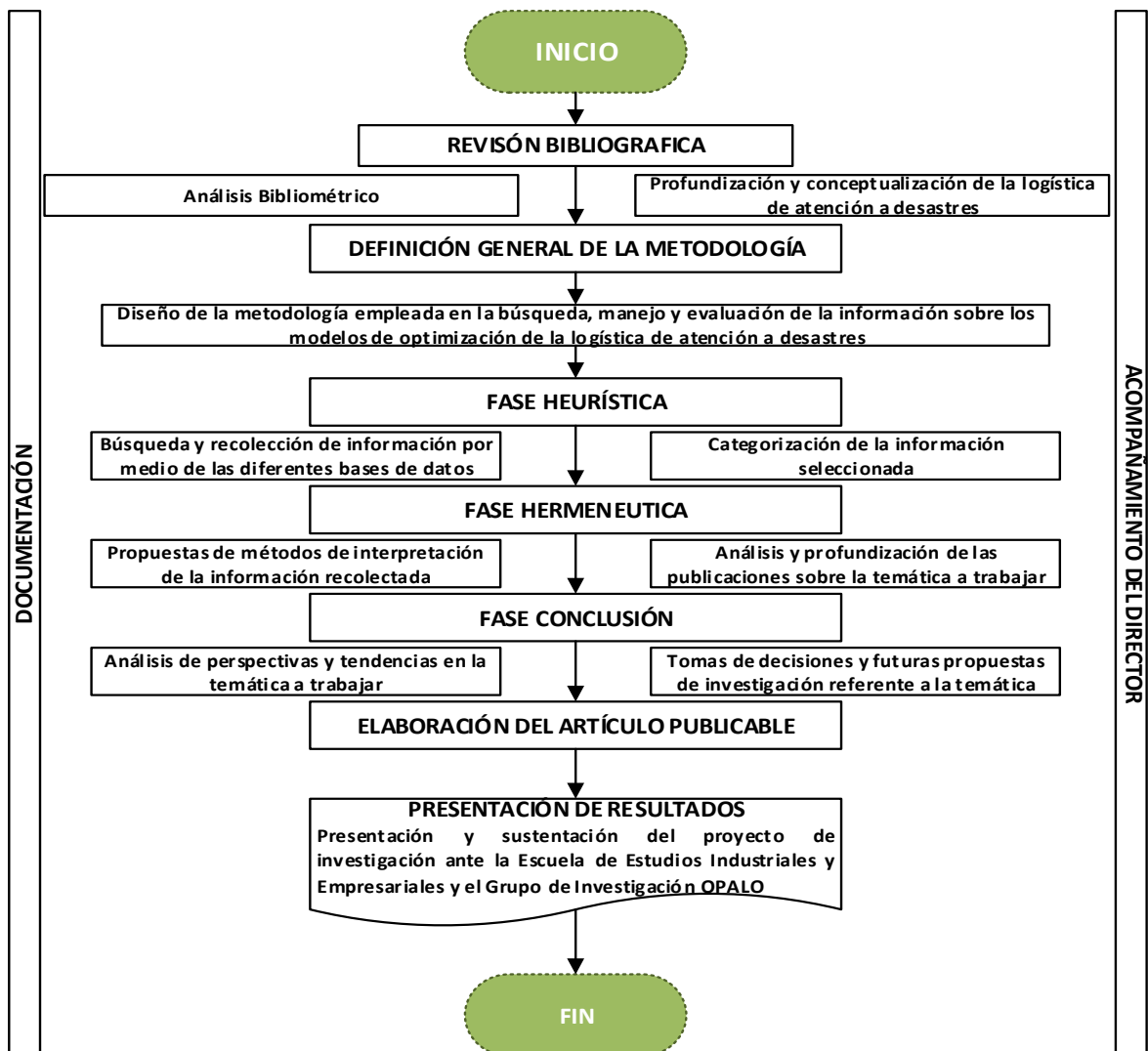
<sup>34</sup> PIÑUEL, José. Epistemología, metodología y técnicas del análisis de contenido. Estudios de Sociolingüística 3(1). España. 2002. pp. 1-42.

<sup>35</sup> ANDRÉU, Jaime (2001). Las técnicas de análisis de contenido: Una revisión actualizada. Documento de trabajo. S2001/03. Centro de estudios andaluces, <http://public.centrodeestudiosandaluces.es/pdfs/S200103.pdf> [Fecha de acceso: 24 de Marzo, 2008]

### 3. DESARROLLO METODOLÓGICO

El presente proyecto de grado se ejecutó en 6 etapas, tal como se muestra en la ilustración 1. Para el desarrollo del actual proyecto de investigación se utilizaron diferentes herramientas de cómputo, las cuales se presentan en el Anexo B con sus respectivas definiciones y utilidad.

**Ilustración 4. Desarrollo metodológico del trabajo de grado**



La investigación inicia con la definición del problema de investigación, el alcance del proyecto, el objetivo general y el objetivo específico de acuerdo a la necesidad que tenía el grupo OPALO de ampliar el espectro de investigación en el campo de la logística de atención a desastres.

Así mismo se planteó la metodología general que iniciaba con la inmersión teórica sobre estados de arte, los diferentes conceptos que abarca la logística humanitaria, específicamente atención a desastres y una revisión conceptual sobre modelos de optimización, así como la investigación de la literatura correspondiente; esta revisión bibliográfica se encuentra plasmada en el marco referencial el protocolo de búsqueda se puede observar en el Anexo C.

El siguiente paso a seguir fue el de realizar una revisión de los conceptos generales relacionados con la temática planteada. Seguido a esto se trabajó en la búsqueda y caracterización de los artículos sobre los modelos de optimización de la logística de atención a desastres con la asesoría del director del proyecto (fase heurística). Para la búsqueda se determinaron los criterios de inclusión y exclusión de los artículos los cuales serán el filtro para la selección de los paper. Luego se realizó una revisión y análisis de los artículos para su caracterización y búsqueda de nuevos enfoques de investigación (fase hermenéutica). Y por último, conclusiones y recomendación sobre la temática trabajada.

A continuación se define en detalle la metodología que se llevó a cabo para el alcance de los objetivos establecidos en el presente proyecto de grado.

### **3.1 REVISIÓN CONCEPTOS GENERALES DE LA TEMÁTICA PLANTEADA**

Como primera parte de este proyecto de grado, se busca dar cumplimiento del primer objetivo específico. Es por eso que es necesario definir y comprender los conceptos claves que envuelven la investigación a realizar y definiendo la finalidad

con la elaboración del trabajo de grado, realizando una exploración de información superficial en fuentes bibliográficas y científicas (libros, revistas, tesis, etc.), para establecer las definiciones de estado del arte, modelos de optimización y logística de atención a desastres.

En la continuación de esta fase se realiza una introducción al tema a trabajar en la elaboración del estado del arte y se identifica, según el criterio del autor del proyecto, una clasificación de la información según la actividad que se desarrolla en la logística de atención a desastres. Con base en la cual se realizara la búsqueda y análisis de los modelos aplicables a cada una de las actividades.

**3.1.1 Análisis bibliométrico** La Universidad Industrial de Santander ofrece una variedad de bases de datos, por medio de las cuales se puede realizar la búsqueda de información referente a una temática planteada. La base de datos que se tomó para la realización de la búsqueda fue la ISI Web of Science, en la cual se puede obtener los artículos relacionados con los modelos de optimización de la logística de atención a desastres, convirtiéndose en un medio de libre acceso a la información sobre la oferta nacional e internacional de investigaciones relacionadas en el campo de la logística de atención a desastres. La búsqueda de la información de los artículos relacionados con los modelos de optimización de la logística de atención a desastres fue realizado de acuerdo con el procedimiento que se muestra a continuación:

Primero que todo, se delimita nuestro foco de estudio. Como se había dicho antes, nuestro tema de estudio será todos los modelos de optimización que estén relacionados con el área de respuesta a emergencias en el ámbito de desastres naturales.

Nuestro siguiente paso, es el de definir la estrategia de búsqueda de información. La exploración de la información a recolectar se hará por medio de la base de

datos ISI Web of Science, la cual es una herramienta de búsqueda de información que es facilitada por la Universidad Industrial de Santander. Se definió la ecuación de búsqueda (ver Anexo C) con la cual se recolectaran los artículos para su análisis.

Para el análisis de las publicaciones se emplearon indicadores bibliométricos como metodología de tratamiento de la información por medio del software VantagePoint. Con ayuda de este software se logra tener una perspectiva general del tema tratado y resultados de análisis de los paper, como ranking de palabras claves que nos ayudara a mejorar nuestra ecuación de búsqueda para recolectar información de las diferentes bases de datos.

La ecuación de búsqueda que se utilizó fue:

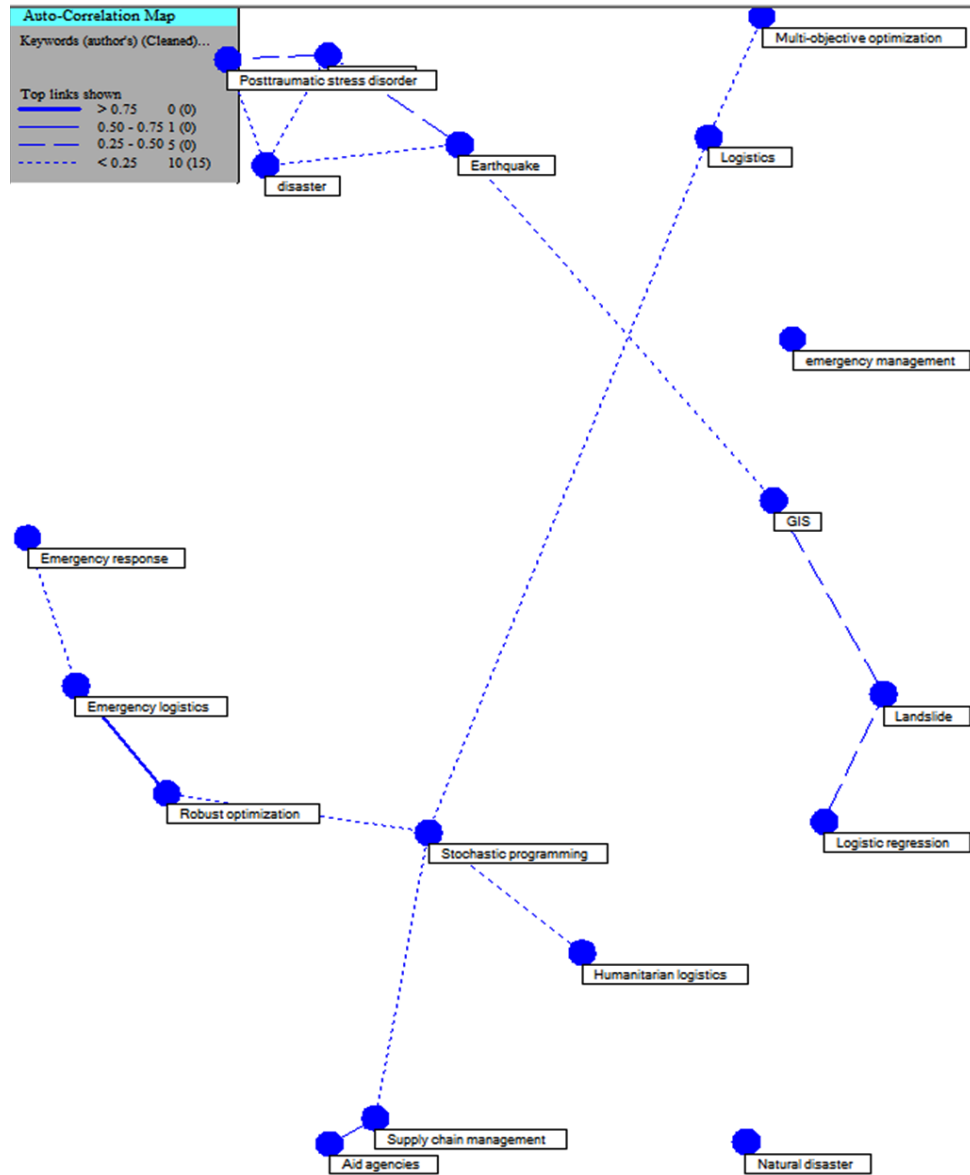
*TS= ((logistic AND model\*) AND (disaster OR calamity OR Washout))*

*Límite de año: 2001-2014*

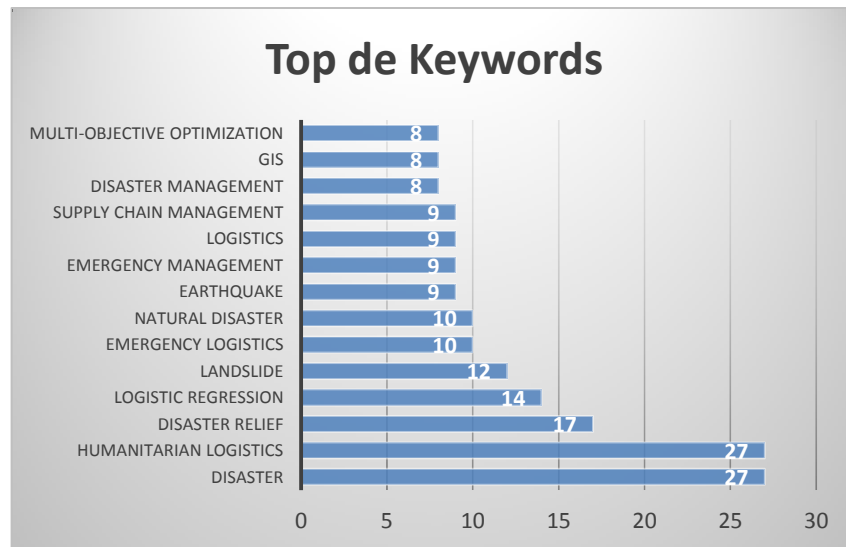
Está ecuación fue ingresada a la base de datos ISI arrojó un total de 314 artículos, los cuales se relacionan con modelos logísticos en eventos de desastres o calamidad. La función de esta ecuación es buscar las palabras claves suministradas en el título, abstract y en la keywords de cada paper. El resultado de la búsqueda fue importado al software VantagePoint para realizar el análisis bibliométrico. El estudio de los indicadores bibliométricos tratados con VantagePoint se puede ver en el Anexo D.

Para realizar una nueva ecuación de búsqueda que nos permita acotar la información y la cual nos facilite una mejor obtención de los artículos potenciales es necesario tomar en cuenta los siguientes indicadores bibliométricos:

Ilustración 5. Análisis de autocorrelación entre las keywords de los autores



**Ilustración 6. Top de Keywords**



Se puede evidenciar en la ilustración 5, que las keywords emergency logistics y robust optimization tienen una muy fuerte relación, es decir, que los autores cuando utilizan la palabra clave emergency logistics es porque también se va a referir o utilizar en el mismo contexto robust optimization. Mientras que en la ilustración 6, se observa que las keywords disaster, humanitarian logistics y disaster relief son utilizadas frecuentemente en las publicaciones bibliográficas.

Según los resultados obtenidos en el análisis bibliométrico se puede evidenciar en la ilustración 7, que las investigaciones sobre el tema de logística de atención a desastres tienen una tendencia a incrementar en el tiempo, ya que se trata de salvar el mayor número de vidas y es una responsabilidad de cada país evitar al máximo estos desastres.

**Ilustración 7. No. de artículos publicados por años**



### **3.2 FASE HEURÍSTICA**

El paso a seguir es realizar la búsqueda de la información de los artículos en las diferentes fuentes bibliográficas a consultar, se hace necesario establecer los criterios de recolección y selección de la información obtenida en una ventana de tiempo que cubre los años desde 2001 hasta el 2014. Con ayuda de los indicadores bibliométricos se desarrollara una nueva ecuación de búsqueda que nos permita obtener un banco de artículos potenciales para el desarrollo del estado del arte.

**3.2.1 Búsqueda de la información** En esta fase nos apoyamos en las principales fuentes bibliográficas que nos ofrece la Universidad Industrial de Santander y google académico para realizar la búsqueda de la información. En la Tabla 3 se muestra el resultado que se obtuvo en las diferentes fuentes bibliográficas y como se suministró la ecuación en cada base de datos.

**Tabla 2. Resultado de búsqueda de la información**

Fuente Bibliográfica	Ecuación	No. de artículos
ISI Web of Science	TS= ((logistic* AND model*) AND (disaster OR calamity OR washout))	314
Scopus	TS= ((logistic* AND model* AND optimization*) AND (disaster OR calamity OR washout OR relief OR "emergency logistics" ))	181
Science Direct	TITLE-ABSTR-KEY ((logistic* AND model* AND optimization) AND (disaster OR calamity OR washout OR relief OR "emergency logistics")).	28
Proquest	all((logistic* AND model* AND optimization*) AND (disaster OR calamity OR washout OR relief OR "emergency logistics"))	40
Web	"logistic" AND "model" AND "optimization" AND ("disaster" OR "calamity" OR "washout" OR "relief" OR "emergency logistics")	100

Para los resultados que se obtuvieron por medio de la Web (google scholar) se revisaron los primeros 100 resultados que se organizaron por relevancia para su respectivo análisis.

**3.2.2 Selección de la información** Cuando se obtengan los artículos, serán sometidos a un análisis para ver cuáles son los artículos potenciales que se

utilizaran en la investigación, es por eso que tomaremos unos criterios de inclusión y exclusión. Para saber que artículos seleccionar o cuales se deben excluir, nos debemos realizar las siguientes preguntas, ¿Por qué yo incluyo el artículo? ó ¿Por qué yo excluyo el artículo?<sup>36</sup>(Tranfield, 2003). A continuación se presenta una tabla de criterios de inclusión y exclusión que se tomaran en cuenta para la selección.

**Tabla 3. Criterios de inclusión y exclusión de los artículos**

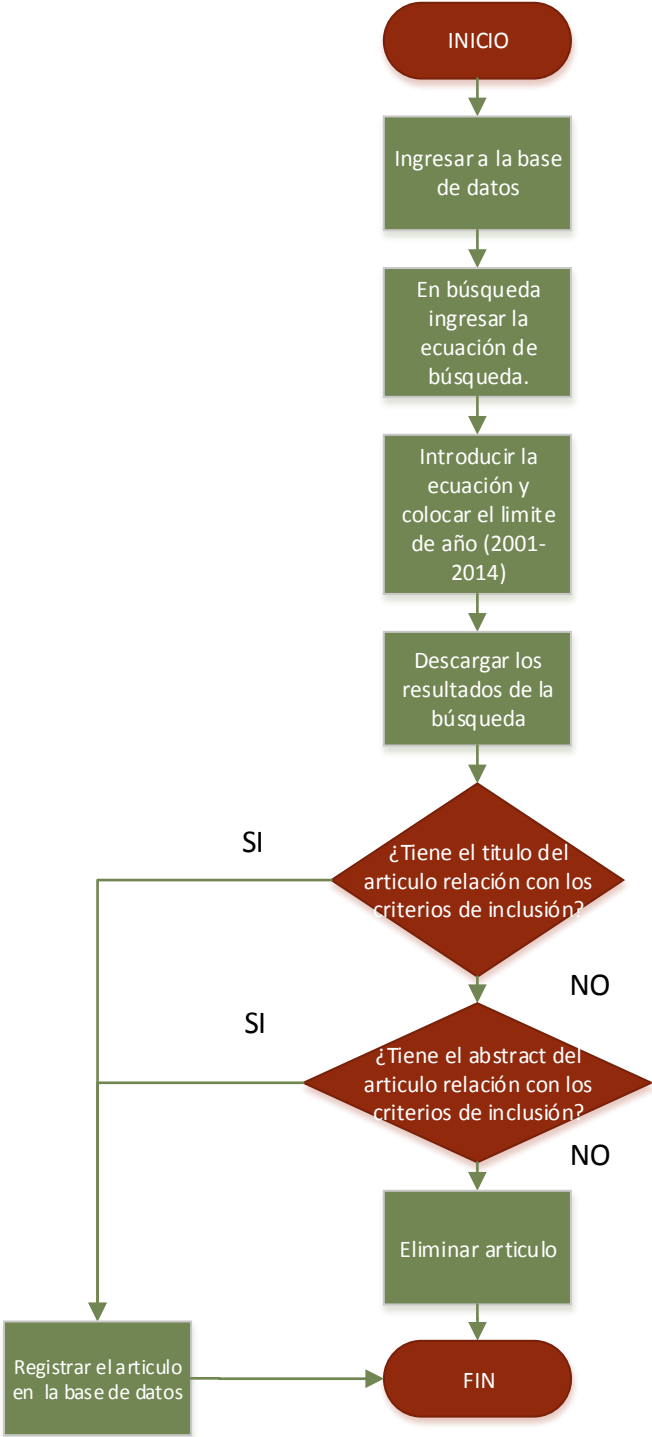
Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
1. Mencione un tipo de desastre	1. No cumplan con los criterios de inclusión
2. Que hable sobre logística	2. No mencionen ningún modelo
3. Que hable sobre modelo de optimización	3. No hacen parte de etapa de respuesta de la logística humanitaria.

Realizada la búsqueda con cada ecuación en las diferentes fuentes bibliográficas, se prosigue a la selección de los artículos teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión. Para la selección de los artículos, se escoge cada artículo (este proceso es a criterio del autor del trabajo de grado) y se procede a realizar el proceso de selección de los artículos como se muestra en el diagrama de flujo en la ilustración 8.

Es importante mencionar que al utilizar diferentes bases de datos con sus respectivas ecuaciones, podrían haber duplicados, por tanto, a medida que se realizaba la selección de los artículos se verificaba si el artículo ya había sido encontrado en otra base de datos.

<sup>36</sup> TRANFIELD, D; DENYER, D y PALMINDER, S. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. En: British Journal of Management. 2003. Vol. 14, p. 215.

**Ilustración 8. Diagrama de flujo del proceso de selección de los artículos**



En la tabla 4 se muestra el resultado del proceso de selección, relacionando el número de artículos seleccionados por fuente bibliográfica.

**Tabla 4. Artículos potenciales seleccionados para la elaboración del estado del arte**

<b>Fuente Bibliográfica</b>	<b>No. de artículos</b>
ISI Web of Science	52
Scopus	28
Science Direct	9
Proquest	3
WEB	19
<b>TOTAL</b>	<b>111</b>

**3.2.3 Clasificación y categorización de la información** En esta última etapa de la fase heurística, se organizó la información en un archivo de Excel teniendo en cuenta las características principales de los artículos y clasificándolos de acuerdo a la actividad logística de atención a desastre. En la tabla 5 se muestra los ítems relacionados en dicha base de datos de Excel:

**Tabla 5. Datos principales de los artículos**

<b>Ítems de la base de datos Excel</b>
Título del artículo
Autor
Keywords Autor
Keywords Plus
Año de publicación
Información (resumen del tema tratado en cada artículo)
Revista de publicación
País de publicación
Tipo de desastre
Elemento

Se utilizó de nuevo el software VantagePoint para conocer algunos indicadores que nos ayudaran a tener una visión macro de los modelos de optimización de la logística de atención a desastres.

Se puede ver en la ilustración 9, que los autores con mayor número de investigaciones en campo de la logística de atención a desastres son Linet Özdamar y Gregorio Tirado.

**Ilustración 9. No. de investigaciones por autor.**



La dinámica de publicaciones por años está en constante crecimiento como se muestra en la ilustración 10, debido a que son las vidas de los seres humanos están peligro por causa de desastres. Por otro lado, la fase de respuesta a desastre es un campo donde no hay muchas investigaciones y en la cual se puede realizar un trabajo muy importante.

### Ilustración 10. Número de publicaciones por año



Para la categorización de los artículos nos basamos en las investigaciones de Hoyos, Morales y Tabatabaei (2013)<sup>37</sup> y Liberatore et al. (2013)<sup>38</sup>, los cuales se dividieron en los siguientes temas:

- A. Problemas Estratégicos: Son las decisiones que se toman para lograr una respuesta eficaz y eficiente. En estos problemas incluimos las actividades de:
- Predicción de la demanda: comprende el número de la población afectada y/o la cantidad de artículos necesarios, y la ubicación de la demanda.
  - Ubicación de las instalaciones: se trata de la ubicación estratégica de los centros de acopio para una mejor respuesta al desastre, pero todo depende de los parámetros que se relacionan directamente a la demografía de la ubicación y el impacto del desastre.
- B. Problemas Operacionales: Son las de decisiones que se toman durante el desastre para tener la mejor respuesta y lograr minimizar las pérdidas de vidas humanas. Estas son las actividades que conforman este tipo de problemas:

<sup>37</sup> HOYOS, M; MORALES, R y AKHAVAN-TABATABAEI, R. OR models with stochastic components in disaster operations management: A literature survey. Computers & Industrial Engineering. 2015. Vol. 82, p. 183-197.

<sup>38</sup> LIBERATORE, F; et al. Uncertainty in humanitarian logistics for disaster management. En: Decision Aid Models for Disaster Management and Emergencies. 2013. Vol. 7, p. 45-74.

- Distribución: considera el inventario de suministro en buenas condiciones para luego ser transportados en las óptimas cantidades y abastecer los centros de distribución para no obstaculizar la cadena de abastecimiento.
- Transporte: aquí se estudian los modelos que buscan la mejor ruta de transporte de personal de socorro, personas afectadas y de suministro.

En la tabla 6 se muestra la relación de la cantidad de artículos que fueron seleccionados para el desarrollo de la investigación, los cuales son clasificados según el problema logístico a la que haga referencia. Los 111 artículos se organizan de manera cronológica para facilitar el desarrollo del proyecto de grado, de los cuales se escogerán los definitivos para referenciar en el trabajo final.

**Tabla 6. Relación de publicaciones clasificadas según el problema logístico**

<b>Problemas Estratégicos</b>	
<b>Predicción de la demanda</b>	<b>5</b>
<b>Instalación</b>	<b>30</b>
<b>Problemas Operacionales</b>	
<b>Distribución</b>	<b>39</b>
<b>Transporte</b>	<b>37</b>

### **3.3 FASE HERMENÉUTICA**

En la fase Hermenéutica se estructuraron pautas o rutas para realizar una lectura analítica y focalizada de cada uno de los documentos recopilados, con el fin de revelar los importantes avances que se ha logrado a lo largo de los años y demostrar las nuevas oportunidades de estudio en el tema relacionado. Es importante aclarar que a la hora de realizar el análisis se presentó una cierta dificultad debido a que para algunos artículos no se logró encontrar el cuerpo total del documento y en otros no hacían referencia clara a un modelo de optimización

como tal, por tal motivo no se tuvieron en cuenta en el desarrollo del estado del arte.

**3.3.1 Estructuración y elaboración del estado del arte** Para estructurar y elaborar el estado del arte se tuvo en cuenta la clasificación por problema logístico, es decir, se analizaron los artículos que resolvían problemas de predicción de demanda, instalación, distribución y transporte y al mismo tiempo cada clasificación se analizaba por orden cronológico; posterior a eso, se analizaron también por orden cronológico los artículos relacionados en el ámbito latinoamericano. Este análisis resaltaría el objetivo principal de los modelos propuestos por los diferentes autores, el enfoque de solución así como las conclusiones a las que llegaron.

#### **3.4 FASE DE CONCLUSIÓN**

En esta fase de conclusión se tuvieron en cuenta los principales hallazgos en las diferentes investigaciones de los autores, haciendo claridad en cómo ha sido la evolución y cuáles son las posibles tendencias de desarrollo en la temática de modelos de optimización en la logística de atención a desastres.

#### **3.5 ELABORACIÓN DEL ARTÍCULO DE CARÁCTER PUBLICABLE**

Para el artículo de carácter publicable se documentó de forma clara y precisa la metodología aplicada en el estado del arte y se resaltó los principales resultados obtenidos en dicha investigación. Ver artículo en el Anexo E.

## 4. DESARROLLO DEL ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo se desarrolla el estado del arte de la logística de atención a desastres relacionando los modelos de optimización que se recopilieron de las diferentes fuentes bibliográficas, clasificando según su problema logístico y su tratamiento en orden cronológico.

### 4.1 PROBLEMAS ESTRATÉGICOS

**4.1.1 Predicción de la demanda** Cuando se habla de demanda, puede hacer referencia a distintos aspectos como demanda de víctimas, demanda de recursos de emergencia, entre otros. La predicción de dicha demanda en situaciones de desastres ha sido objeto de estudio de distintos autores, tal es el caso de **Sheu**<sup>39</sup>, presenta un modelo de gestión de demandas de socorro para responder dinámicamente a las demandas de ayuda de personas afectadas bajo condiciones de emergencia de un desastre natural a gran escala. El autor propone un modelo el cual implica la predicción de demanda de socorro en tiempo real, agrupación de áreas afectadas y determinación de la demanda de socorro urgente; para ello utiliza como metodología una fusión de datos de múltiples fuentes, agrupación difusa y TOPSIS, respectivamente. Para la aplicabilidad de este modelo se llevó cabo un estudio numérico con un verdadero desastre del terremoto a gran escala demostrando un rendimiento satisfactorio del modelo mediante la comparación de los datos pronosticados y los datos históricos.

Desde otro enfoque, los autores **Rottkemper, et al**<sup>40</sup> observaron que en muchas ocasiones, durante una acción humanitaria en curso ocurría un cambio repentino de demanda u oferta de artículos de socorro ocasionado por otra situación de

---

<sup>39</sup> SHEU, J. Dynamic relief-demand management for emergency logistics operations under large-scale disasters. *EN: Transportation Research Part E: Logistics and Transportation. Review.* 2010. Vol. 46, No. 1, p. 1–17.

<sup>40</sup> ROTTKEMPER, et al. Inventory relocation for overlapping disaster settings in humanitarian operations. *EN: OR Spectrum. Review.* 2011. Vol. 33, No. 3, p. 721-749.

desastre, es decir, ocurre superposiciones de situaciones de desastre; para ello desarrollaron un modelo de investigación de operaciones para la reubicación de inventario cuando haya superposición de desastres en las operaciones humanitarias y cuyo objetivo sea la disminución de la demanda insatisfecha manteniendo los costos operativos bajo control. El modelo propuesto por los autores mencionados anteriormente se basa en los costos de multas por demandas insatisfechas e incorpora las incertidumbres del futuro y lo resuelven bajo el enfoque horizonte rodante.

Para el año 2012, **Liu, Hu y Li**<sup>41</sup> realizan una investigación para la asignación óptima de los recursos tomando como premisa la predicción de la demanda de los recursos de emergencia. Para dicha predicción, utiliza inteligencia artificial llamada técnica de razonamiento basado en casos (CBR), que es también un método basado en el análisis de riesgos. Este método de predicción no sólo puede proporcionar una base para la reserva de recursos de emergencia y la asignación en futuro, sino que también proporciona un método y un modelo de apoyo en la toma de decisiones del sistema de asignación de recursos de emergencia que se construirá en futuro. Es importante resaltar que la utilización de este método en investigaciones ha sido baja, por tanto no se cuenta con una amplia biblioteca de casos de recursos de emergencia lo que puede limitar el método de predicción.

**4.1.2 Ubicación de instalaciones** Según **Haghani**<sup>42</sup>, La importancia de los problemas de ubicación de instalaciones radica en dos factores: el impacto que genera en los costos de operación y la respuesta rápida e inmediata a las zonas afectadas. Aunque en OR se le ha dado un tratamiento muy amplio a las investigaciones sobre problemas de localización de servicios, estos problemas no se les han prestado mucha atención en el campo de la logística humanitaria. Unos

---

<sup>41</sup> LIU, Wenmao; HU, Guangyu y LI, Jianfeng. Emergency resources demand prediction using case-based reasoning. En: Safety Science Review. 2012. Vol. 50, No. 3, p. 530-534.

<sup>42</sup> HAGHANI, A. Capacitated maximum covering location models: Formulations and solution procedures. En: Journal of Advanced Transportation. 1996. Vol. 30, No. 3, p. 101–136.

de los principales promotores en este campo fueron **Church y ReVelle**<sup>43</sup>, que desarrollaron un modelo que maximiza las personas atendidas en una zona de desastre dentro de una distancia determinada con unas instalaciones determinadas y la limitación presupuestaria, es conocido con el nombre de modelo de localización de cobertura máxima (MCLP). El MCLP es solucionado por el método de programación lineal y métodos heurísticos. Siguiendo en la misma línea, **Balcik y Beamon**<sup>44</sup> desarrollan un modelo de localización de instalaciones que es una variante del modelo MCLP, donde integra decisiones de ubicación de instalaciones e inventarios. El modelo matemático determina el número de centros de distribución con su respectiva ubicación en la zona devastada, además determina el inventario de suministros de socorro que se deben tener en cada instalación. El método de solución que implementaron fue por medio de un programa que utilizaron para la simulación el cual se llama GAMS/Cplex, se trata de experimentos computacionales para ver cómo funciona en un problema real.

**Horner y Downs**<sup>45</sup> analizan la situación donde las personas que no pueden evacuar la zona donde ocurre el desastre, ya sea que no quieren o que no lograron evacuar, requieren la asistencia de ayuda humanitaria. La finalidad de este trabajo es aportar a la mejora de las redes logísticas para el apoyo a las actividades de socorro en un eventual desastre de huracanes. Es por eso que desarrollan un modelo que toma como referencia los centros de distribución que están determinados y los analiza, de tal forma que determina la reubicación del centro de acopio si es necesario y determina estaciones de distribución intermedio entre los centros de distribución principales y las personas afectadas. Además el modelo es capaz de acomodar las capacidades óptimas de servicio en cada

---

<sup>43</sup> CHURCH, R y REVELLE, C. The maximal covering location problem. En: Papers of the Regional Science Association. 1974. Vol. 32, No. 1, p. 101-118.

<sup>44</sup> BALCIK, B. y BEAMON, B. Facility location in humanitarian relief. En: International Journal of Logistics: Research and Applications. 2008. Vol. 11, No. 2, p. 101-121.

<sup>45</sup> HORNER, Mark y DOWNS, Joni. Optimizing hurricane disaster relief goods distribution: model development and application with respect to planning strategies. En: Disasters. 2010. Vol. 34, No. 3, p. 821-844.

instalación con la cual se abastecerá la demanda de socorro. Esta investigación implementa un modelo de optimización espacial flexible, basado en un Sistema de Información Geográfica, el cual gestiona el flujo de suministro de las estaciones intermedias hasta las personas necesitadas.

Debido a la escasa realización de investigaciones relacionadas con la ubicación de centros de distribución que permitan una ubicación estratégica de las instalaciones que abastezcan de forma eficiente y eficaz a las personas afectadas, **Turğut et al**<sup>46</sup> concentra su investigación en el desarrollo de un Sistema de soporte a decisiones (DSS) para la selección de ubicaciones de las centrales logísticas en un eventual desastre. La metodología de solución para este sistema se realizó por medio de un Proceso Jerárquico Analítico (AHP) y un fuzzy AHP, que permite a los tomadores de decisión estructurar problemas complejos en una simple forma jerárquica que sea entendible para su respectiva evaluación. Se utilizó Microsoft Excel VBA para calcular los resultados de las ubicaciones de las instalaciones arrojados por AHP y fuzzy AHP, y luego analizar cual mostraba la mejor solución de ubicación de los centros de distribución.

Siguiendo en la línea de determinar la ubicación de los centros de distribución y su respectivo inventario que abra en cada uno, **Duran, Gutiérrez y Keskinocak**<sup>47</sup> en colaboración con CARE International realizan una investigación con el fin de mejorar el tiempo de respuesta y reducir los costos del envío de mercancía. Para tal fin desarrollan un modelo, que a partir de una inversión inicial en términos de números de instalaciones a abrir e inventario, que estima la frecuencia, la ubicación y magnitud de la demanda potencial a partir de datos históricos en las zonas que pueden ocurrir un desastre. El objetivo principal del modelo es que a

---

<sup>46</sup> TURĞUT, Banu, et al. A fuzzy AHP based decision support system for disaster center location selection and a case study for Istanbul. En: Disaster Prevention and Management. 2011. Vol. 20, No. 5, p. 499-520.

<sup>47</sup> DURAN, S; GUTIÉRREZ, M y KESKINOC AK, P. Pre-Positioning of Emergency Items Worldwide for CARE International. En: Interfaces. 2011. Vol. 41. No. 3, p. 223-237.

partir de los datos de la demanda optimiza la ubicación de los almacenes y la cantidad de inventario a tener cada uno. Para encontrar la configuración óptima, se utilizó un modelo de localización de inventario MIP (Programación Entera-Mixta) para minimizar el tiempo medio de respuesta en todos los casos de demanda.

Como complemento de este estudio, **Bozkurt y Duran**<sup>48</sup> proponen una metodología de estudio que consiste en analizar los efectos que causan los desastres en la red de pre-posicionamiento que se consideraron en el caso de CARE International. Se identifican las tendencias de los desastres en las últimas décadas, para eso se agrupan los datos de desastres en periodos de dos semanas con el objetivo de crear instancias de la demanda. Luego se utiliza el modelo propuesto anteriormente para la organización CARE International, para mirar que tanto cambia la ubicación de los almacenes encontrados con el modelo de Duran, Gutierrez y Keskinocak (2011). Como resultado encuentra que mientras dos almacenes permanecen estables el tercero cambia en relación a cada instancia de la demanda considerada en cada periodo. El objetivo principal del estudio es la apertura de un almacén adicional para mejorar el tiempo medio de respuesta debido al cambio de la tendencia de los desastres.

En otra cooperación entre organizaciones, la Municipalidad Metropolitana de Estambul (IMM) en colaboración con la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) desarrollaron un plan de prevención y mitigación de desastres. Con base en este plan **Görmez, Köksalan y Salman**<sup>49</sup>, identificaron posibles ubicaciones potenciales entre un conjunto de opciones que se habían obtenido en el estudio realizado por IMM y JICA, mediante el análisis de varios modelos

---

<sup>48</sup> BOZKURT, M y DURAN, S. Effects of Natural Disaster Trends: A Case Study for Expanding the Pre-Positioning Network of CARE International. En: Int J Environ Res Public Health. 2012. Vol. 9, No. 8, p. 2863-2874.

<sup>49</sup> GÖRMEZ, N; KÖKSALAN, M y SALMAN, F. Locating disaster response facilities in Istanbul. En: Journal of the Operational Research Society. 2011. Vol. 62, p. 1239-1252.

planteados en la investigación. Para los modelos se emplea el método de solución  $\epsilon$ -restricción con una función objetivo aumentado para obtener la solución eficiente. Este modelo representa un problema de dos niveles jerárquicos, en el primero se encuentran instalaciones permanentes las cuales almacenan los artículos de emergencia antes del desastre para ser transportados al segundo, que son las instalaciones temporales que serán ubicadas después de la ocurrencia del desastre por medio del modelo planteado.

**Bozorgi-Amiri et al**<sup>50</sup> son los primeros en trabajar simultáneamente con la incertidumbre de la demanda, suministro y el costo de adquisición y de transporte en problema de planificación de desastres. Su modelo es la integración de un modelo de optimización robusta y modelo de optimización estocástico, en cual se utiliza un método matemático para linealizar el modelo. Se diseñó un algoritmo meta-heurístico para resolver el modelo propuesto, este algoritmo es una mejora del algoritmo de optimización de enjambre de partículas (PSO). La función principal de la investigación es determinar el número óptimo, ubicación y tamaño y cantidad de inventario que tendrá los DC, además el modelo determina cantidad de transporte que serán utilizados para el suministro de los productos. Siguiendo con el mismo enfoque de trabajar con la incertidumbre de la demanda y costo de adquisición y de transporte simultáneamente, **Bozorgi-Amiri, Jabalameli y Mirzapour**<sup>51</sup> agregan una nueva variable de incertidumbre, el suministro a las zonas afectadas. Los autores consideran una cadena de suministro de tres niveles. En el primero están los proveedores, en el segundo se encuentran los centros de distribución de alivio (RDC), y por último, las zonas afectadas por el desastre. Con base a esta red de alivio, se propone un modelo de programación estocástica robusta multiobjetivo, en que el objetivo es minimizar el coste total

---

<sup>50</sup> BOZORDI-AMIRI, A, et al. A modified particle swarm optimization for disaster relief logistics under uncertain environment. En: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2012. Vol. 60, No. 1-4, p. 357-371.

<sup>51</sup> BOZORDI-AMIRI, A; JABALAMELI, M y MIRZAPOUR, S.M. A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty. En: OR Spectrum. 2013. Vol. 35, No. 4, p. 905-933.

maximizando los niveles de satisfacción de las zonas afectadas por medio de la mejor ubicación de los RDC teniendo en cuenta la zona del desastre y los proveedores donde también se tiene en cuenta la seguridad (robo o destrucción del área por el desastre) de los nodos en donde se ubicaran los RDC. Para la solución del modelo se tienen dos funciones objetivo, que por medio de la aplicación del método Lp-metrics se obtiene una única función objetivo, que se resuelve como un problema de programación lineal.

Con el objetivo de minimizar el costo de apertura de los DC, costo de enrutamiento de vehículos y la demanda no cubierta, **Tricoire, Graf y Gutjahr**<sup>52</sup> proponen un modelo de viaje cubierto bi-objetivo con demanda estocástica. En el modelo se tiene en cuenta el hecho de que un porcentaje de personas están dispuestas a recorrer una distancia considerable para ir al DC más cercano por los suministros. Para la solución del modelo se combina un enfoque basado en escenarios con un método  $\epsilon$  restricciones basado en branch-and-cut, aplicado a una versión de muestra media del problema obtenido de una muestra aleatoria fija de vectores de demanda. En el mismo propósito de minimizar los costos relacionados con apertura de los DC (también se incluye costo de mantenimiento de inventario y costo de escasez), **Döyen, Aras y Barbarosoğlu**<sup>53</sup> desarrollan un modelo que ayuda a construir un plan óptimo para desastre, en el cual se determina la ubicación de los centros de rescate regional y los centros de rescate local y sus respectiva cantidad de elementos de ayuda. El enfoque de solución implementado para el modelo fue el método de relajación de Lagrangean, el cual permite descomponer el problema en dos subproblemas donde el segundo subproblema se descompone con respecto a los puntos de demanda y artículos de socorro.

---

<sup>52</sup> TRICOIRE, F; GRAF, A y GUTJAHR, W. The bi-objective stochastic covering tour problem. En: Computers & Operations Research. 2012. Vol. 39, No. 7, p. 1582-1592.

<sup>53</sup> DÖYEN, A; ARAS, N y BARBAROSOĞLU, G. A two-echelon stochastic facility location model for humanitarian relief logistics. En: Optimization Letters. 2012. Vol. 6, No. 6, p. 1123-1145.

Desde otro enfoque, donde se integre el problema de optimizar la ubicación de los DC y rutas de vehículos para la distribución de los artículos, **Xinhua**<sup>54</sup> desarrolla un modelo en que la función objetivo es minimizar el costo de construcción de los almacenes y el tiempo de respuesta. Como solución del modelo se implementa el método teoría de colas para crear un sistema de red de colas abierto formado por 4 sistemas de colas M/M/ck en serie en condiciones de incertidumbre. Para la solución del sistema de red de colas abierto se utiliza un algoritmo genético y se determina los centros logísticos, los centros de distribución y las rutas de distribución.

**Zhang, Dong y Chen**<sup>55</sup> realizan una investigación donde su objetivo es minimizar el número de instalaciones para dar respuestas rápidas a grandes números de demanda de rescate bajo un entorno incierto. Para ello, proponen un modelo de localización multi-objetivo para la logística de atención a desastres. Se propone un algoritmo inteligente basado en SDS (Stochastic Diffusion Search), como método de solución. La principal ventaja del algoritmo es que utiliza un tiempo de computación relativamente corto y nos presenta un conjunto de soluciones Pareto con el cual se podrá tomar las decisiones de número y ubicación de lo DC en base a diferentes escenarios.

Una de las principales instalaciones que tienen mucha importancia en logística humanitaria son los centros de distribución de alivio a urgencias (URDC), porque se integran perfectamente en la red y coordinan la respuesta logística de emergencia entrante y saliente da la demanda de ayuda de las zonas afectadas.

---

<sup>54</sup> XINHUA, He. Study on Emergency Supply Chain System Planning under Uncertainty. En: 2012 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. 2012. Vol. 3, p. 432-435.

<sup>55</sup> ZHANG, Jin; DONG, Ming y CHEN, Frank. A bottleneck Steiner tree based multi-objective location model and intelligent optimization of emergency logistics systems. En: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2013. Vol. 29, No. 3, p. 48-55.

**Lu y Sheu**<sup>56</sup> desarrollan un marco heurístico para obtener las soluciones óptimas en relación a la ubicación de los URDC de acuerdo a un determinado número de sitios. La investigación propone un modelo robusto vertex p-center (RVPC), el cual tiene como objetivo minimizar la desviación del peor caso en el tiempo de viaje máximo entre URDC y las zonas afectadas de la solución óptima. Para identificar el peor escenario, la investigación propone un teorema que facilita la identificación de cierto escenario, lo que reduce la complejidad de la solución. Como método de solución se plantea un recocido simulado basado en búsquedas locales. Como complemento de esta investigación, **Lu**<sup>57</sup> propone una generalización del modelo ponderado vertex p-center (WVPC) para localizar p instalaciones en un conjunto de sitios predeterminados. Esta generalización del modelo contiene pesos nodales y longitudes de borde inciertos usando rangos o intervalos predeterminados. Esta investigación implementa la metodología de solución a la mostrada por Lu y Sheu.

Por medio de otro enfoque, **Abu Nahleh, Kumar y Daver**<sup>58</sup> proponen fusionar el concepto de just-in-time y el sistema de campaña en la cadena de suministro de emergencia. El modelo de localización desarrollado en este trabajo tiene como motivo organizar el flujo de suministro desde el almacén central al almacén continental, que este a su vez suministrara al almacén regional, el cual abastecerá a las zonas afectadas. Para el desarrollo del modelo se recopilan los datos de ubicación de cada país y los datos los desastres que han ocurrido 1900 al 2011. El objetivo principal de la investigación es mejorar el tiempo de respuesta y minimizar el de personas que padecen el desastre.

---

<sup>56</sup> LU, CC y SHEU, JB. Robust vertex p-center model for locating urgent relief distribution centers. En: Computers & Operations Research. 2013. Vol. 40, No. 8, p. 2128-2137.

<sup>57</sup> LU, CC. Robust weighted vertex p-center model considering uncertain data: An application to emergency management. En: European Journal of Operational Research. 2013. Vol. 230, No. 1, p. 113-121.

<sup>58</sup> ABU NAHLEH, Y; KUMAR, A y DAVER, F. Facility Location Problem in Emergency Logistic. En: International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering. 2013. Vol. 7, No. 10, p. 833-838.

**Liu y Guo**<sup>59</sup> proponen un modelo de optimización estocástica para logística de atención a desastre después de la ocurrencia de un desastre para ayudar a la planificación estratégica de los centros temporales de ayuda. Los objetivos del modelo es minimizar el valor esperado del costo total y maximizar la tasa de llenado mínima esperada de las áreas afectadas. El modelo es un problema de programación no lineal mixed-integer estocástica multiobjetivo, el cual con ayuda de un enfoque de solución lexicográfico convierte el modelo de programación estocástica bi-objetivo en una secuencia de modelos de programación estocásticas simples (un solo objetivo). Para la solución de estos modelos se desarrolló un algoritmo heurístico basado en la descomposición de escenarios para resolver problemas a gran escala en la vida real. Otro método de solución es el software de optimización entera mixta comercial como CPLEX, pero no es el óptimo para problemas a gran escala.

**Rezaei-Malek y Tavakkoli-Moghaddam**<sup>60</sup> presentan un modelo de optimización robusta entera mixta bi-objetivo, en el cual buscan ayudar en la planificación de operación en la logística de alivio humanitaria. Como primer objetivo es minimizar el tiempo medio de respuesta y el segundo minimizar el costo total de operación, donde se determina las políticas óptimas (ubicación óptima de los almacenes y las cantidades de los artículos de primera necesidad) para la planificación estratégica de ayuda humanitaria. Para la solución del modelo se utilizó el método RLTP (Reservation Level Tchebycheff Procedure).

---

<sup>59</sup> LIU, Y y GUO, B. A Lexicographic Approach to Postdisaster Relief Logistics Planning Considering Fill Rates and Costs under Uncertainty. En: Mathematical Problems in Engineering. 2014.

<sup>60</sup> REZAEI-MALEK, M y TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. Robust humanitarian relief logistics network planning. En: Uncertain Supply Chain Management. 2014. Vol. 2, No. 2, p. 73-96.

**Abounacer, Rekik y Renaud**<sup>61</sup> proponen un estudio para el problema de localización y transporte de emergencia multiobjetivo. El modelo considera tres funciones objetivos. La primera, minimizar la duración del transporte de los productos necesarios (ida y vuelta), la segunda, minimizar el número de personas necesarias para abrir cada centro de distribución (de acuerdo a un conjunto de sitios candidatos), y por último, minimizar la demanda no cubierta en las áreas afectadas. Se propone el método  $\epsilon$ -constraint para general el frente de Pareto exacto, con el cual se realizan experimentos computacionales que arrojan buenas soluciones del problema.

Siguiendo con el mismo enfoque de solución, **Rath y Gutjahr**<sup>62</sup> proponen un modelo de programación multiobjetivo. Como solución se presenta el método  $\epsilon$ -constraint para determinar el frente de Pareto. Para resolver el problema de optimización restringido a un objetivo se método de solución exacto llamado técnica meta-heurística, la cual se construye bajo una formulación de programación lineal entera mixta con una piscina de restricciones generadas heurísticamente. El problema de ruteo y ubicación de almacenes multiobjetivo tiene tres funciones objetivo. La primera se encarga de minimizar el costo de apertura de los almacenes, donde se incluye el costo de la instalación y costo operativo de la flota de vehículos destinados al almacén. La segunda función de costo se encarga de minimizar el gasto operativo, en cual se incluyen los gastos de transporte desde los proveedores hasta los almacenes y el gasto del almacenamiento en un depósito. Y por último, maximizar la cobertura de la demanda.

---

<sup>61</sup> ABOUNACER, R; REKIK, M y RENAUD, J. An exact solution approach for multi-objective location-transportation problem for disaster response. En: Computers & Operations Research. 2014. Vol. 41, p. 83-93.

<sup>62</sup> RATH, S y GUTJAHR, W. A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief. En: Computers & Operations Research. 2014. Vol. 42, p. 25-39.

**Barzinpour y Esmaeili**<sup>63</sup> también proponen un modelo de programación lineal entra mixta multiobjetivo para la planificación de las estrategias que ayudaran a responder efectivamente a un desastre. El modelo se compone de dos eslabones. El primer eslabón consiste en maximizar el área de cobertura de la demanda. En el segundo eslabón están los costos totales de logística, en el cual están los costos de apertura de las instalaciones y el coste de transporte de los suministros a los puntos de demanda. Como método de solución se implementa el software RADIUS para estimar los daños causados de un terremoto hipotético con el fin de categorizar cada punto de demanda dependiendo de la gravedad y magnitud. Después se utiliza un enfoque de Goal Programming para priorizar los objetivos con el fin de tener la menor desviación de las metas. Para la solución del modelo se utiliza un método de optimización tradicional.

Desde otro punto de vista, **Rennemo et al**<sup>64</sup> proponen un modelo de programación estocástica entera mixta de tres etapas para la planificación de respuesta a un eventual desastre. El modelo considera una red de distribución conformada por un Almacén Central Internacional (ICD) que abastece a unos Centros de Distribución locales (LDC) que a su vez cubren las necesidades de los Puntos de Distribución (DOP). En la primera etapa se modela las decisiones tomadas en relación a la cantidad de artículos necesarios y la ubicación de cada LDC. Para las etapas siguientes se tiene como parámetros incierto el estado de la carretera, por ende en la segunda etapa del modelo son embalados los vehículos con los suministros desde el ICD al LDC para luego ser distribuidos a los DOP. Para la última etapa, si la ruta planificada en la etapa dos puede ser ejecutada, se ejecuta la distribución de los productos de acuerdo a las decisiones tomadas en esa etapa; sino puede seguir su ruta prevista (debido a daños en la infraestructura vial) se debe buscar

---

<sup>63</sup> BARZINPOUR, F y ESMAEILI, V. A multi-objective relief chain location distribution model for urban disaster management. En: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 70, No. 5-8, p. 1291-1302.

<sup>64</sup> RENNEMO, S, et al. A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning. En: Transportation Research Part E. 2014. Vol. 62, p. 116-135.

una ruta modificada debido a que en la etapa dos no se conocía con certeza el estado de la vías. Para la solución del modelo de programación estocástica se utiliza el software comercial Xpress-IVE Optimization Suite.

Proponiendo otro enfoque de solución, **Barzinpour et al**<sup>65</sup> proponen un modelo de programación multiobjetivo para las actividades de respuesta de la logística de atención a desastre. El modelo tiene como objetivo minimizar los costes totales y maximizar la tasa de satisfacción de la demanda. El modelo determina la ubicación de los centros de distribución de ayuda y la asignación de las zonas afectadas a los centros de distribución. Un algoritmo genético se ha desarrollado con el fin de resolver el modelo de optimización. Los autores comparan los resultados con los obtenidos por un algoritmo de recocido simulado y el software LINGO. El algoritmo genético propuesto para el modelo proporciona soluciones óptimas en un espacio de tiempo razonable en comparación con los otros métodos de solución.

## **4.2 PROBLEMAS OPERACIONALES**

**4.2.1 Distribución** La distribución de suministros (ya sea de medicamentos, alimenticio, ropa, etc) es una de las partes críticas en las actividades que se deben llevar en la respuesta ante un desastre natural, es la actividad encargada de que la cadena de abastecimiento funcione de la mejor manera, garantizando el excelente funcionamiento de los agentes encargados de brindar el servicio de socorro. Es por eso que los modelos en la logística humanitaria son claves para solucionar los problemas de control de inventario durante y post-desastre. **Beamon y Kotleba**<sup>66</sup> se dedicaron a investigar sobre el manejo de la cadena de

---

<sup>65</sup> BARZINPOUR, F, et al. Metaheuristic Algorithm for Solving Biobjective Possibility Planning Model of Location-Allocation in Disaster Relief Logistics. En: Journal of Applied Mathematics. 2014.

<sup>66</sup> BEAMON, B y KOTLEBA, S. Inventory modelling for complex emergencies in humanitarian relief operations. En: International Journal of Logistics: Research and Applications. 2006. Vol. 9, No. 1, p. 1-18.

suministro humanitaria y desarrollaron un modelo de control de inventario estocástico, su objetivo es el de determinar las cantidades óptimas de orden y punto de reorden para la respuesta a emergencia a largo plazo. Para complementar su trabajo, **Beamon y Kotleba**<sup>67</sup> proponen dos modelos para encontrar la cantidad óptima de orden y punto de reorden para responder a una emergencia humanitaria compleja. Los autores desarrollaron un modelo heurístico y un modelo ingenuo basado en la comodidad y facilidad de implementación. Como método de solución se desarrolló un modelo de simulación de la ayuda humanitaria. En el mismo año, **Prékopa**<sup>68</sup> desarrolla el modelo de control de inventario húngaro, el cual se utiliza para examinar y solucionar el problema de los altos niveles de inventarios que experimentaban las empresas en Hungría.

Siguiendo en la misma línea de encontrar un modelo que determine el stock de seguridad para que la cadena de suministro no presente obstaculización, pero en el área de logística humanitaria, **Ozbay y Ozguven**<sup>69</sup> desarrollan un modelo de control de inventario estocástico para la respuesta a desastres. Su objetivo es determinar las mínimas existencias de seguridad de los suministros para que su consumo sea sin interrupciones para una probabilidad dada, es decir, las personas afectadas por el siniestro deben tener suficientes suministros para abastecer sus necesidades vitales durante todo el periodo de tiempo sin interrupciones. Para resolver el modelo proponen un procedimiento de solución para el modelo basado en el concepto de p-nivel puntos eficientes, realizan pruebas de sensibilidad para garantizar el funcionamiento del modelo.

La tendencia en este año era el de tratar de descomponer el problema raíz en sub-problemas mutuamente relacionados. Un claro ejemplo de estos trabajos fue

---

<sup>67</sup> BEAMON, B y KOTLEBA, S. Inventory management support systems for emergency humanitarian relief operations in South Sudan. En: The International Journal of Logistics Management. 2006. Vol. 17, No. 2, p. 187-212.

<sup>68</sup> PRÉKOPA, A. On the Hungarian Inventory Control Model. En: European Journal of Operational Research. 2006. Vol. 171, No. 3, p. 894-914.

<sup>69</sup> OZBAY, K y OZGUVEN, E. A Stochastic Humanitarian Inventory Control Model for Disaster Planning. En: Transportation Research Record. 2007. Vol. 2022, p. 63-75.

**Sheu**<sup>70</sup> presenta un nuevo enfoque en la distribución logística de emergencia para responder en el menor tiempo las demandas en las zonas afectadas en el periodo de salvamento (se refiere a los tres primeros días desde el siniestro). Este nuevo enfoque se soluciona con las metodologías de agrupamiento difuso y modelos de programación dinámica multi-objetivo, en donde primero que todo se prevé la demanda con su respectiva prioridad de distribución. Luego, una estrategia de suministro de socorro a la demanda de dos etapas es llevada a cabo, basados en la solución óptima obtenida a partir de los suministros de socorro y los modelos de distribución propuestos.

Continuando con la división de un problema en dos sub-problemas, **Yi y Özdamar**<sup>71</sup> proponen un modelo de distribución-localización integrado para coordinar el apoyo logístico y las operaciones de evacuación ante un desastre. El modelo propuesto consiste en llevar los suministros desde los centros de abastecimiento hasta los centros de distribución temporales y el transporte de los heridos desde las zonas afectadas hasta las unidades de emergencia. El objetivo principal del modelo es minimizar el retraso en el suministro de los productos básicos y la atención de los heridos. Para la solución del problema se utiliza un algoritmo llamado "Ruta", el cual con la solución óptima genera un calendario de recogida y entrega. Luego resolviendo un sistema de ecuaciones lineales se calcula la cantidad de artículos y personas a recoger y/o entregar.

**Chang, Tseng y Chen**<sup>72</sup> Desarrollan una herramienta para facilitar la toma de decisiones en las actividades de planificación en la logística de emergencia en desastres de inundaciones. La herramienta consiste en dos modelos, el primero se

---

<sup>70</sup> SHEU, JB. An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters. En: Transportation Research Part E. 2007, Vol. 43, No. 6, p. 687-709.

<sup>71</sup> YI, Wei y ÖZDAMAR, Linet. A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. En: European Journal of Operational Research. 2007. Vol. 179, No. 3, p. 1177-1193.

<sup>72</sup> CHANG, MS; TSENG, YL y CHEN, JW. A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. En: Transportation Research Part E. 2007. Vol. 43, No. 6, p. 737-754.

encarga de minimizar la distancia de envío esperada donde a cada proveedor se le asigna una zonas de desastres específico, con base al modelo anterior se desarrolla un segundo modelo de programación estocástica de dos etapas para determinar los puntos de rescate locales, la cantidad de equipo de rescate en los depósitos y los planes de transporte. Como procedimiento de solución se propuso un esquema de aproximación media de muestras y la aplicación de una técnica de sistema de información geográfica (GIS).

Desde otro enfoque, **Balcik, Beamon y Smilowitz**<sup>73</sup> proponen modelo de programación de dos fases para determinar la asignación de suministros y calendario de entrega de cada uno de los vehículos que conforman la red de transporte de apoyo a emergencias. El modelo tiene como objetivo maximizar el beneficio de la demanda en las zonas afectadas y minimizar los costos de transporte y los costos de multa. Como método de solución para la primera fase se propone una heurística TSP (Traveling Salesperson Problem) para encontrar la ruta con el menor tiempo de viaje hasta las zonas afectada; por último, se implementa un ITS (Intelligent Transportation Systems) para gestionar la flota de vehículos de emergencia que hace parte de la segunda fase.

**Lin et al**<sup>74</sup> proponen un modelo de programación entera multi-objetivo para la optimización de los costos asociados a la entrega de suministros críticos en operaciones de ayuda en desastres. El objetivo del modelo se compone de tres propósitos, minimizar la demanda insatisfecha (los autores le dan prioridad a los suministros críticos, por ejemplo, el agua debe entregarse en una ventana de tiempo de 48-72 horas sino, tendrá una penalización), minimizar el tiempo total de viaje de todos los vehículos (puede ser barco, autos, helicópteros, etc.) y minimizar la diferencia del índice de satisfacción entre los grupos afectados. El

---

<sup>73</sup> BALCIK, B; BEAMON, B y SMILOWITZ, K. Last Mile Distribution in Humanitarian Relief. En: Journal of Intelligent Transportation Systems. 2008. Vol. 12, No. 2, p. 51-83.

<sup>74</sup> LIN, YH, et al. A logistics model for delivery of critical items in a disaster relief operation: heuristic approaches. En: Transportation Research Part E. 2009.

modelo propone dos enfoques de solución. El primero se encarga de la generación de viajes de los vehículos por medio de un algoritmo genético, Tour Generator. Luego, se propone el VAH (Vehicle Assignment heuristic) el cual está diseñado para asignar apropiadamente cada vehículo para servir a los grupos afectados.

**Chunguang et al**<sup>75</sup> desarrolla un modelo de optimización no lineal multi-objetivo para la distribución de categorías de artículos de ayuda humanitaria a las zonas de desastres. La función principal del modelo es minimizar los costos totales asociados a la distribución de los artículos de emergencia. Como metodología de implementación, primero se implementa el método de factor de penalización para transformar la función objetivo y sea más fácil resolver el problema. Como segundo paso, los autores desarrollan un algoritmo genético que toma los datos anteriores y procede a resolver el problema. El resultado de la metodología establece que para la solución de algunos problemas de optimización no lineales complejos es el adecuado. Igualmente, considerando el mismo problema multi-objetivo, **Hu**<sup>76</sup> desarrolla un modelo de optimización multi-objetivo en un escenario de la logística de emergencia con multi-categoría de suministro, multi-puntos de almacenamiento y el problema de costo de transporte, además tomando la oferta y la demanda en constante variación en el transcurso del tiempo. El objetivo del modelo es minimizar la escasez de recurso y minimizar el costo de transporte asociado a las actividades operativas de distribución. Como método de solución se propone el motor de optimización, Dash Xpress.

---

<sup>75</sup> CHUNGUANG, et al. A Multi-category Emergency Goods Distribution Model and Its Algorithm. En: International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management. 2010. Vol. 3, p. 1490-1494.

<sup>76</sup> HU, ZH. Multi-objective optimization model for emergency logistics distribution with multiple supply points and multiple resource categories. En: 2nd International Conference on Industrial and Information Systems. 2010. Vol. 1, p. 167-170.

**Salmerón y Apte**<sup>77</sup> proponen un modelo de programación estocástica de dos fases para hacer frente a un desastre. El modelo de optimización es multi-objetivo donde se busca minimizar las bajas esperadas y minimizar la demanda insatisfecha, por lo que el modelo incluye las decisiones de la primera fase, tales como, almacenes, instalaciones médicas y refugios, y las decisiones de la segunda fase que se refiere a las políticas de asignación de los recursos y las decisiones de contratación de transporte teniendo en cuenta los puntos de áreas afectadas y la cantidad de demanda a ser transportada. Para la solución del modelo se implementa GAMS (general algebraic modeling language) para el lenguaje del modelo y Cplex como el motor de solución. Utilizando el mismo enfoque de solución, **Adivar y Mert**<sup>78</sup> desarrollan un modelo de programación lineal entera mixta paramétrica que puede manejar la información incierta y aumentar la credibilidad de los organismos internacionales. El modelo multi-objetivo se propone para optimizar la distribución de los artículos desde los países donantes al país afectado. El modelo tiene como función maximizar la cobertura de la demanda requerida en los puntos de desastre dentro del tiempo requerido y minimizar el costo total de alivio a los países de la OTAN.

**Nagurney, Yu y Qiang**<sup>79</sup> desarrollan un modelo integrado para diseñar redes de gestión de suministros vitales que son utilizados para la respuesta a desastres. En el estudio se considera la subcontratación del almacenamiento y entrega de los suministros donde los niveles de capacidad y los flujos de productos son variables conocidas. El modelo tiene como objetivo principal la minimización del costo total de las actividades operacionales referentes a la ayuda humanitaria, y como un objetivo secundario es el de minimizar la demanda insatisfecha. Como método de solución se implementa el método de Euler para resolver las ecuaciones de

---

<sup>77</sup> SALMERÓN, J y APTE, A. Stochastic Optimization for Natural Disaster Asset Prepositioning. En: Production and Operations Management. 2010. Vol. 19, No. 5, p. 561-574.

<sup>78</sup> ADIVAR, B y MERT, A. International disaster relief planning with fuzzy credibility. En: Fuzzy Optimization and Decision Making. 2010. Vol. 9, p. 413-433.

<sup>79</sup> NAGURNEY, A; YU, M y QIANG, Q. Supply chain network design for critical needs with outsourcing. En: Papers in Regional Science. 2011. Vol. 90, No. 1, p. 123-143.

desigualdad variacional. El método arroja Expresiones de forma cerrada (en cada iteración) de los flujos de productos, las mejoras de capacidad y los multiplicadores de Lagrange; Una vez aplicado el método se puede resolver el problema.

**Lin et al**<sup>80</sup> proponen un modelo de programación multi-objetivo para la distribución de envíos prioritarios en las actividades de socorro donde se considera multi-artículos, multi-períodos, multi-vehículos, ventanas de tiempo y un escenario de entrega dividida. El modelo implementa el método de suma ponderada para transformar el problema multi-objetivo en un problema de un solo objetivo, que es minimizar la demanda insatisfecha. Se propone dos métodos de solución para ser comparados, el primer enfoque está basado en un algoritmo genético y el segundo está basado en DAH (Decomposition and Assignment Heuristic). Se utiliza CPLEX como motor de solución, arrojando como resultado de la comparación, que el enfoque basado en un algoritmo genético puede resolver situaciones factibles de manera eficaz generando buenas soluciones; mientras que el enfoque basado en DAH presenta una reducción en la calidad de los resultados pero determina las soluciones en un menor tiempo de cálculo.

**Ozguven y Ozbay**<sup>81</sup> realizan una investigación en la literatura de los problemas referentes a la determinación del stock de seguridad para las operaciones de logística de atención a desastres. Los autores proponen una metodología de control de inventario humanitaria para encontrar el stock de seguridad óptimo que garantice que no ocurran interrupciones en la distribución. Se desarrollan un modelo de control de inventario humanitaria estocástico que tiene como objetivo minimizar costo total de operación de distribución. El algoritmo Prékopa–Vizvari–

---

<sup>80</sup> LIN, YH. A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster. *En: Socio-Economic Planning Sciences*. 2011. Vol. 45, No. 4, p. 132-145.

<sup>81</sup> OZGUVEN, E y OZBAY, K. Case Study-Based Evaluation of Stochastic Multicommodity Emergency Inventory Management Model. *En: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2012. Vol. 2283, p. 12-24.

Badics se propone como método de solución para resolver este problema no lineal.

Por otro lado, **Afshar y Haghani**<sup>82</sup> desarrollan un modelo de programación integrado para controlar el flujo de los productos de alivio desde los almacenes por medio de la cadena de suministro hasta que sean entregados a sus destinos. Además de controlar el flujo de suministro, el modelo determina la localización óptima de las instalaciones temporales que ayuden a la búsqueda de la solución. La función primordial del modelo es minimizar la cantidad de demanda insatisfecha. Para resolver el modelo se utiliza el solucionador comercial CPLEX. Para casos simples el solucionador CPLEX es capaz de encontrar soluciones óptimas, pero cuando se le añade limitaciones más complicadas al modelo (como restricciones de renta variable), CPLEX es incapaz de dar una solución óptima en un tiempo razonable.

Sin embargo cuando se tiene escasez de suministro, se deben utilizar de manera eficiente estos artículos para proporcionar la mejor respuesta ante un desastre. Debido a este problema, **Najafi, Eshghi y Dullaert**<sup>83</sup> proponen un modelo de programación estocástico multi-periodo donde también se considera un escenario multi-objetivo, multi-modo y multi-mercancía. El modelo busca minimizar el total de personas no atendidas, minimizar la demanda insatisfecha y minimizar el total de vehículos utilizados en la respuesta. Como enfoque de solución se propone una modificación del método de Bertsimas y Sim para obtener la contraparte lineal robusta del modelo estocástico. Para solucionar la contraparte lineal robusta se sugirió la metodología SMSRM (Solution Methodology of the Structured Robust

---

<sup>82</sup> AFSHAR, A y HAGHANI, A. Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. En: Socio-Economic Planning Sciences. 2012. Vol. 46, No. 4, p. 327-338.

<sup>83</sup> NAJAFI, M; ESHGHI, K y DULLAERT, W. A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase. En: Transportation Research Part E. 2013. Vol. 49, No. 1, p. 217-249.

Model), el cual convierte el modelo principal en tres submodelos y se resuelve según su jerarquía.

Bajo otro enfoque, abarcando el problema de posicionamiento de los suministro que deben ser ubicados y distribuidos entre una red de almacenes predeterminados, **Davis et al**<sup>84</sup> desarrolla un modelo de programación estocástica de dos etapas, en que la decisión de primera etapa corresponde al posicionamiento de los suministro, mientras que las decisiones de segunda etapa corresponden al inventario inicial, capacidad de almacenamiento y costo de penalización. El modelo tiene como objetivo minimizar el costo total esperado, que es la relación entre los costos de primera y segunda etapa. El problema se resuelve mediante motores de simulación.

Para que una distribución de suministro no presente interrupciones en sus entregas, **Ozguven y Ozbay**<sup>85</sup> proponen un marco de gestión de emergencia para los procesos de entrega de productos críticos. El marco se basa en dos escenarios. En el primer escenario se desarrolla un modelo de control de inventario humanitario estocástico multi-producto (MC-SHIC) para determinar los valores mínimos de inventario que deben ser puestos en los almacenes para tener una baja interrupción, para solucionar este modelo se propone utilizar el algoritmo pLEPs. Pero los resultados óptimos que arroja el solucionador pueden diferir de los valores óptimos en tiempo real de operaciones de desastre, los autores proponen un segundo escenario en el que se utilizan Dispositivos de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) para sincronizar los procesos de entrega y de consumo de productos críticos ya que las demandas en las áreas afectadas pueden fluctuar de un periodo de tiempo a otro. Para este nuevo escenario se obtiene una aproximación del modelo MC-SHIC con ayuda de un aproximador

---

<sup>84</sup> DAVIS, L, et al. Inventory planning and coordination in disaster relief efforts. En: International Journal of Production Economics. 2013. Vol. 141, No. 2, p. 561-573.

<sup>85</sup> OZGUVEN, E y OZBAY, K. A secure and efficient inventory management system for disasters. En: Transportation Research Part C. 2013. Vol. 29, p. 171-196.

funcional. Como método de solución, para resolver el nuevo problema de optimización sin restricciones, se utilizan los algoritmos Levenberg-Marquardt y SPSA (Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation). Luego de que se comparan los resultados, se obtiene que el algoritmo SPSA permite encontrar mejores soluciones óptimas para determinar el mejor resultado de la función objetivo que es minimizar el costo total de operación sin que las personas tengan problemas.

Teniendo un inventario en los almacenes, el paso a seguir es la necesidad de asignación eficiente y eficaz de los suministros a las áreas afectadas. Es por eso que **Altay**<sup>86</sup> considera dos variaciones del modelo de asignación de recursos multi-ubicación multi-recursos basados en la capacidad. En la primera variación se considera que los recursos son abundantes y fácilmente disponible, y en la segunda variación en que la demanda es abundante para un nivel de suministro bajo. La variación de los modelos se resuelve por el simulador CPLEX y que tienen como objetivo maximizar la cobertura de la demanda sujeta a la disponibilidad de los suministros.

Bajo otro enfoque de solución para la distribución de los suministros, **Barahona et al**<sup>87</sup> desarrollo un marco de simulación y optimización para la red de distribución de suministro de socorro en una cadena de gestión de varios niveles. En un primer nivel, aplicaron técnicas de optimización robusta para determinar las políticas de inventario y envío de suministro de emergencia entre las áreas de escala (están ubicadas entre los centros de distribución y los puntos de distribución). En un segundo nivel, se describe un modelo de transporte basado en un enfoque jerárquico que se realiza a partir del modelo de optimización de inventario. El

---

<sup>86</sup> ALTAY, N. Capability-based resource allocation for effective disaster response. En: IMA Journal of Management Mathematics. 2013.

<sup>87</sup> BARAHONA, F, et al. Agile logistics simulation and optimization for managing disaster responses. En: 43rd Winter Simulation Conference - Simulation: Making Decisions in a Complex World. 2013.

objetivo del modelo de transporte es el de resolver el problema DVRP (dynamic vehicle routing problema) para calcular las rutas de los vehículos y sus horarios, por medio de dos algoritmos, algoritmo greedy y enfoque de generación de columna. El marco de simulación y optimización tiene como objetivo maximizar la cobertura de la demanda. Se utilizó la plataforma AnyLogic 6 para la simulación de los modelos.

**Lee et al**<sup>88</sup> proponen un estudio de tres enfoques de solución al problema de asignación de recursos renovables (equipo médicos para el cuidado de los pacientes) y no renovables (suministros médicos para el cuidado de los pacientes) para la atención a personas afectadas por un desastre. El estudio se hace en base a los inconvenientes que presenta la asignación de equipos médicos a los centros médicos, en donde uno o varios equipos médicos pertenecen a un centro de distribución los cuales serán asignados a los hospitales de la red. El objetivo del estudio es minimizar el costo total de penalización por tardanza en todos los hospitales de la red. Para cada uno de los enfoques de solución se van a tener en cuenta las decisiones de ruteo de vehículo, asignación de los centros de distribución y la asignación del lote a cual el equipo médico se dispone a suministrar los servicios de salud. En el primer enfoque se utilizan heurística VRP (vehicle routing problema), heurística del problema de transporte y teoremas que se desarrollan en el estudio. Para el segundo enfoque se utiliza en algoritmo VRP y teoremas que se desarrollan en el estudio. Por último, se propone un tercer enfoque que consiste en un heurístico para la programación de máquina en paralelo con secuencias que dependen de los tiempos de preparación y calcula el nivel de prioridad de los hospitales, para luego determinar la secuencia de visita a los hospitales.

---

<sup>88</sup> LEE, K, et al. Operations scheduling with multiple resources and transportation considerations. En: International Journal of Production Research. 2013. Vol. 51, No. 23-24, p. 7071-7090.

En un nuevo enfoque de solución, **Fei y Zhang**<sup>89</sup> desarrollan un nuevo algoritmo híbrido denominado como la optimización de la vía de distribución de la logística de emergencia usando el algoritmo de caos en la colonia de hormigas en la que la economía está en una situación de déficit. El objetivo del estudio es minimizar los costos generales de distribución. El rendimiento del modelo se verifica mediante simulación GUI.

Uno de los tantos problemas a que se someten el personal de socorro en un desastre es el de la búsqueda, rescate y prestación de primeros auxilios a los heridos por el siniestro. Por lo tanto, **Jin et al**<sup>90</sup> proponen un modelo de optimización para la entrega de pacientes y su respectiva asignación de los recursos médicos para suministrarle los primeros auxilios, considerando las restricciones de capacidad de los hospitales. El modelo de optimización entera mixta determina la ubicación y el flujo de red de un hospital en el lugar para apoyar los tratamientos de primeros auxilios a los pacientes en las zonas de desastre. El modelo se implementa en el motor de simulación IBM ILOG OPL-CPLEX 6.3, con el objetivo del estudio es maximizar el número de sobrevivientes entre los pacientes rescatados en zonas de desastre.

Bajo otro enfoque, abarcando el problema de diseñar un plan de distribución de la ayuda humanitaria a las zonas afectadas, **Tirado et al**<sup>91</sup> proponen un modelo de flujo lexicográfico basado en el modelo estático introducido por Ortuño (2011)<sup>92</sup>, donde se proporciona un calendario de distribución para la ayuda humanitaria teniendo en cuenta los objetivos relacionados con la cantidad a distribuir, el costo total, el tiempo empleado en las operaciones y la equidad entre las áreas

---

<sup>89</sup> FEI, T y ZHANG, L. Weak economic emergency logistics routing optimization based on chaos ant colony algorithm. En: Information Technology Journal. 2013. Vol. 12, No. 23, p. 7714-7718.

<sup>90</sup> JIN, S, et al. A logistics model for the transport of disaster victims with various injuries and survival probabilities. En: Annals of Operations Research. 2014.

<sup>91</sup> TIRADO, G, et al. A lexicographical dynamic flow model for relief operations. En: International Journal of Computational Intelligence Systems. 2014. Vol. 7, No. 1, p. 45-57.

<sup>92</sup> ORTUÑO, M; TIRADO, G y VITORIANO, B. A lexicographical goal programming based decision support system for logistics of Humanitarian Aid. En: TOP. 2011. Vol. 19, No. 2, p. 464-479.

afectadas. El enfoque que implementaron para hacer frente a este problema fue la programación por metas lexicográficas con dos niveles de prioridad. En el primer nivel se enfoca en llegar a la meta de obtener la cantidad de suministro a distribuir en la red de distribución en tiempo de cálculo corto. Mientras que para el segundo nivel, teniendo la cantidad de suministro a distribuir, se enfocan en llegar a la meta de encontrar una programación de la distribución que nos permitan cumplir con los objetivos de minimizar los costos, el tiempo y una distribución equitativa de los suministros. Para la solución de los modelos se implementa el lenguaje GAMS y CPLEX como motor de optimización. En otro estudio, implementando el mismo lenguaje de programación y el motor de optimización, abarcando el problema de recuperación de la infraestructura (como carreteras y puentes) para la distribución de los artículos de emergencia a una población afectada por un desastre, **Liberatore et al**<sup>93</sup> desarrollaron un modelo RechADS (Sistema de Distribución de Ayuda Humanitaria en etapa de Recuperación) como un problema lexicográfico de tres niveles. Donde el objetivo del primer nivel es maximizar la demanda total servida, mientras que el segundo y tercer nivel el objetivo es minimizar el tiempo de operación de recuperación para la distribución de los recursos. Se implementa el algoritmo Rec para solucionar el problema de coordinación de los arcos de recuperación y las operaciones de distribución.

Por otro lado, abarcando el problema de planificación de emergencia para construir un plan de logística humanitaria que sea eficaz y eficiente basados en la técnica de actualización de información de grupos, **Liu y Ye**<sup>94</sup> desarrollaron una metodología para facilitar la planificación de la logística de emergencia en caso de un desastre natural. La metodología implementada se basa en dos criterios importante que son considerados en una red de distribución de los suministros y

---

<sup>93</sup> LIBERATORE, F, et al. A hierarchical compromise model for the joint optimization of recovery operations and distribution of emergency goods in Humanitarian Logistics. En: Computers & Operations Research. 2014. Vol. 42, p. 3-13.

<sup>94</sup> LIU, N y YE, Y. Humanitarian logistics planning for natural disaster response with bayesian information updates. En: Journal of Industrial and Management Optimization. 2014. Vol. 10, No. 3, p. 665-689.

ayuda humanitaria. El primer criterio es la eficacia, donde se construye un modelo de programación con el fin de asignar los recursos de socorro con la minimización de la pérdida de eficacia en la asignación de los recursos. Mientras que el segundo criterio es la eficiencia, se construye un modelo para asignar los recursos de ayuda con el fin de minimizar la pérdida de tiempo de la logística de emergencia. Como método de solución se utilizó el algoritmo genético de la matriz codificada para resolver el problema de asignación de recursos.

Regresando a la estudio de desarrollar un modelo multi-objetivo, **Cao y Leung**<sup>95</sup> proponen un modelo de suministro de material bi-objetivo para la distribución de los recursos en un desastre emergente. Como principal objetivo el modelo busca minimizar el tiempo de operación y como objetivo secundario es minimizar el costo total de operación. Para la solución del modelo se implementa el algoritmo de evolución diferencial con capacidad de manejo de las restricciones para calcular la mejor solución óptima del suministro del material. En otro estudio, **Meng y Huang**<sup>96</sup> desarrollan un modelo para mejorar la eficacia de la distribución de los recursos humanitarios. El modelo de distribución y localización de los sitios de lanzamiento aéreo se encarga de suministrar los recursos necesarios a las áreas afectadas por un desastre cuando los artículos de emergencia son escasos en las zonas. Como método de solución para el modelo desarrollaron un algoritmo para la programación de los lanzamientos de suministros desde el aire y la distribución de ayuda humanitaria. El propósito del modelo es minimizar el costo total de alivio y el tiempo de distribución de suministro de emergencia.

**4.2.2 Transporte/ Routing** El transporte desempeña un papel importante en la logística de atención a desastre, ya que se deben tomar las mejores decisiones

---

<sup>95</sup> CAO, Q y LEUNG, M. Optimization of material supply model in an emergent disaster using differential evolution. En: Computational Intelligence in Production and Logistics Systems. 2014. p. 134-140.

<sup>96</sup> MENG, YP y HUANG, YF. Airdrop sites location problem and resources distribution for emergency relief. En: International Journal of Emergency Management. 2014. Vol. 10, No. 3-4, p. 193-208.

referentes a la determinación de rutas que garanticen la minimización de costos y tiempo, lo cual se verá reflejados en el objetivo primordial de una red de gestión de cadena de distribución que es la de salvar el mayor número de vidas humanas. Para poder reconocer un problema de transporte o ruteo de vehículos es por medio de su naturaleza, de un origen hacia un destino, donde se determina la ruta más corta y con la cual se cubre el mayor número de puntos de distribución. Pero un problema de transporte no solo es elegir la ruta óptima, también determinar la flota de vehículos y el personal que realizaran las operaciones. En base a estas consideraciones, **Barbasoğlu, Özdamar y Çevik**<sup>97</sup> proponen una metodología multi-criterio jerárquica para la planificación logística de los vehículos, en este caso helicópteros. El problema se descompone en dos niveles jerárquicos, se desarrollan dos modelos optimización entero mixto para afrontar el problema en cada nivel. En el primer nivel se encuentran las decisiones tácticas, en donde se determinan el número de helicópteros y personal para las operaciones para minimizar el costo de selección de las variables. Con los resultados se procede a tomar las decisiones del segundo nivel, las cuales van relacionadas con el ruteo de vehículos, la carga y descarga en cada punto de distribución, los planes de rescate y el reabastecimiento de combustible de cada helicóptero para cumplir con el objetivo de minimizar el makespan. Para la solución de este estudio se utiliza el optimizador comercial GAMS 2.50 XA Solver. En otro estudio, **Barbasoğlu y Arda**<sup>98</sup> utilizaron GAMS como método de solución para solucionar el problema de flujo de red multi-modal de múltiples productos básicos. Desarrollaron un modelo de programación estocástico basado en escenarios para planificar el transporte de los suministros necesarios a las áreas afectadas durante la respuesta de emergencia. El objetivo del estudio es minimizar los costos de transporte que les permitan satisfacer los requisitos de la red de transporte.

---

<sup>97</sup> BARBASOĞLU, G; ÖZDAMAR, L Y ÇEVİK, A. An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations. En: European Journal of Operational Research. 2002. Vol. 140, No. 1, p. 118-133.

<sup>98</sup> BARBASOĞLU, G Y ARDA, Y. A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. En: Journal of the Operational Research Society. 2004. Vol. 55, No. 1, p. 43-53.

Bajo otro enfoque, abarcando el problema de coordinar el apoyo logístico para las operaciones de emergencia, **Özdamar, Ekinci y Küçük Yazıcı**<sup>99</sup> proponen un modelo matemático para la planificación de la logística de emergencia. El modelo matemático integra dos subproblemas. El primero es la distribución de los suministros dependiendo de la capacidad de transporte a las áreas afectadas. El segundo es la búsqueda de las rutas de los vehículos a los puntos de distribución o áreas afectadas. Como método de solución se propone un enfoque heurístico basado en la relajación de Lagrangean, para reducir al mínimo la demanda insatisfecha a largo del horizonte de planeación.

Por otro lado, **Yi y Kumar**<sup>100</sup> proponen un método de solución rápida para el apoyo a las operaciones logísticas y coordinar la evacuación de los heridos. Se desarrolla un modelo para resolver el problema de la distribución de suministro para la logística de emergencia, donde se propone una meta-heurística basada en la optimización por colonias de hormigas (ACO). ACO descompone el problema original en dos subproblemas secuenciales, en donde la primera fase o subproblema es la construcción de la ruta óptima para el suministro y/o evacuación de los heridos, y la segunda fase se refiere a las políticas óptimas del envío de los productos básicos. El modelo tiene como objetivo minimizar la demanda insatisfecha de los productos básicos y los heridos sin servicio en los puntos de demanda. En otro estudio, **Yuan y Wang**<sup>101</sup> desarrollan dos modelos de optimización para la gestión de la logística de atención a desastre. El primer modelo de selección de ruta tiene como objetivo minimizar el tiempo de viaje total a lo largo del camino, considerando la velocidad de desplazamiento afectada por la extensión del desastre. Como solución al modelo se diseñó el algoritmo de Dijkstra modificado. Ahora, basado en el anterior modelo y considerando el caos,

---

<sup>99</sup> ÖZDAMAR, L; EKINCI, E Y KÜÇÜKYAZICI, B. Emergency logistics planning in natural disasters. En: Annals of Operations Research. 2004. Vol. 129, No. 1-4, p. 217-245.

<sup>100</sup> YI, W y KUMAR, A. Ant colony optimization for disaster relief operations. En: Transportation Research Part E. 2007. Vol. 43, No. 6, p. 660-672.

<sup>101</sup> YUAN, Y y WANG, D. Path selection model and algorithm for emergency logistics management. En: Computers & Industrial Engineering. 2009. Vol. 56, No. 3, p. 1081-1094.

el pánico y la congestión de las vías, se desarrolla un modelo de selección de ruta multi-objetivo para coordinar las labores de distribución de suministro. Se propone el algoritmo ACO para minimizar el tiempo total de viaje a lo largo del camino y minimizar la complejidad del camino.

Bajo otro enfoque de solución, **Osman et al**<sup>102</sup> define un problema de enrutamiento de transporte para las áreas afectadas, para lo cual proponen un modelo de optimización de red multiservicio entero. Este problema se observa análogamente como un problema de programación job shop que puede ser resuelto utilizando métodos bio-inspirados y luego utilizar el optimizador GAMS para calcular la solución. El objetivo del modelo es minimizar la tardanza total del suministro de los productos básicos.

**Chunguang et al**<sup>103</sup> desarrollan un modelo de programación multi-deposito considerando varios puntos de desastre en donde la demanda es conocida. El objetivo del modelo es minimizar el tiempo total de operación y minimizar el número de vehículos que serán utilizados para la distribución de los productos. Como enfoque de solución se desarrolló un algoritmo genético para calcular y obtener la ruta óptima y el número de vehículos a ser utilizados en la red de distribución. El algoritmo genético se compara con el algoritmo Dijkstra, dando como resultado una mejor efectividad para el objetivo del modelo. En otro estudio, considerando la ubicación y la cantidad de demanda aleatoria y el tiempo como una variable difusa, **Ju, Sun y Wang**<sup>104</sup> desarrollan un modelo de programación difusa para coordinar las operaciones de transporte escogiendo la ruta óptima dentro de una ventana de tiempo especificada. Como método de solución se

---

<sup>102</sup> OSMAN, M, et al. Optimization model for distributed routing for disaster area logistics. En: International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics. 2009. p. 278- 283.

<sup>103</sup> CHUNGUANG, C, et al. Emergency goods scheduling model and algorithm during initial stage of disaster relief. En: International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management. 2010. Vol. 3, p. 1518-1521

<sup>104</sup> JU, Y; SUN, L y WANG, A. Path optimization based on hybrid intelligent algorithm of emergency logistics. En: Sixth International Conference on Natural Computation (ICNC). 2010. Vol. 3, p. 1285-1289.

utilizó un algoritmo inteligente híbrido para resolver el modelo, en donde el principal objetivo del modelo es minimizar el tiempo de viaje.

Considerando un transporte de suministro por medio de contenedores multi-modal, **Hu**<sup>105</sup> desarrolla un modelo de programación lineal entero multi-objetivo para resolver el problema de optimización de ruta. El modelo se presenta con el fin de buscar reducir al mínimo el costo de operación y el tiempo total del viaje. El modelo se solucionó por medio de paquetes de software operativos tradicionales para seleccionar la mejor ruta y optimización de las rutas.

Retomando el problema de la planificación de las actividades de socorro por medio de helicópteros, **Özdamar**<sup>106</sup> propone una metodología de planificación logística de ayuda humanitaria que consiste en un modelo de flujo de cadena eficiente y un procedimiento de gestión de ruta para convertir los resultados óptimos del modelo en itinerarios de los helicópteros. El propósito del sistema es la coordinación de las operaciones del helicóptero con las actividades de operación de emergencia, donde se tiene como objetivo minimizar el tiempo total de la misión. El modelo es resuelto por medio del motor de optimización CPLEX.

**Vitoriano et al**<sup>107</sup> proponen un modelo de programación multi-criterio para las operaciones de emergencia ante un desastre, en donde se tienen en cuenta los criterios relacionados con el tiempo, costo, fiabilidad, seguridad y equidad en la distribución de los suministros dentro de la red. Como método de solución para resolver el modelo se implementó la programación Goal, que ayuda a determinar la cantidad de suministro a distribuir, la selección de los vehículos y el diseño de la

---

<sup>105</sup> HU, ZH. A container multimodal transportation scheduling approach based on immune affinity model for emergency relief. En: Expert Systems with Applications. 2011. Vol. 38, No. 3, p. 2632-2639.

<sup>106</sup> ÖZDAMAR, L. Planning helicopter logistics in disaster relief. En: OR Spectrum. 2011. Vol. 33, No. 3, p. 655-672.

<sup>107</sup> VITORIANO, B, et al. A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. En: Journal of Global Optimization. 2011. Vol. 51, No. 2, p. 189-208.

ruta. El objetivo del modelo es minimizar el costo total de las operaciones de distribución. Siguiendo con el mismo enfoque solución, **Ortuño, Tirado y Vitoriano**<sup>108</sup> presentan un sistema de distribución de la ayuda humanitaria que sirve como soporte a las decisiones referentes al problema de enrutamiento de los vehículos. El modelo que soporta el sistema descrito, tiene en cuenta restricciones de ruta, oferta y demanda de materiales y transporte. Los autores proponen un modelo lexicográfico basado en programación por metas, en el cual se tiene como primer nivel o meta, la entrega total de los suministros o la mayor cantidad posible de los productos básicos en una ventana de tiempo determinada. Y como segundo nivel, minimizar el costo, tiempo de viaje y la tasa de inconformismo referente a la equidad de la cantidad de productos.

En otro estudio, tomando como enfoque de solución la programación por metas, **Xie y Tang**<sup>109</sup> proponen un modelo de optimización para la planificación del transporte de alimentos en un eventual desastre natural teniendo en cuenta el efecto de los factores de riesgo. El objetivo del modelo es minimizar el tiempo de transporte y la maximización del beneficio.

Considerando el problema de programación de suministro de socorro para ser transportados en un sistema logístico, **Lu y Sihui**<sup>110</sup> proponen una metodología de optimización de dos niveles o etapas. En el primer nivel buscando minimizar el tiempo de operación se desarrolla un modelo de programación dinámica para determinar la ruta más corta entre el punto de abastecimiento y el punto de demanda, para resolver este modelo se utiliza el algoritmo de la ruta más corta. Por último, el segundo nivel busca maximizar la cobertura de la demanda

---

<sup>108</sup> ORTUÑO, M; TIRADO, G y VITORIANO, B. A lexicographical goal programming based decision support system for logistics of Humanitarian Aid. En: TOP. 2011. Vol. 19, No. 2, p. 464-479.

<sup>109</sup> XIE, R y TANG, J. Study on the optimization for emergency food transportation plan based on goal programming. En: International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE). 2011. p. 137-140.

<sup>110</sup> LU, Z y SIHUI, L. Emergency supplies' two transport scheduling model. En: International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE). 2011. p. 1848-1852.

minimizando los costos totales referentes al transporte de los suministros, el problema se presenta como un modelo de programación lineal multi-objetivo para obtener el programa de envío óptimo de los materiales de emergencia. Se utilizó el algoritmo simplex como método de solución del segundo nivel. En otro estudio, considerando problema de transporte de los suministros lo más rápido posible a los puntos de rescate, **Tan**<sup>111</sup> propone una metodología de optimización de dos etapas. En la primera etapa, se propone un modelo de optimización de la red de logística de emergencia en el frente de distribución desde el almacén central para los puntos de desastre, en donde se tiene en cuenta para el modelo el tiempo total más corto de funcionalidad de la red logística y la más alta conectividad de la red. Este modelo se resuelve análisis de sensibilidad. En la segunda etapa, se propone un modelo de selección de ruta óptima al final de la distribución desde los puntos de desastre a los puntos de desastre, el modelo se resuelve por medio del método teoría gris.

**Zhang et al**<sup>112</sup> inspirado en el problema de ruteo de vehículo basado en entregas dividida, proponen un modelo de optimización multi-objetivo multi-periodo para la logística de emergencia, en donde la demanda de las áreas afectadas son lo suficientemente grandes para ser cubiertas por un solo vehículo o por una sola entrega. El problema está diseñado de manera que un centro de distribución con múltiples vehículos pueda distribuir los suministros a múltiples puntos de demanda de manera eficiente. Se emplea el proceso jerárquico analítico (AHP) para obtener la matriz de comparación, que luego será utilizada para obtener la selección de la ruta por medio de un algoritmo genético. El modelo tiene como objetivo minimizar la demanda insatisfecha, el tiempo total de entrega y suministro desequilibrado entre los demandantes. Tomando otro enfoque, en donde los puntos de demanda son agrupados con el fin de encontrar la solución óptima de asignación de

---

<sup>111</sup> TAN, M. Emergency logistics network optimization of natural disaster. En: International Conference of Logistics Engineering and Management. 2012. p. 879-885.

<sup>112</sup> ZHANG, J, et al. SDVRP model for emergency logistics and evolutionary heuristic approach. En: International Conference on Automatic Control and Artificial Intelligence. 2012. p. 1809-1812.

almacenes y clínicas a los centros de demanda, **Özdamar y Demir**<sup>113</sup> proponen un modelo matemático eficiente y un algoritmo de agrupamiento de varios niveles HOGRC (hierarchical cluster and route procedure) para coordinar la logística de entrega y recogida en las cadenas de suministro de emergencia. El algoritmo utiliza un modelo de flujo de red eficiente en un enfoque jerárquico “primero cluster, segundo ruta”, para general rutas de vehículos factibles por medio del motor de optimización comercial CPLEX. El modelo tiene como objetivo minimizar el tiempo de viaje total estimado. En otro estudio, considerando un número limitado de vehículos y conociendo la ubicación de la demanda y la cantidad de suministro, **Chung, Chou y Lee**<sup>114</sup> desarrollan un algoritmo genético de longitud dinámica multi-objetivo para resolver el problema de suministro de materiales a las áreas de desastres desde un centro de distribución. El método propuesto tiene como función, determinar el número exacto y el cronograma de enrutamiento de todos los vehículos desde el punto de suministro a todos los puntos de desastres dentro de sus períodos de tiempo limitados. El estudio tiene como objetivo minimizar el tiempo de viaje total, maximizar la capacidad pero sin exceder la capacidad de cada vehículo y minimizar el número de vehículos que puedan satisfacer la demanda.

Abarcando el problema de enrutamiento confiable y la programación de los suministros humanitarios a través de una cadena de suministro dependiente del tiempo, **Hamedi, Haghani y Yang**<sup>115</sup> desarrollan un modelo de programación entera matemática para integrar las rutas y la programación de los vehículos humanitarios tomando en cuenta todos los costos involucrados en la operación.

---

<sup>113</sup> ÖZDAMAR, L y DEMIR, O. A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. En: Transportation Research Part E. 2012. Vol. 48, No. 3, p. 591-602.

<sup>114</sup> CHUNG, LY; CHOU, TY y LEE, CC. Multiobjective Dynamic Length Genetic Algorithm to Solve the Emergency Logistic Problem. En: International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM). 2012. p. 1147-1152.

<sup>115</sup> HAMEDİ, M; HAGHANI, A y YANG, S. Reliable Transportation of Humanitarian Supplies in Disaster Response: Model and Heuristic. En: Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2012. Vol. 54, p. 1205-1219.

Para redes de suministro pequeñas se propone solucionar el modelo matemático para obtener la solución óptima. Mientras que para hacer frente a grandes problemas se propone un algoritmo heurístico HRBP, el resultado del modelo es una secuencia de programación de los vehículos con su respectiva ruta de distribución con una ventana de tiempo determinada. El objetivo del modelo es minimizar el costo total ponderado que se compone de cuatro partes: distancia de viaje, tiempo de viaje, exposición al riesgo y costo de acumulación de riesgo.

Para la distribución de suministros a los puntos de demanda se debe escoger la ruta más corta que cumpla con los requisitos de la red. Siguiendo esta afirmación, **Fei et al**<sup>116</sup> utilizan el algoritmo colonia de hormigas basado en recocido simulado para resolver un modelo de optimización de ruta basado en condiciones de tráfico especiales. El modelo se encarga de determinar la ruta en que los vehículos, que saldrán de un centro de distribución, visitaran los puntos de demanda y regresando al almacén centran en donde completaran la entrega en el menor tiempo posible.

Abarcando el problema de diseñar un sistema de distribución de emergencia para cumplir con la respuesta urgente en los puntos de demanda, **Qiang**<sup>117</sup> establece un modelo de optimización para la programación de vehículos en la logística de atención a emergencia. Como método de solución para el modelo, se propone la combinación del algoritmo genético con el algoritmo de subida de pendientes, en el cual se agrega el operador de subida al algoritmo genético. El modelo de programación de vehículos tiene como objetivo satisfacer la necesidad de los sitios de desastre y reducir el tiempo de distribución tanto como sea posible con el fin de minimizar las pérdidas en las áreas de desastre y los costos de transporte

---

<sup>116</sup> FEI, Teng, et al. Research of Emergency Logistics Distribution Routing Optimization Based on Simulated Annealing Ant Colony Optimization. En: Artificial Intelligence and Computational Intelligence. 2012. Vol. 7530, p. 177-183.

<sup>117</sup> QIANG, Xian. Vehicle scheduling model for emergency logistics distribution with improved genetic algorithm. En: International Journal of Advancements in Computing Technology. 2012. Vol. 4, No. 18, p. 315-323.

de vehículos. En comparación con los resultados del algoritmo genético básico, la combinación de los algoritmos reduce el tiempo de entrega.

Considerando la demanda y el transporte variables en tiempo, **Wohlgemuth, Oloruntoba y Clausen**<sup>118</sup> desarrollan un modelo de optimización entera mixta multi-etapa para hacer frente al problema de enrutamiento y programación de entrega y recogida de suministro en los puntos de demanda, este problema es una extensión del clásico problema de ruteo de vehículos. El objetivo es encontrar un conjunto de rutas de tiempo mínimo de viaje, comenzando y terminando en un solo depósito y cumpliendo con las necesidades de una variedad de puntos de demanda. Se utiliza la técnica de optimización global, búsqueda tabú, para obtener los resultados satisfactorios en un tiempo de solución corto, con el fin de lograr la respuesta rápida ante un desastre.

Como hemos visto, la selección de una ruta para la gestión de la logística de emergencia juega un papel muy importante; en muchas de los modelos propuestos para la solución de este problema consideran el tiempo de viaje como una constante, es por esto, que los autores **Zhang et al**<sup>119</sup> proponen un nuevo método en el que tienen en cuenta el cambio de la velocidad del viaje durante la extensión de un desastre. Este nuevo método es la aplicación del algoritmo de organismos ameboides el cual se basa en el mecanismo tubular de dichos organismos<sup>120</sup> para la obtención del camino más corto y más largo y así construir índices adimensionales. Finalmente logran demostrar la eficacia de este método con la aplicación de un caso de estudio.

---

<sup>118</sup> WOHLGEMUTH, S; OLORUNTOBA, R y CLAUSEN, U. Dynamic vehicle routing with anticipation in disaster relief. En: Socio-Economic Planning Sciences. 2012. Vol. 46, No. 4, p. 261-271.

<sup>119</sup> ZHANG, X, et al. Route selection for emergency logistics management: A bio-inspired algorithm. En: Safety Science. 2013. Vol. 54, p. 87-91.

<sup>120</sup> TERO, A; KOBAYASHI, R y NAKAGAKI, T. A mathematical model for adaptive transport network in path finding by true slime mold. En: Journal of Theoretical Biology. 2007. Vol. 244, No. 4, p. 553-564.

Basados en el análisis de los grandes desastres ocurridos en China y desde una visión más completa de la planificación del transporte en la que se tienen en cuenta los múltiples objetivos, las restricciones complejas y la incertidumbre inherente, **Zheng y Ling**<sup>121</sup> proponen un problema de optimización difuso multi-objetivo y desarrollan un método de optimización cooperativa para resolver de forma eficaz el problema. De esta manera, utilizan tres criterios de clasificación relevantes para la evaluación de variables difusas, es así como dividen el problema integrado en subsoluciones: optimizar la planificación de asignación de tareas, optimizar la planificación de asignación de recursos y optimizar la planificación de entrega y planes de enrutamiento de vehículos. Para la asignación de tareas de transporte y asignación de recursos emplean el algoritmo multi-objetivo MOTS y para la programación de entrega de entrega y rutas para vehículos utilizan el algoritmo genético MOGA; estas soluciones se complementan entre sí y construyen la solución completa del programa integrado. Los autores logran demostrar el buen rendimiento del problema integrado para la planificación del transporte en casos de desastre con la aplicación de casos de estudio.

Por su parte, **Liu et al**<sup>122</sup> interesados en desarrollar una herramienta de movilizaciones de operaciones de socorro como niveles de movilización de productos, servicios médicos y helicópteros a puntos temporales de instalación proponen un modelo de movilización estocástico entero mixto con dos etapas con dos objetivos: Maximizar la tasa de utilización prevista y minimizar el gasto total de la campaña de movilización. Debido a la complejidad de las variables, estos dos submodelos se resuelven secuencialmente a través de dos modelos heurísticos basados en descomposición de problemas. Así como muchos de los autores aquí mencionados, **Liu et al** a través de cálculos numéricos construidos a partir del

---

<sup>121</sup> ZHENG, YJ; LING, HF. Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: a cooperative fuzzy optimization approach. En: Soft Computing. 2013. Vol. 17, No. 7, p. 1301-1314.

<sup>122</sup> LIU, Y, et al. Stochastic programming approach for earthquake disaster relief mobilization with multiple objectives. En: Journal of Systems Engineering and Electronics. 2013. Vol. 24, No. 3, p. 642-654.

gran terremoto de Wenchuan, indican que el modelo proporciona valiosas soluciones para la movilización.

Grandes compañías de logística encargadas de llevar a cabo todos los procesos y operaciones inherentes a la logística en un desastre buscan además de ofrecer un servicio eficiente alcanzar beneficios comerciales. Desde este punto de vista, **Li y Tan**<sup>123</sup> desarrollan dos modelos de programación vehicular, uno de ellos se basa en un sistema de predicción el cual predice las cantidades de materiales de alivio a desastres y negocios comerciales y luego acepta el negocio que le dará mayor beneficios, de esta forma se pueden programar los vehículos basados en las estimaciones; el otro se basa es un esquema de programación de prioridades de entrega y según esto asigna los vehículos para cumplir con dichas prioridades.

Un modelo de red de colas multinivel es desarrollado por **He et al**<sup>124</sup> para resolver el transporte de mercancías de emergencia de forma rápida y con la menor pérdida de tiempo posible. Los artículos de socorro almacenados en ubicaciones de varios escalones en un área metropolitana se entregan con un método de optimización de las ecuaciones de colas utilizando tiempo de permanencia, tiempo de espera, longitud de la cola, y la probabilidad de desbordamiento como la calidad del servicio; para resolver dicho modelo se utilizó un algoritmo genético el cual ayudaría a determinar un tiempo de respuesta mínimo y de esta manera se elegirían los centros de emergencia logísticos así como las decisiones de enrutamiento vehicular.

Los problemas de asignación de recursos de socorro es uno de los temas de mayor interés en los últimos años, en donde un tiempo de respuesta más corto

---

<sup>123</sup> LI, X y TAN, Q. Vehicle Scheduling Schemes for Commercial and Emergency Logistics Integration. En: Plos one. 2013. Vol. 8, No. 12, p. 1-10.

<sup>124</sup> HE, Xinhua, et al. Improving Emergency Goods Transportation Performance in Metropolitan Areas Under Multi-Echelon Queuing Conditions. En: Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 96, p. 2466-2479.

conduce a determinar un pronóstico de desastre menos preciso, que resulta en un desequilibrio en la equidad de los suministros entre puntos de demanda. En base a esto, **Zhan, Liu y Ye**<sup>125</sup> proponen un modelo de optimización multi-objetivo basado en las actualizaciones de información de escenarios de desastre para hacer frente a los problemas de asignación de recursos de alivio multi-proveedor, multi-área afectada, multi-alivio y multi-vehículos. Como método para resolver el problema de asignación de recursos de socorro se utiliza una combinación entre el enfoque bayesiano y FGP (fuzzy goal programming). El objetivo de esta combinación es derivar una serie de funciones para integrar los tres objetivos que se proponen en el modelo, los cuales son minimizar el tiempo total, el total de las demandas no satisfechas, y los costos totales.

En otro estudio, considerando el problema de suministrar productos básicos a las áreas afectadas y transporte de heridos a los centros médicos de una manera eficaz y eficiente, **Najafi, Eshghi y De Leeuw**<sup>126</sup> proponen un modelo matemático dinámico basado en un Sistema de Soporte de Decisiones Logísticas (LDSS) capaz de recibir datos en tiempo real y ajustar el plan de logística mientras se realizan las operaciones durante el desastre. El modelo propuesto tiene como meta minimizar dos objetivos jerárquicos. El primer objetivo minimizar el tiempo total (ponderado) de espera de los heridos, y el segundo objetivo es minimizar la demanda insatisfecha de los productos básicos en los puntos de demanda durante el horizonte de planeación. Se propone un algoritmo de enrutamiento y envío dinámico (DDRA) para volver a planificar las actividades logísticas de acuerdo con la situación actualizada de una red y la longitud del horizonte de planeación.

---

<sup>125</sup> ZHAN, SL; LIU, N y YE, Y. Coordinating efficiency and equity in disaster relief logistics via information updates. En: International Journal of Systems Science. 2014. Vol. 45, No. 8, p. 1607-1621.

<sup>126</sup> NAJAFI, M; ESHGHI, K y DE LEEUW, S. A dynamic dispatching and routing model to plan/re-plan logistics activities in response to an earthquake. En: OR Spectrum. 2014. Vol. 36, No. 2, p. 323-356.

Por otro lado, **Zhao y Qian**<sup>127</sup> proponen un modelo de optimización matemática multi-etapa multi-objetivo basado en el método modo “escenario de respuesta” para escoger el medio de transporte razonable que debe ser seleccionado de acuerdo a las diferentes necesidades de transporte de mercancías en diferentes escenarios de emergencia pública. Como metodología de solución se propone un algoritmo Dijkstra modificado para selección la ruta más corta en la cadena de suministro, luego se utiliza el método modo “escenario de respuesta” para seleccionar el modo en que serán transportados los suministros. El modelo tiene como objetivo minimizar el costo de transporte y transbordo, el tiempo de transporte y transbordo, y la tasa de accidentes de transporte y transbordo.

Retomando el problema de entrega dividida de suministro, **Wang, Du y Ma**<sup>128</sup> desarrollan un modelo de optimización multi-objetivo para el problema de ruteo y ubicación abierta. El modelo tiene como objetivo minimizar el tiempo de viaje y el costo total, y maximizar la fiabilidad de la entrega dividida. Como método de solución se proponen dos algoritmos, NSGA-II y NSDE, para resolver el modelo de entrega de ayuda. Los algoritmos dan como resultado conjuntos de soluciones Pareto-óptimas que facilitaran la toma de decisiones de acuerdo a la preferencia de los puntos de distribución. Se presenta varios escenarios de prueba para poner a prueba los algoritmos propuestos. El resultado de la comparación demuestra que NSGA-II supera NSDE en la mayoría de los casos.

Desde otro enfoque de solución, considerando un número limitado de vehículos y el tiempo para la entrega de suministro a las áreas afectadas como crítica, **Rivera,**

---

<sup>127</sup> ZHAO, Y y QIAN, Y. The construction of emergency logistics and integrated transport system based on "scenario-response" mode. En: International Journal of Control and Automation. 2014. Vol. 7, No. 3, p. 359-370.

<sup>128</sup> WANG, H; DU, L y MA, S. Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake. En: Transportation Research Part E. 2014. Vol. 69, p. 160-179.

**Afsar y Prins**<sup>129</sup> proponen un modelo de programación para el problema de ruteo de vehículos capacitados acumulativos con multi-viajes. El modelo es una variante del problema de ruteo de vehículos capacitados clásico. La función objetivo del modelo es la minimización de la suma de los tiempos de llegada a los nodos de distribución, en la cual cada vehículo puede realizar más de un viaje. Para la solución del modelo se implementa el algoritmo de Búsqueda Local Evolutiva MultiStart (MS-ELS), el cual busca la mejor solución utilizando un procedimiento de división adaptado y descenso de vecindad variable (VND). Este enfoque encuentra buenos resultados en tiempo de cálculo relativamente cortos.

Para finalizar, **Goerigk, Deghdak y Heßler**<sup>130</sup> desarrollan un modelo de optimización integral para resolver el problema de evacuación de una zona urbana. El modelo también contempla el problema de distribución multi-producto utilizando buses y vehículos. En este estudio se tiene en cuenta aspectos de localización (ubicación de refugios), de enrutamiento (tráfico de buses y vehículos) y aspectos de riesgo en las rutas elegidas. Se propone un enfoque de solución meta-heurístico basado en NSGA-II para resolver grandes problemas de varios criterios. El modelo tiene como objetivos minimizar el tiempo de evacuación, el riesgo y el número de puntos de refugio.

---

<sup>129</sup> RIVERA, J; AFSAR, M y PRINS, C. Multistart Evolutionary Local Search for a Disaster Relief Problem. En: Artificial Evolution. 2014. Vol. 8752, p. 129-141.

<sup>130</sup> GOERIGK, M; DEGHDAK, K Y HEßLER, P. A comprehensive evacuation planning model and genetic solution algorithm. En: Transportation Research Part E. 2014. Vol. 71, p. 82-97.

## 5. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN EN LA LOGÍSTICA DE ATENCIÓN A DESASTRES EN EL ENTORNO LATINOAMERICANO.

Del total de artículos encontrados relacionados con modelos de optimización en la logística de atención a desastres aproximadamente el 6.2 % pertenecen a investigaciones realizadas en países latinoamericanos, específicamente de Colombia, Uruguay, Perú, México y Brasil. Estos esfuerzos de investigación están dirigidos a la solución de problemas de instalación y distribución; a continuación se describe los objetivos de investigación, las conclusiones y los autores relacionados.

### 5.1 COLOMBIA

Para el año 2012, **Gonzalez, kalenatic, Rueda y López**<sup>131</sup> trabajan desde la perspectiva conceptual la aplicación de la logística focalizada en la operación de los sistemas logísticos de atención a desastres partiendo del análisis y la comparación con los entornos de operación militar. Los autores encontraron grandes similitudes de los escenarios de operación de los sistemas logístico militar y humanitario, principalmente en lo relacionado con el efecto de amenazas asimétricas, con las condiciones de operación adversas para el sistema logístico y con picos y variabilidad en la demanda por tanto el concepto de logística focalizada<sup>132</sup> aplicaría perfectamente. Asimismo señalan el uso de modelos matemáticos cuyas funciones objetivos son la localización de una plataforma cross docking y la localización dinámica de nodos logísticos intermedios dentro de zonas seguras a través de programación entera mixta.

---

<sup>131</sup> GONZÁLEZ, Leonardo, et al. Potencial uso de la logística focalizada en sistemas logísticos de atención de desastres. Un análisis conceptual. En: Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Antioquia. 2012. Vol. 62, p. 44-54.

<sup>132</sup> DOD. Department of Defense. Focused Logistics Campaign Plan. Ed. US Government Printing Office. Washington DC (USA). 2004. pp.13-35

## 5.2 BRASIL

**Corradini y Alem**<sup>133</sup> presentan un modelo de programación estocástica entera mixta para apoyar las decisiones de localización de centros de socorro y transporte de productos con la selección modal en un horizonte de múltiples periodos sujeto a la perecibilidad del inventario. Dentro de los resultados obtenidos, vale la pena señalar que el alto costo del transporte se puede reducir si los centros de ayuda son más descentralizados, creando rutas alternativas más cortas y menos dispendiosas. Estos autores identifican principalmente que para las investigaciones futuras es necesario darle un tratamiento estadístico a los datos de entrada para mejorar las estimaciones y generar una base de datos representativos de la catástrofe, asimismo proponen el desarrollo de un árbol de escenarios con la combinación de parámetros estocásticos (demanda, perecibilidad y calidad de las rutas).

## 5.3 MEXICO

Debido a los diversos eventos hidrometeorológicos que afectan a distintas zonas Mexicanas, **Gaytán, Arroyo y Enríquez**<sup>134</sup> resolvieron un modelo de programación entera mixta con dos criterios, costo y tiempo total para la evacuación para responder al mismo tiempo el número y localización de albergues y centros de distribución, especificar rutas y tipos de vehículos a utilizar durante la evacuación, establecer cuáles centros de distribución abastecerán a qué albergues y asignar demanda a albergues. A partir de un análisis geográfico empleando Sistemas de Información Geográfica y software geográfico se lograron obtener las entradas al modelo, tales como sitios seguros que puedan

---

<sup>133</sup> CORRADINI, Lauren y ALEM, Douglas. O Problema de Localização-Distribuição no megadesastre da Região Serrana no Rio de Janeiro. En: Gestão e Produção. 2014. Vol. 21, p. 865-881.

<sup>134</sup> GAYTÁN, Juan; ARROYO, Pilar y ENRÍQUEZ, Ruth. Un modelo bi-criterio para la ubicación de Albergues, como parte de un plan de evacuación en caso de inundaciones. En: Revista Ingeniería Industria. 2012. Vol. 2, p. 35-56.

acondicionarse como albergues, así como rutas viables para movilizar a la población afectada y para trasladar los suministros requeridos desde los centros de distribución hacia los albergues. Para finalizar, estos autores empleando el método de las ponderaciones y complementado con la técnica de la  $\epsilon$ - restricción generaron soluciones de la frontera Pareto eficiente, las cuales corresponden a distintas estrategias de prevención en las cuales se busca alcanzar un compromiso entre el costo de implementación del plan y la duración total de los viajes requeridos para evacuar a todos los habitantes.

Dos años después, los autores **Camacho, González, Almaguer y González R.**<sup>135</sup> proponen un modelo de programación de dos niveles también pero en este caso buscando la optimización de las decisiones relacionadas con la distribución de la ayuda internacional recibida después de un desastre catastrófico, estas son: minimizar costos de envío de los países u organizaciones que quieren ofrecer ayuda y distribuir eficientemente y rápidamente los recursos recibidos. Estos autores transformaron el modelo de dos niveles en un problema entero mixto de un solo nivel equivalente, el cual validaron con datos reales del caso de estudio del terremoto de Chile ocurrido el pasado 2010; para el análisis de dicho caso de estudio se utilizó el motor de optimización CPLEX y proponen la comparación de tres modelos desde diferentes puntos de vista, el primero, “Perspectiva de Líder” el cual busca resolver el problema solo de recepción y distribución de la ayuda, el segundo, “Perspectiva de seguidor” el cual busca resolver el problema de minimización de costo de envío de los países que ofrecen ayuda y el tercero, Problema de programación de dos niveles buscando solución a los objetivos de los anteriores modelos . Los resultados arrojaron el buen funcionamiento del modelo de dos niveles y recomiendan contar con un organismo central de coordinación de todas las operaciones relacionadas con la recepción y distribución de la ayuda internacional.

---

<sup>135</sup> CAMACHO, J, et al. A bi-level optimization model for aid distribution after the occurrence of a disaster. En: Journal of Cleaner Production. 2014.

## 5.4 PERU

En el año 2012, **Aragón, Atoche, Cornejo y Vargas**<sup>136</sup> desarrollan un modelo para buscar la ubicación estratégica de los almacenes de logística humanitaria para los damnificados en caso de terremotos en Lima y Callao y para minimizar el tiempo de respuesta a los centros de acopio de las zonas afectadas. Se logra con un modelo de programación lineal de cobertura simultánea con el que se determina los clusters de ubicación utilizando LINGO 11 y luego se establece un modelo heurístico con los resultados del modelo anterior para obtener la cantidad de almacenes por cada zona de afinidad.

## 5.5 URUGUAY

Desde un enfoque más global, en Uruguay, los autores **Viera, Moscatelli y Tansini**<sup>137</sup> realizan una reflexión entre la logística humanitaria y la comercial, diferenciando las características relacionadas con los objetivos, la demanda y los sistemas de información; adicional a esto realizan una revisión general de los posibles modelos de apoyo a la toma de decisiones de tipo estratégico, táctico y operativo en la logística humanitaria. En cuanto a decisiones estratégicas se trata de la localización de Centros Logísticos, puntos de distribución, refugios, entre otros, por lo cual recomiendan el uso de métodos Heurísticos. Cuando se relaciona las decisiones de tipo tácticas, los autores hacen alusión a las políticas de mantenimiento de inventarios y reemplazo y mantenimiento de vehículos asociados a la logística humanitaria, para ello menciona como posibles modelos de demanda el Economic Order Quantity cuyo objetivo es determinar la cantidad para satisfacer la demanda. Por último, con respecto a decisiones operativas, es

---

<sup>136</sup> CASAS, L, et al. Ubicación de almacenes para ayuda humanitaria posterior a un terremoto en una ciudad Latinoamericana. En: 10th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. 2012.

<sup>137</sup> VIERA, O; MOSCATELLI, S y TANSINI, L. Logística Humanitaria y su aplicación en Uruguay. En: Gerencia Tecnológica Informática. 2012. Vol. 11, p. 47-56.

decir, la distribución de suministros, equipos y personal a las zonas afectadas así como también las evacuaciones que sean necesarias; estas decisiones están enmarcadas dentro del tipo de problemas de Ruteo de vehículos cuyos métodos de solución son los heurísticos.

## 6. CONCLUSIONES

- Con la elaboración del estado del arte, se pudo observar que las investigaciones referentes a modelos de optimización en la logística de atención a desastres ha tenido un fuerte crecimiento en la última década, específicamente desde el año 2010; de esta manera se evidencia el interés de los diferentes autores en la generación de conocimiento y desarrollo en esta temática buscando la disminución de pérdidas humanas, la distribución eficiente y eficaz de las diferentes ayudas y disminuir el tiempo de respuesta.
- En la revisión presentada se observa que los países con mayor interés en la temática planteada son China y Estados Unidos con un porcentaje de publicaciones del 33 % y 24% del total de publicaciones, respectivamente. Esta característica puede estar asociada al considerarse países vulnerables evidenciándose con los diferentes desastres que han padecido a lo largo de la historia (Ver Anexo F).
- Al observar la relación de las publicaciones con el problema logístico, se observa que se han realizado estudios de forma proporcional en temas de distribución, transporte e instalación; en cuanto a publicaciones de demanda corresponde a un porcentaje bajo debido a que este aspecto es uno de las fuertes incertidumbres con las que se enfrentan en la atención de un desastre.
- Son muchos los objetivos que se persiguen a la hora de atender un desastre y al querer optimizar las operaciones presentes en la logística; en el análisis de los diferentes artículos los principales objetivos corresponden a minimizar los costos totales, maximizar la cobertura de la demanda, minimizar la demanda insatisfecha, minimizar los tiempos de viaje, establecer el mínimo stock de seguridad, entre otros.

- En el análisis del total de artículos se pudo observar los diferentes enfoques de solución planteados por los autores, entre los que se encuentran principalmente, soluciones heurísticas, meta-heurísticas y de simulación. Los autores concuerdan con que la utilización de métodos heurísticos a pesar de que no son exactos logran grandes soluciones, completas, eficientes y con alto grado de confianza, además que por lo general no incurren en elevados costos de ejecución computacional. En los artículos, muchos de los problemas eran catalogados como NP, es decir, problemas altamente complejos y para la solución de los mismos se proponían la utilización de métodos heurísticos.
- Muchos de los modelos planteados utilizaban la descomposición de un gran problema en subproblemas con subobjetivos para facilitar la resolución de los mismos.
- Otro de los enfoques de solución más empleados en los artículos corresponden a métodos meta-heurísticos basados en diferentes algoritmos como son: algoritmos genéticos, algoritmos de recocido simulado, algoritmo de colonias de hormigas, algoritmos búsqueda tabú, algoritmos con enfoques difusos, algoritmos de organismos ameboides, entre otros.
- Una de las características comunes que se observó en el análisis de las publicaciones, corresponde a la tendencia de realizar validaciones con casos de estudios, datos históricos, en este caso con datos de diferentes desastres que han ocurrido en el mundo, en los que se lograba comprobar la eficiencia de los modelos y soluciones allí planteadas.
- El aporte de los países latinoamericanos ha sido considerablemente baja, correspondiendo aproximadamente el 6.2 % del total de publicaciones a partir del año 2012, dirigidos a la solución de problemas de instalación y distribución. En algunos casos, abordan la temática desde el punto de vista conceptual y en

otros casos establecieron modelos bi-criterios de programación entera mixta para lograr la distribución de la ayuda recibida, establecer rutas viables y ubicación de centros de distribución.

## 7. RECOMENDACIONES

- La predicción de la demanda es uno de los grandes desafíos con los que se enfrenta la logística de atención a desastres, por ello se recomienda destinar diferentes esfuerzos en la investigación de este tema ya que la población afectada es una variable en los demás modelos de optimización de los campos de la logística.
- Apoyarse con tecnologías de radiofrecuencia, es una de las recomendaciones para lograr resultados más óptimos ya que pueden aportar cifras y datos en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones en la atención de un desastre.
- Una de las grandes contribuciones para la optimización del transporte podría constituir el uso de una flota de vehículos heterogéneos que incluso consideraría un problema multimodal. Hoy en día el número de modelos y métodos de resolución que consideran la diversidad de flota (en capacidad, costos, el uso y destino) es bastante grande, por tanto se considera un campo que se debe seguir explorando ya que se abre la puerta para incluir la variedad de actores que participan en las tareas de distribución de socorro.
- Los modelos de optimización de la logística en atención a desastres se dirigen a considerar modelos multiobjetivos, o multicriterios, que consideran las diferentes incertidumbres y que tienen en cuenta la dinámica de la oferta y la demanda. Por lo anterior, se recomienda desarrollar métodos heurísticos para resolver de problemas principalmente de ruteo y ubicación de instalaciones y así nos lleven a disminuir el tiempo en simulaciones computacionales.
- Por otro lado, el problema de evacuación de una zona urbana debe investigarse a profundidad, donde no solo se tome en cuenta el transporte a utilizar, las localizaciones de los refugios y los riesgos para los evacuados

como se ha venido trabajando, sino que adicional a eso se debe integrar otros criterios para el problema como lo son los gastos de evacuación, la demanda de personal que son requeridos y el esfuerzo logístico para proporcionar los suministros de emergencia; a esto se debe proponer métodos heurísticos secuenciales que permitan reducir el tiempo de simulación del modelo.

- Para investigaciones futuras, la cadena de socorro se puede configurar en una estructura de tres escalones: como primer escalón esta las instalaciones centrales de desastres de la ciudad como proveedores principales, como segundo las instalaciones de emergencia locales como distribuidores, y por ultimo las zonas urbanas como cliente. Además, la ubicación y el enrutamiento se pueden considerar de forma simultánea en el planteamiento de los modelos y métodos de solución.
- Por último, teniendo en cuenta que este estudio aborda una revisión exhaustiva de los modelos de optimización de la logística de atención a desastres, se recomienda al grupo de investigación OPALO continuar trabajando y profundizando en el tema con posibles mejoras de los modelos presentados o con el planteamiento de nuevos modelos que den solución a las diferentes incertidumbres que genera un desastre.

## BIBLIOGRAFIA

ABOUNACER, Rachida; REKIK, Monia y RENAUD, Jacques. An exact solution approach for multi-objective location-transportation problem for disaster response. En: Computers & Operations Research. 2014. Vol. 41, p. 83-93.

ABU NAHLEH, Yousef; KUMAR, Arun y DAVER, Fugen. Facility Location Problem in Emergency Logistic. En: International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering. 2013. Vol. 7, No. 10, p. 833-838.

ADIVAR, Burcu y MERT, Ali. International disaster relief planning with fuzzy credibility. En: Fuzzy Optimization and Decision Making. 2010. Vol. 9, p. 413-433.

AFSHAR, Abbas y HAGHANI, Ali. Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. En: Socio-Economic Planning Sciences. 2012. Vol. 46, No. 4, p. 327-338.

AKHAVAN, R. Ingeniería industrial en la prevención y atención a desastres. En: Centro para la optimización y probabilidad aplicada. Universidad de los Andes. Bogota. 2010.

ALTAY, Nezh. Capability-based resource allocation for effective disaster response. En: IMA Journal of Management Mathematics. 2013.

ANAYA-ARENAS, Ana; RENAUD, Jacques y RUIZ, Angel. Relief Distribution Networks: A Systematic Review. En: Annals of Operations Research. 2014. Vol. 223, No. 1, p. 43-79.

ANDRÉU, Jaime (2001). Las técnicas de análisis de contenido: Una revisión actualizada. Documento de trabajo. S2001/03. Centro de estudios andaluces,

<http://public.centrodeestudiosandaluces.es/pdfs/S200103.pdf> [Fecha de acceso: 24 de Marzo, 2008]

BALCIK, B. y BEAMON, B. Facility location in humanitarian relief. En: International Journal of Logistics: Research and Applications. 2008. Vol. 11, No. 2, p. 101-121.

BALCIK, Burcu; BEAMON, Benita y SMILOWITZ, Karen. Last Mile Distribution in Humanitarian Relief. En: Journal of Intelligent Transportation Systems. 2008. Vol. 12, No. 2, p. 51-83.

BARAHONA, Francisco; Ettl, Markus; PETRIK, Marek y RIMSHNICK, Peter. Agile logistics simulation and optimization for managing disaster responses. En: 43rd Winter Simulation Conference - Simulation: Making Decisions in a Complex World. 2013.

BARAJAS, O. Soporte logístico en atención a emergencias. Grupo de Apoyo y Rescate-UN. Bogota. 1997.

BARBASOĞLU, Gülay; ÖZDAMAR, Linet y ÇEVİK, Ahmet. An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations. En: European Journal of Operational Research. 2002. Vol. 140, No. 1, p. 118-133.

BARBASOĞLU, G. y ARDA, Y. A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. En: Journal of the Operational Research Society. 2004. Vol. 55, No. 1, p. 43-53.

BARZINPOUR, F. y ESMAEILI, V. A multi-objective relief chain location distribution model for urban disaster management. En: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 70, No. 5-8, p. 1291-1302.

BARZINPOUR, Farnaz; SAFFARIAN, Mohsen; MAKOUI, Ahmad y TEIMOURY, Ebrahim. Metaheuristic Algorithm for Solving Biobjective Possibility Planning Model of Location-Allocation in Disaster Relief Logistics. En: Journal of Applied Mathematics. 2014.

BEAMON, Benita y KOTLEBA, Stephen. Inventory modelling for complex emergencies in humanitarian relief operations. En: International Journal of Logistics: Research and Applications. 2006. Vol. 9, No. 1, p. 1-18.

BEAMON, Benita y KOTLEBA, Stephen. Inventory management support systems for emergency humanitarian relief operations in South Sudan. En: The International Journal of Logistics Management. 2006. Vol. 17, No. 2, p. 187-212.

BOZKURT, Melda y DURAN, Serhan. Effects of Natural Disaster Trends: A Case Study for Expanding the Pre-Positioning Network of CARE International. En: Int J Environ Res Public Health. 2012. Vol. 9, No. 8, p. 2863-2874.

BOZORDI-AMIRI, Ali; JABALAMELI, Mohammad; ALINAGHIAN, Mehdi y HEYDARI, Mahdi. A modified particle swarm optimization for disaster relief logistics under uncertain environment. En: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2012. Vol. 60, No. 1-4, p. 357-371.

BOZORDI-AMIRI, A.; JABALAMELI, M. y MIRZAPOUR, S.M. A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty. En: OR Spectrum. 2013. Vol. 35, No. 4, p. 905-933.

BUSTOS, E. Optimización de modelos. En: Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México.

CAMACHO-VALLEJO, José; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, Edna; ALMAGUER, Javier y GONZÁLEZ-RAMÍREZ, Rosa. A bi-level optimization model for aid distribution after the occurrence of a disaster. En: Journal of Cleaner Production. 2014.

CAO, Q. y LEUNG, M. Optimization of material supply model in an emergent disaster using differential evolution. En: Computational Intelligence in Production and Logistics Systems. 2014. p. 134-140.

CASAS, Lucy; ATOCHE, Wilmer; CORNEJO, Christian y VARGAS, Jorge. Ubicación de almacenes para ayuda humanitaria posterior a un terremoto en una ciudad Latinoamericana. En: 10th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. 2012.

CAUNHYE, A.; NIE, X. y POKHAREL, S. Optimization models in emergency logistics: A literature review. En: Socio-Economic Planning Sciences. 2012. Vol. 46, No. 1, p. 4-13.

CHANG, MS; TSENG, YL y CHEN, JW. A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. En: Transportation Research Part E. 2007. Vol. 43, No. 6, p. 737-754.

CHUNGUANG, Chang; XIAOYU, Song; LIJIE, Wang y BO, Gao. A Multi-category Emergency Goods Distribution Model and Its Algorithm. En: International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management. 2010. Vol. 3, p. 1490-1494.

CHUNGUANG, Chang; XIANG, Ma; XIAOYU, Song y BO, Gao. Emergency goods scheduling model and algorithm during initial stage of disaster relief. En:

International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management. 2010. Vol. 3, p. 1518-1521

CHUNG, LY; CHOU, TY y LEE, CC. Multiobjective Dynamic Length Genetic Algorithm to Solve the Emergency Logistic Problem. En: International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM). 2012. p. 1147-1152.

CHURCH, R. y REVELLE, C. The maximal covering location problem. En: Papers of the Regional Science Association. 1974. Vol. 32, No. 1, p. 101-118.

COLOMBIA. GIRALDO, Cesar. La investigación documental: Estado del Arte y del conocimiento. Bogotá. Facultad de Enfermería de la Universidad Nacional, 2001.

COLOMBIA. GALEANO, María y VÉLEZ, Olga. Estado del arte sobre fuentes documentales en investigación cualitativa. Medellín: Universidad de Antioquia, 2002.

CORRADINI, Lauren y ALEM, Douglas. O Problema de Localização-Distribuição no megadesastre da Região Serrana no Rio de Janeiro. En: Gestao e Producao. 2014. Vol. 21, p. 865-881.

DAVIS, Lauren; SAMANLIOGLU, Funda; QU, Xiuli y ROOT, Sarah. Inventory planning and coordination in disaster relief efforts. En: International Journal of Production Economics. 2013. Vol. 141, No. 2, p. 561-573.

DAY, Jamison; MELNYK, Steven; LARSON, Paul; DAVIS, Edward y WHYBARK D. Humanitarian and disaster relief supply chains: a matter of life and death. En: Journal of Supply Chain Management. 2012. Vol. 48, No. 2, p. 27.

DE FILIPPO, Daniela y FERNÁNDEZ, María. Bibliometría: importancia de los indicadores bibliométricos. RICYT. Buenos Aires. 2000.

DIAZ, Rafael; BEHR, Joshua; TOBA, Ange-Lionel; GILES, Bridget; LONGO, Francesco y NICOLETTI, Letizia. Humanitarian/Emergency Logistics Models: A State of the Art Overview. En: Proceedings of the 2013 Summer Computer Simulation Conference. 2013. Artículo No. 24.

DOD. Department of Defense. Focused Logistics Campaign Plan. Ed. US Government Printing Office. Washington DC (USA). 2004. pp.13-35

DÖYEN, Alper; ARAS, Necati y BARBAROSOĞLU, Gülay. A two-echelon stochastic facility location model for humanitarian relief logistics. En: Optimization Letters. 2012. Vol. 6, No. 6, p. 1123-1145.

DURAN, Serhan; GUTIERREZ, Marco y KESKINOCAK, Pinar. Pre-Positioning of Emergency Items Worldwide for CARE International. En: Interfaces. 2011. Vol. 41. No. 3, p. 223-237.

ESPAÑA. Ruz, J. Introducción a la programación matemática. En: Universidad Complutense Madrid. Madrid. 2013.

FEI, Teng y ZHANG, Liyi. Weak economic emergency logistics routing optimization based on chaos ant colony algorithm. En: Information Technology Journal. 2013. Vol. 12, No. 23, p. 7714-7718.

FEI, Teng; ZHANG, Liyi; ZHANG, Jin; LI, Yanqin; LIU, Xiaopei y ZHU Cheng. Research of Emergency Logistics Distribution Routing Optimization Based on Simulated Annealing Ant Colony Optimization. En: Artificial Intelligence and Computational Intelligence. 2012. Vol. 7530, p. 177-183.

GAYTAN, Juan; ARROYO, Pilar y ENRÍQUEZ, Ruth. Logística humanitaria: planeación y control del producto. Enfasis Logistic. 2010.

GAYTÁN, Juan; ARROYO, Pilar y ENRÍQUEZ, Ruth. Un modelo bi-criterio para la ubicación de Albergues, como parte de un plan de evacuación en caso de inundaciones. En: Revista Ingeniería Industria. 2012. Vol. 2, p. 35-56.

GOERIGK, Marc; DEGHDAK, Kaouthar Y HEßLER, Philipp. A comprehensive evacuation planning model and genetic solution algorithm. En: Transportation Research Part E. 2014. Vol. 71, p. 82-97.

GONZÁLEZ, J. y MOYA, M. Indicadores bibliométricos: Características y limitaciones en el análisis de la actividad científica. An Esp Pediatr. España. 1997. p. 235-244.

GONZÁLEZ, Leonardo; KALENATIC, Dusko; RUEDA, Feizar y LÓPEZ, César. Potencial uso de la logística focalizada en sistemas logísticos de atención de desastres. Un análisis conceptual. En: Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Antioquia. 2012. Vol. 62, p. 44-54.

GÖRMEZ, N.; KÖKSALAN, M. y SALMAN, F. Locating disaster response facilities in Istanbul. En: Journal of the Operational Research Society. 2011. Vol. 62, p. 1239-1252.

HAGHANI, A. Capacitated maximum covering location models: Formulations and solution procedures. En: Journal of Advanced Transportation. 1996. Vol. 30, No. 3, p. 101–136.

HAMED, Masoud; HAGHANI, Ali y YANG, Saini. Reliable Transportation of Humanitarian Supplies in Disaster Response: Model and Heuristic. En: Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2012. Vol. 54, p. 1205-1219.

HE, Xinhua; HU, Wenfa; WU, Jia Hao y WANG, Chuanxu. Improving Emergency Goods Transportation Performance in Metropolitan Areas Under Multi-Echelon Queuing Conditions. En: Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 96, p. 2466-2479.

HORNER, Mark y DOWNS, Joni. Optimizing hurricane disaster relief goods distribution: model development and application with respect to planning strategies. En: Disasters. 2010. Vol. 34, No. 3, p. 821-844.

HOYOS, Maria; MORALES, Ridley y AKHAVAN-TABATABAEI, Raha. OR models with stochastic components in disaster operations management: A literature survey. En: Computers & Industrial Engineering. 2015. Vol. 82, p. 183-197.

HU, ZH. Multi-objective optimization model for emergency logistics distribution with multiple supply points and multiple resource categories. En: 2nd International Conference on Industrial and Information Systems. 2010. Vol. 1, p. 167-170.

HU, ZH. A container multimodal transportation scheduling approach based on immune affinity model for emergency relief. En: Expert Systems with Applications. 2011. Vol. 38, No. 3, p. 2632-2639.

JIMENEZ, Absalón. El estado del arte en la investigación en las ciencias sociales. En: La práctica investigativa en ciencias sociales. Colombia. 2006. p. 37.

JIN, Sukho; JEONG, Sukjae; KIM, Jangyeop y KIM, Kyungsup. A logistics model for the transport of disaster victims with various injuries and survival probabilities. En: Annals of Operations Research. 2014.

JU, Yanbing; SUN, Lingyun y WANG, Aihua. Path optimization based on hybrid intelligent algorithm of emergency logistics. En: Sixth International Conference on Natural Computation (ICNC). 2010. Vol. 3, p. 1285-1289.

LEE, Kangbok; LEI, Lei; PINEDO, Michael y WANG, Shengbin. Operations scheduling with multiple resources and transportation considerations. En: International Journal of Production Research. 2013. Vol. 51, No. 23-24, p. 7071-7090.

LIBERATORE, F; et al. Uncertainty in humanitarian logistics for disaster management. En: Decision Aid Models for Disaster Management and Emergencies. 2013. Vol. 7, p. 45-74.

LIBERATORE, F.; ORTUÑO, M.; TIRADO, G.; VITORIANO, B. y SCAPARRA, M. A hierarchical compromise model for the joint optimization of recovery operations and distribution of emergency goods in Humanitarian Logistics. En: Computers & Operations Research. 2014. Vol. 42, p. 3-13.

LIN, Yen-Hung; BATA, Rajan; ROGERSON, Peter; BLATT, Alan y FLANIGAN, Marie. A logistics model for delivery of critical items in a disaster relief operation: heuristic approaches. En: Transportation Research Part E. 2009.

LIN, YH. A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster. En: Socio-Economic Planning Sciences. 2011. Vol. 45, No. 4, p. 132-145.

LIU, N. y YE, Y. Humanitarian logistics planning for natural disaster response with bayesian information updates. En: Journal of Industrial and Management Optimization. 2014. Vol. 10, No. 3, p. 665-689.

LIU, Wenmao; HU, Guangyu y LI, Jianfeng. Emergency resources demand prediction using case-based reasoning. En: Safety Science Review. 2012. Vol. 50, No. 3, p. 530-534.

LI, X. y TAN, Q. Vehicle Scheduling Schemes for Commercial and Emergency Logistics Integration. En: Plos one. 2013. Vol. 8, No. 12, p. 1-10.

LIU, Y. y GUO, B. A Lexicographic Approach to Postdisaster Relief Logistics Planning Considering Fill Rates and Costs under Uncertainty. En: Mathematical Problems in Engineering. 2014.

LIU, Yajie; ZHANG, Tao; LEI, Hongtao y GUO, Bo. Stochastic programming approach for earthquake disaster relief mobilization with multiple objectives. En: Journal of Systems Engineering and Electronics. 2013. Vol. 24, No. 3, p. 642-654.

LOPEZ, F. El análisis de contenido como método de investigación. En: Revista de educación. Universidad de Huelva. 2002. Vol. 4, p. 171.

LU, Chung-Cheng y SHEU, Jih-Bing. Robust vertex p-center model for locating urgent relief distribution centers. En: Computers & Operations Research. 2013. Vol. 40, No. 8, p. 2128-2137.

LU, Chung-Cheng. Robust weighted vertex p-center model considering uncertain data: An application to emergency management. En: European Journal of Operational Research. 2013. Vol. 230, No. 1, p. 113-121.

LU, Zheng y SIHUI, Luo. Emergency supplies' two transport scheduling model. En: International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE). 2011. p. 1848-1852.

MENG, Y.P. y HUANG, Y.F. Airdrop sites location problem and resources distribution for emergency relief. En: International Journal of Emergency Management. 2014. Vol. 10, No. 3-4, p. 193-208.

MESSINA, Graciela. Investigación acerca de la formación docente: un estado del arte en los noventa. En: Revista Iberoamericana de Educación. España. 1999. Enero-Abril. No. 19. p. 145.

MOLINA, Nancy. Herramientas para investigar: ¿Qué es el estado del arte? En: Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular. Bogotá. 2005. Julio-Diciembre. No. 5. p. 74.

NAGURNEY, Ana; YU, Min y QIANG, Qiang. Supply chain network design for critical needs with outsourcing. En: Papers in Regional Science. 2011. Vol. 90, No. 1, p. 123-143.

NAJAFI, Mehdi; ESHGHI, Kouros y DULLAERT, Wout. A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase. En: Transportation Research Part E. 2013. Vol. 49, No. 1, p. 217-249.

NAJAFI, Mehdi; ESHGHI, Kouros y DE LEEUW, S. A dynamic dispatching and routing model to plan/re-plan logistics activities in response to an earthquake. En: OR Spectrum. 2014. Vol. 36, No. 2, p. 323-356.

ORTUÑO, M.; TIRADO, G. y VITORIANO, B. A lexicographical goal programming based decision support system for logistics of Humanitarian Aid. En: TOP. 2011. Vol. 19, No. 2, p. 464-479.

ORTUÑO, M.; TIRADO, G. y VITORIANO, B. A lexicographical goal programming based decision support system for logistics of Humanitarian Aid. En: TOP. 2011. Vol. 19, No. 2, p. 464-479.

OSMAN, Mojahid; RAM, Bala; BHADURY, Joy; STANFIELD, Paul; DAVIS, Lauren y SAMANLIOGLU, Funda. Optimization model for distributed routing for disaster area logistics. En: International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics. 2009. p. 278- 283.

OZBAY, K. y OZGUVEN, E. A Stochastic Humanitarian Inventory Control Model for Disaster Planning. En: Transportation Research Record. 2007. Vol. 2022, p. 63-75.

ÖZDAMAR, Linet; EKINCI, Ediz Y KÜÇUKYAZICI, Beste. Emergency logistics planning in natural disasters. En: Annals of Operations Research. 2004. Vol. 129, No. 1-4, p. 217-245.

ÖZDAMAR, Linet. Planning helicopter logistics in disaster relief. En: OR Spectrum. 2011. Vol. 33, No. 3, p. 655-672.

ÖZDAMAR, Linet y DEMIR, Onur. A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. En: Transportation Research Part E. 2012. Vol. 48, No. 3, p. 591-602.

OZGUVEN, E. y OZBAY, K. Case Study-Based Evaluation of Stochastic Multicommodity Emergency Inventory Management Model. En: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2012. Vol. 2283, p. 12-24.

OZGUVEN, E. y OZBAY, K. A secure and efficient inventory management system for disasters. En: Transportation Research Part C. 2013. Vol. 29, p. 171-196.

PIÑUEL, José. Epistemología, metodología y técnicas del análisis de contenido. *Estudios de Sociolingüística* 3(1). España. 2002. pp. 1-42.

PODESTÁ, Juan Luis. El comité andino para la prevención y atención de desastres (CAPRADE). En: *Revista tecnología & sociedad*. No. 7 (Oct., 2006); p. 145-150.

PRÉKOPA, A. On the Hungarian Inventory Control Model. En: *European Journal of Operational Research*. 2006. Vol. 171, No. 3, p. 894-914.

QIANG, Xian. Vehicle scheduling model for emergency logistics distribution with improved genetic algorithm. En: *International Journal of Advancements in Computing Technology*. 2012. Vol. 4, No. 18, p. 315-323.

RATH, Stefan y GUTJAHR, Walter. A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief. En: *Computers & Operations Research*. 2014. Vol. 42, p. 25-39.

RENNEMO, Sigrid; FOUIGNER, Kristina; MAGNUS, Lars y TIRADO, Gregorio. A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning. En: *Transportation Research Part E*. 2014. Vol. 62, p. 116-135.

REZAEI-MALEK, M. y TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. Robust humanitarian relief logistics network planning. En: *Uncertain Supply Chain Management*. 2014. Vol. 2, No. 2, p. 73-96.

RIVERA, Juan; AFSAR, Murat y PRINS, Christian. Multistart Evolutionary Local Search for a Disaster Relief Problem. En: *Artificial Evolution*. 2014. Vol. 8752, p. 129-141.

ROTTKEMPER, Beate; FISCHER, Kathrin; Blecken, Alexander y DANNE, Christoph. Inventory relocation for overlapping disaster settings in humanitarian operations. En: OR Spectrum. Review. 2011. Vol. 33, No. 3, p. 721-749.

SALMERÓN, Javier y APTE, Aruna. Stochastic Optimization for Natural Disaster Asset Prepositioning. En: Production and Operations Management. 2010. Vol. 19, No. 5, p. 561-574.

SAN SALVADOR. MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES. Manual para la gestión de asistencia humanitaria internacional en casos de desastres. En: MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES. San Salvador. 2009.

SANCHO, R. Indicadores bibliométricos utilizados en la evaluación de la ciencia y la tecnología. Revisión bibliográfica. En: Rev Esp Doc Cient. 1990. Vol. 13, No. 3-4, p. 843.

SHEU, Jiu-Biing. Dynamic relief-demand management for emergency logistics operations under large-scale disasters. En: Transportation Research Part E: Logistics and Transportation. Review. 2010. Vol. 46, No. 1, p. 1–17.

SHEU, Jiu-Biing. An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters. En: Transportation Research Part E. 2007, Vol. 43, No. 6, p. 687-709.

STEPHENSON, R. Logística. Programa de entrenamiento para el manejo de desastre. 1993.

TAN, Ming-Jun. Emergency logistics network optimization of natural disaster. En: International Conference of Logistics Engineering and Management. 2012. p. 879-885.

TERO, A.; KOBAYASHI, R. y NAKAGAKI, T. A mathematical model for adaptive transport network in path finding by true slime mold. En: Journal of Theoretical Biology. 2007. Vol. 244, No. 4, p. 553-564.

THOMAS, A. y MIZUSHIMA, M. Capacitación en logogistica: ¿Necesidad o lujo? Fritz Institute. 2004.

TIRADO, Gregorio; MARTÍN-CAMPO, Javier; Vitoriano, Begoña y ORTUÑO, Teresa. A lexicographical dynamic flow model for relief operations. En: International Journal of Computational Intelligence Systems. 2014. Vol. 7, No. 1, p. 45-57.

TRANFIELD, D.; DENYER, D. y PALMINDER, S. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. En: British Journal of Management. 2003. Vol. 14, p. 215.

TRICOIRE, Fabien; GRAF, Alexandra y GUTJAHR, Walter. The bi-objective stochastic covering tour problem. En: Computers & Operations Research. 2012. Vol. 39, No. 7, p. 1582-1592.

TURĞUT, Banu; Taş, Gamze; HEREKOĞLU, Ahmet; TOZAN, Hakan y VAYVAY, Ozalp. A fuzzy AHP based decision support system for disaster center location selection and a case study for Istanbul. En: Disaster Prevention and Management. 2011. Vol. 20, No. 5, p. 499-520.

USA. INSTITUTE FRITZ. Humanitarian Logistic Conference. En: INSTITUTE FRITZ. [En línea]. (2004). [consultado 4 oct. 2013]. Disponible en <<http://www.fritzinstitute.org/prgSCHLCaf2004-procceding.html>>

VÉLEZ, Amparo y CALVO, Gloria. La investigación documental. En: Estado del arte y del conocimiento. Bogotá. 1992. Universidad de la Sabana. p. 36.

VIERA, O.; MOSCATELLI, S. y TANSINI, L. Logística Humanitaria y su aplicación en Uruguay. En: Gerencia Tecnológica Informática. 2012. Vol. 11, p. 47-56.

VITORIANO, Begoña; ORTUÑO, Teresa; TIRADO, Gregorio y MONTERO, Javier. A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. En: Journal of Global Optimization. 2011. Vol. 51, No. 2, p. 189-208.

WANG, Haijun; DU, Lijing y MA, Shihua. Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake. En: Transportation Research Part E. 2014. Vol. 69, p. 160-179.

WOHLGEMUTH, Sascha; OLORUNTOBA, Richard y CLAUSEN, Uwe. Dynamic vehicle routing with anticipation in disaster relief. En: Socio-Economic Planning Sciences. 2012. Vol. 46, No. 4, p. 261-271.

XIE, Ruhe y TANG, Jie. Study on the optimization for emergency food transportation plan based on goal programming. En: International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE). 2011. p. 137-140.

XINHUA, He. Study on Emergency Supply Chain System Planning under Uncertainty. En: 2012 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. 2012. Vol. 3, p. 432-435.

YI, Wei y ÖZDAMAR, Linet. A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. En: European Journal of Operational Research. 2007. Vol. 179, No. 3, p. 1177-1193.

YI, W y KUMAR, A. Ant colony optimization for disaster relief operations. En: Transportation Research Part E. 2007. Vol. 43, No. 6, p. 660-672.

YUAN, Y y WANG, D. Path selection model and algorithm for emergency logistics management. En: Computers & Industrial Engineering. 2009. Vol. 56, No. 3, p. 1081-1094.

ZHANG, Jin; DONG, Ming y CHEN, Frank. A bottleneck Steiner tree based multi-objective location model and intelligent optimization of emergency logistics systems. En: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2013. Vol. 29, No. 3, p. 48-55.

ZHANG, J, et al. SDVRP model for emergency logistics and evolutionary heuristic approach. En: International Conference on Automatic Control and Artificial Intelligence. 2012. p. 1809-1812.

ZHAN, SL; LIU, N y YE, Y. Coordinating efficiency and equity in disaster relief logistics via information updates. En: International Journal of Systems Science. 2014. Vol. 45, No. 8, p. 1607-1621.

ZHANG, X, et al. Route selection for emergency logistics management: A bio-inspired algorithm. En: Safety Science. 2013. Vol. 54, p. 87-91.

ZHAO, Y y QIAN, Y. The construction of emergency logistics and integrated transport system based on "scenario-response" mode. En: International Journal of Control and Automation. 2014. Vol. 7, No. 3, p. 359-370.

ZHENG, YJ; CHEN, SY y LING HF. Evolutionary optimization for disaster relief operations: A survey. En: Applied Soft Computing. 2015. Vol. 27, p. 553-566.

ZHENG, YJ y LING, HF. Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: a cooperative fuzzy optimization approach. En: Soft Computing. 2013. Vol. 17, No. 7, p. 1301-1314.

## **ANEXOS**

### **Anexo A. Base jurídica de la gestión de la asistencia humanitaria**

Según el Artículo 8 de la Ley de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres, Decreto Legislativo N° 777 del 18 de agosto de 2005, publicada en Diario Oficial N° 160, Tomo 368, del 31 de agosto de 2005, el Ministerio de Relaciones Exteriores es uno de los integrantes de la Comisión Nacional. En el Artículo 9, literal “d” de la misma ley, se establece como una de las funciones de esta comisión la de proponer al Presidente de la República que se decrete el Estado de Emergencia, de conformidad con el Art. 24 de la misma ley. En este caso la Comisión Nacional tomará medidas de urgencia para garantizar el orden público, equipar refugios de emergencia y suministrar alimentos y primeros auxilios, con la asistencia de las autoridades civiles y militares, Cuerpo de Bomberos y demás organizaciones humanitarias, manteniendo informado constantemente al Presidente de la República.

El Artículo 21 de la ley antes mencionada, ordena la elaboración del Plan Nacional de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres, el cual, a la vez, define la conformación de 10 comisiones sectoriales, la Comisión de Asistencia Humanitaria es la responsable de conducir el proceso de gestión y coordinación de la asistencia humanitaria internacional durante situaciones desastre nacional; para la rectoría de esta comisión la ley delega la responsabilidad al Ministerio de Relaciones Exteriores y a la Secretaría Nacional de la Familia.

En adicción a lo anterior, la legalidad de los procedimientos establecidos en este manual se sustenta en la declaratoria de estado de emergencia y de calamidad pública, emitida mediante decreto por parte del órgano del Estado competente.

Además, deben considerarse las normas técnicas de control interno emitidas por la Corte de Cuentas de la República.

## Anexo B. Herramientas de búsqueda y procesamiento de la información

<b><u>INFORMACIÓN NO ESTRUCTURADA</u></b>	
<b>• Google</b>	
Herramienta:	Meta buscador de información no estructurada
Tipo de Herramienta:	Herramientas de Búsqueda de Información
Interfaz:	Web – On line
Funciones:	Motor de búsqueda de información general y específica. Su alcance permite profundizar en bases especializadas tales como Google Académico, Centros de Noticias, Libros, Mapas, entre otros. Su última actualización plantea la intención de incorporar algoritmos semánticos a su motor de búsqueda.
Página Web:	<a href="http://www.google.com">www.google.com</a>
<b><u>INFORMACIÓN ESTRUCTURADA</u></b>	
<b>• ISI Web of Science</b>	
Herramienta:	Buscador de información científica estructurada.
Interfaz:	Web - On line
Utilidad para el informe:	Herramienta de búsqueda de información general y específica. Su alcance permite profundizar en bases especializadas brindando información de carácter científico y académico.
Disponible en:	<a href="http://tangara.uis.edu.co/">http://tangara.uis.edu.co/</a>
<b>• Scopus</b>	
Herramienta:	Es una herramienta para estudios bibliométricos y evaluación de producción científica.
Interfaz:	Web - On line
Utilidad para el informe:	Búsqueda de información referente al tema tratado para su posterior análisis.
Disponible en:	<a href="http://tangara.uis.edu.co/">http://tangara.uis.edu.co/</a>
<b>• Science Direct</b>	
Herramienta:	Buscador de información científica estructurada.
Interfaz:	Web - On line

Utilidad para el informe:	Búsqueda de información científica que cubre el área tratada.
Disponible en:	<a href="http://tangara.uis.edu.co/">http://tangara.uis.edu.co/</a>
<b>• Proquest</b>	
Herramienta:	Es una herramienta que indiza revista de renombre mundial en las diferentes áreas del conocimiento.
Interfaz:	Web - On line
Utilidad para el informe:	Buscar información sobre el tema tratado.
Disponible en:	<a href="http://tangara.uis.edu.co/">http://tangara.uis.edu.co/</a>
<b><u>HERRAMIENTAS DE APLICACIÓN Y TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN</u></b>	
<b>• Microsoft Excel ®</b>	
Herramienta:	Procesamiento de información.
Interfaz:	Aplicación PC.
Utilidad para el informe:	Procesamiento de una base datos para la organización de los artículos obtenidos.
<b>• VantagePoint</b>	
Herramienta:	Herramienta de minería de texto para el descubrimiento de conocimiento en búsqueda de resultados de patentes y literatura en bases de datos.
Interfaz:	Software PC.
Utilidad para el informe:	Nos ayuda a entender la información de una manera rápida, que le da una mejor perspectiva a la información.

### Anexo C. Protocolo de búsqueda en la ISI Web of Science

<b>Palabras claves utilizadas</b>	
Logistic	Model
Optimization	Disaster
Calamity	Washout
Management	Algorithm

<b>Ecuación</b>	<b>No. de publicaciones</b>
TS= ((logistic AND model* AND optimization AND algorithm) AND (disaster OR calamity OR Washout))	24
TS= ((logistic AND optimization) AND (disaster OR calamity OR Washout))	62
TS= ((logistic AND algorithm) AND (disaster OR calamity OR Washout))	61
TS= ((logistic AND model*) AND (disaster OR calamity))	288
TS= ((logistic AND model*) AND (disaster OR calamity OR Washout))	314
TS= ((logistic AND model* AND optimization) AND (disaster OR calamity OR Washout))	54

## **Anexo D. Resultado del análisis bibliométrico en la base de datos ISI Web of Science**

El resultado del análisis se presentará de acuerdo a los siguientes 3 aspectos:

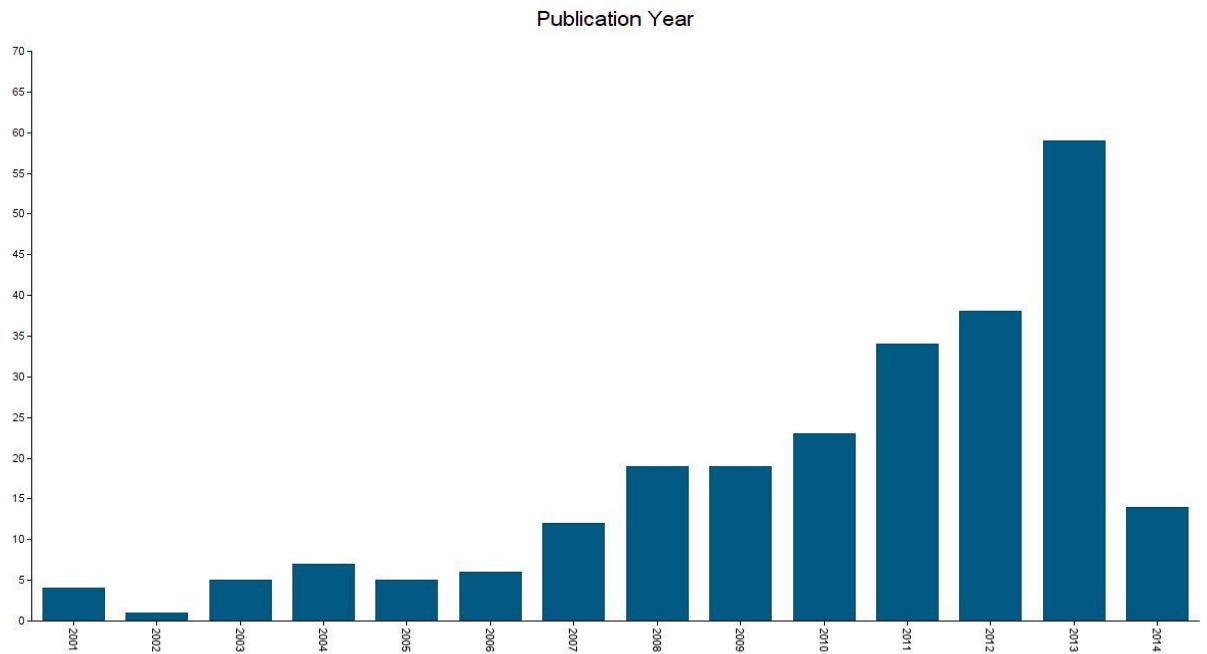
**a. Indicadores de la calidad científica:** este indicador no se tuvo en cuenta ya que es subjetivo y se debe contar con las opiniones de diferentes personas que nos dieran la perspectiva de las ideas relacionadas a la calidad del contenido en los artículos.

**b. Indicadores de la importancia científica:**

- *Publicaciones por años*

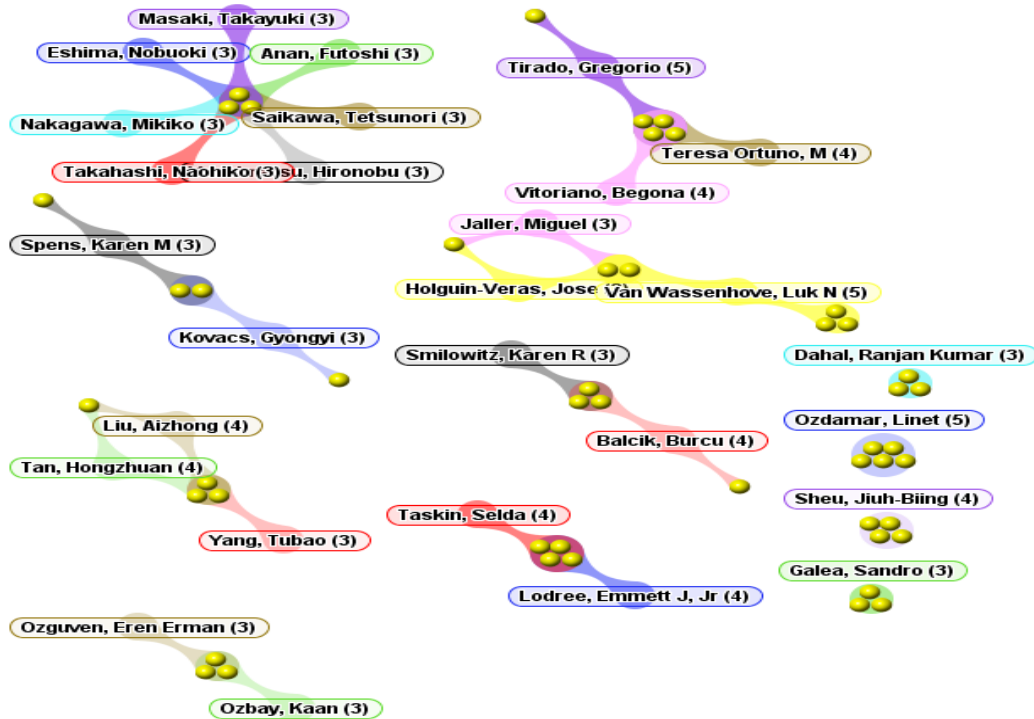
Se puede ver en la figura 1, las investigaciones sobre modelos de optimización en el área de desastre han tenido un crecimiento desde el 2001 hasta el 2013, se nota el compromiso y la obligación de trabajar en estos temas ya que se trata de salvar el mayor número de vidas. También se puede ver que en lo que va corrido del 2014 ya van 14 artículos publicados.

Figura 1. No de artículos publicados por años



- *Productividad de los autores*

Figura 2. Aduna de la productividad de los autores

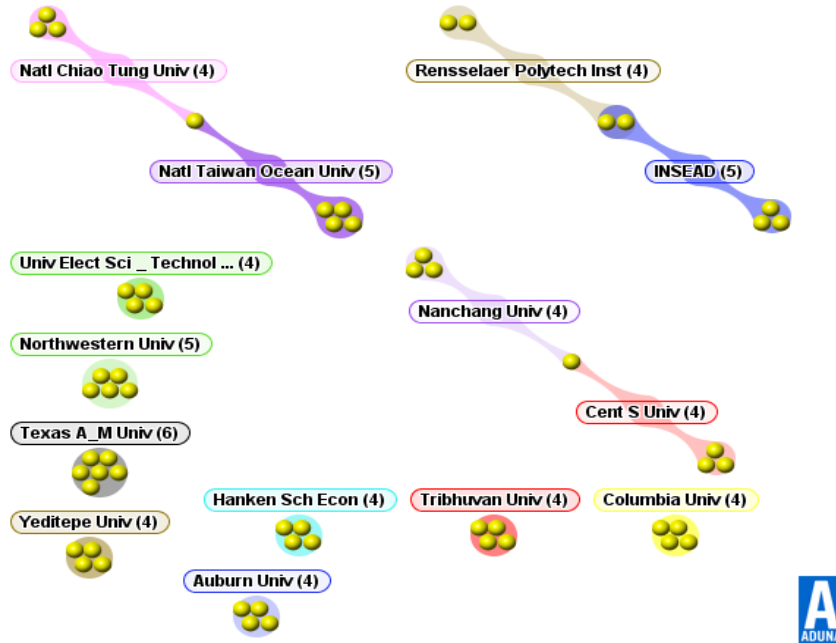


Como se puede ver en la figura 2, los autores investigan más que todo individual, son muy pocos los que trabajan en conjunto y sus artículos son muy reducidos. Es por eso que se encuentran muy pocos artículos relacionados con los modelos de optimización en áreas de desastres. Se puede observar que el autor que más se ha esforzado en trabajar estos temas es Linet Ozdamar.

- *Colaboración en las publicaciones*

Las organizaciones no hacen lo posible para trabajar en conjunto y realizar investigaciones que puedan llevar a cabo soluciones a los diferentes problemas que se presentan en las diferentes partes del mundo donde se corre el riesgo de ser impactado por un desastre. La figura 3 nos afirma lo que habíamos observado en la figura 2, no hay una unión de fuerzas para trabajar, y si no hay unión no hay recursos necesarios que se necesitan para las investigaciones. Se destaca el aporte de la Universidad de Texas A&M como la que más aporte de artículos proporciona a la comunidad científica.

Figura 3. Aduna de la colaboración en las publicaciones

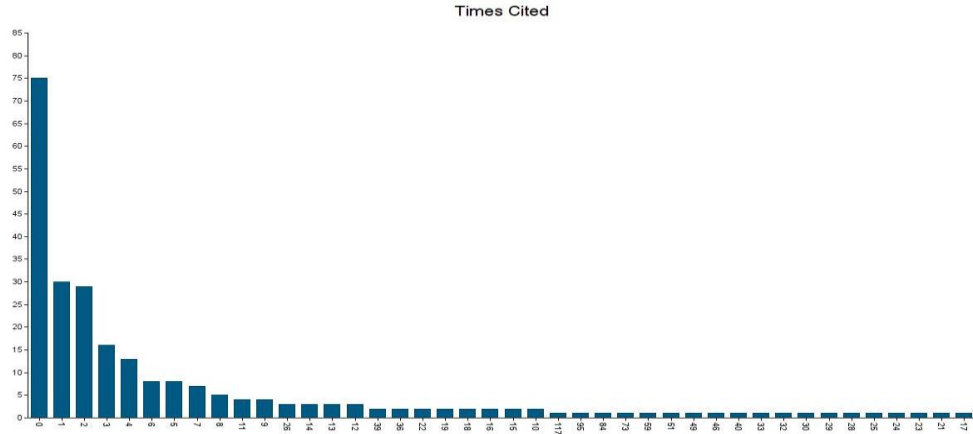


### c. Indicadores de impacto científico

- *Indicador de citas comunes*

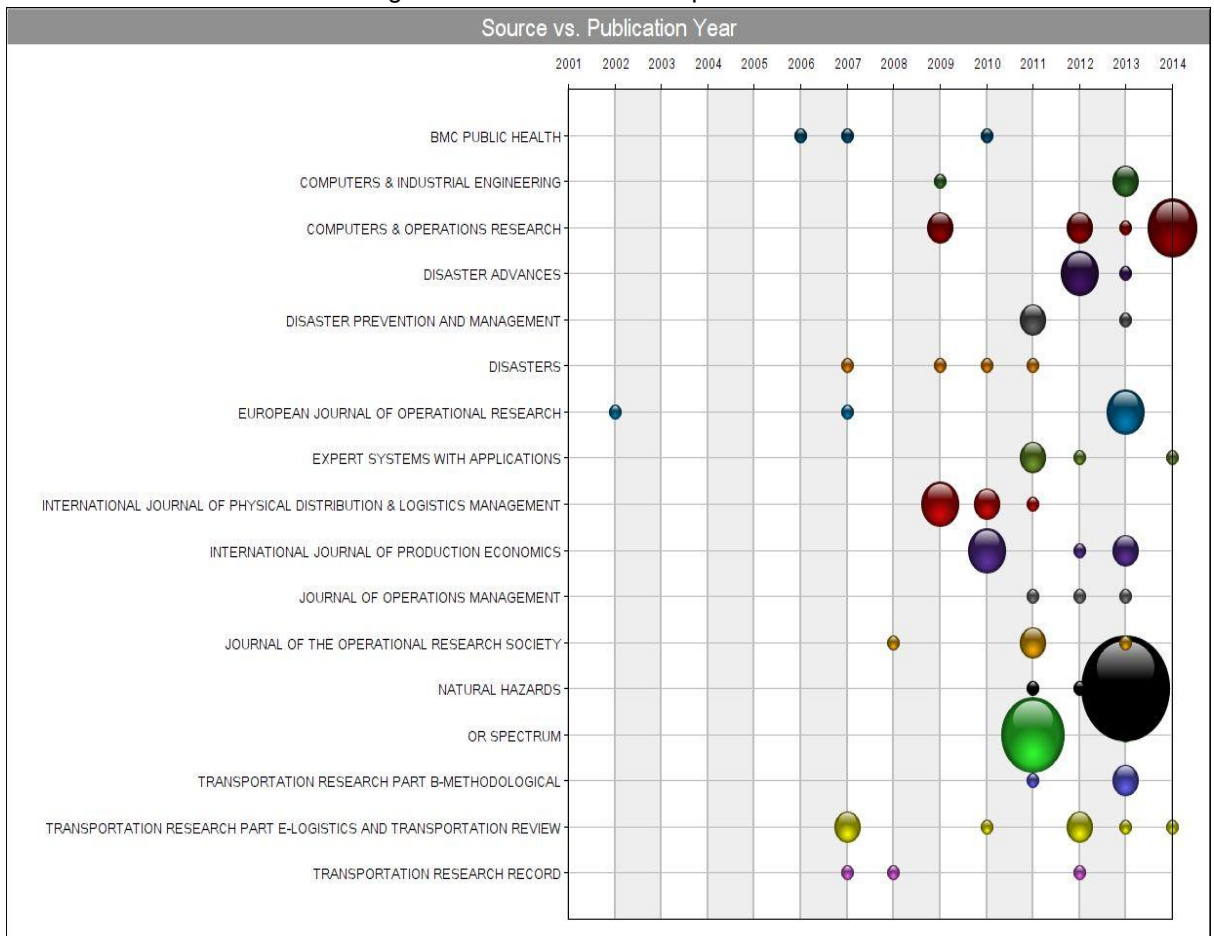
Se puede verificar en la figura 4, que de los 246 artículos que se encontraron, el 31% de estos (75 artículos) nunca han sido citados, puede ser por su corto tiempo de publicación o que a otros investigadores no les parece de mucha calidad. Solo un (1) artículo es citado 117 veces.

Figura 4. No. de veces que han sido citados los artículos



- *Indicador de fuentes*

Figura 5. Fuente vs año de publicación

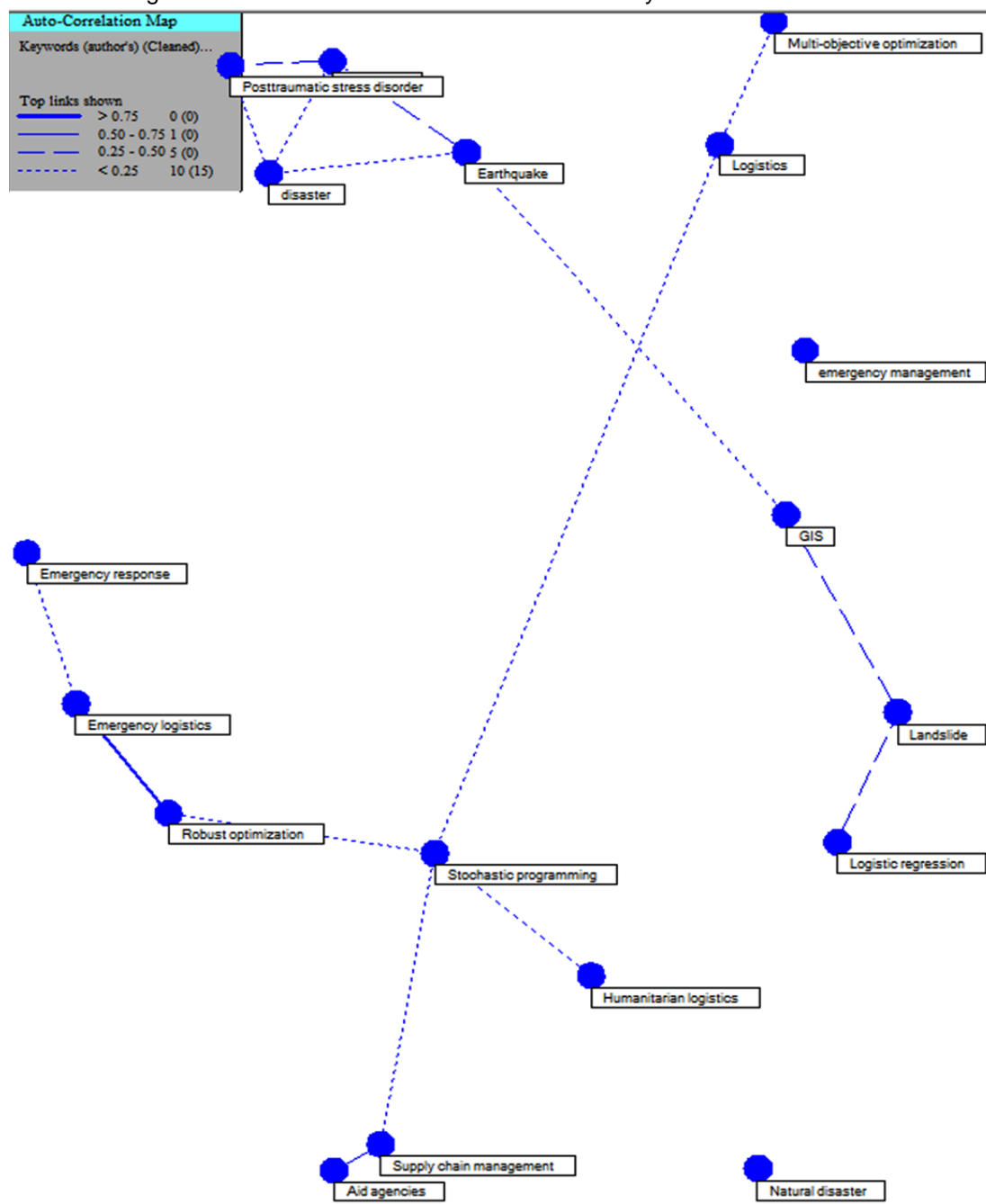


Durante los años transcurrido las fuentes de donde más se han tomado lo artículos son Computers & Operations Research y Natural Hazards.

- *Indicador keywords del autor*

Se puede evidenciar en la figura 6, que las keywords emergency logistics y robust optimization tienen una muy fuerte relación, es decir, que los autores cuando utiliza la palabra clave emergency logistics es porque también se va a referir o utilizar en el mismo contexto robust optimization.

Figura 6. Análisis de autocorrelación entre las keywords de los autores



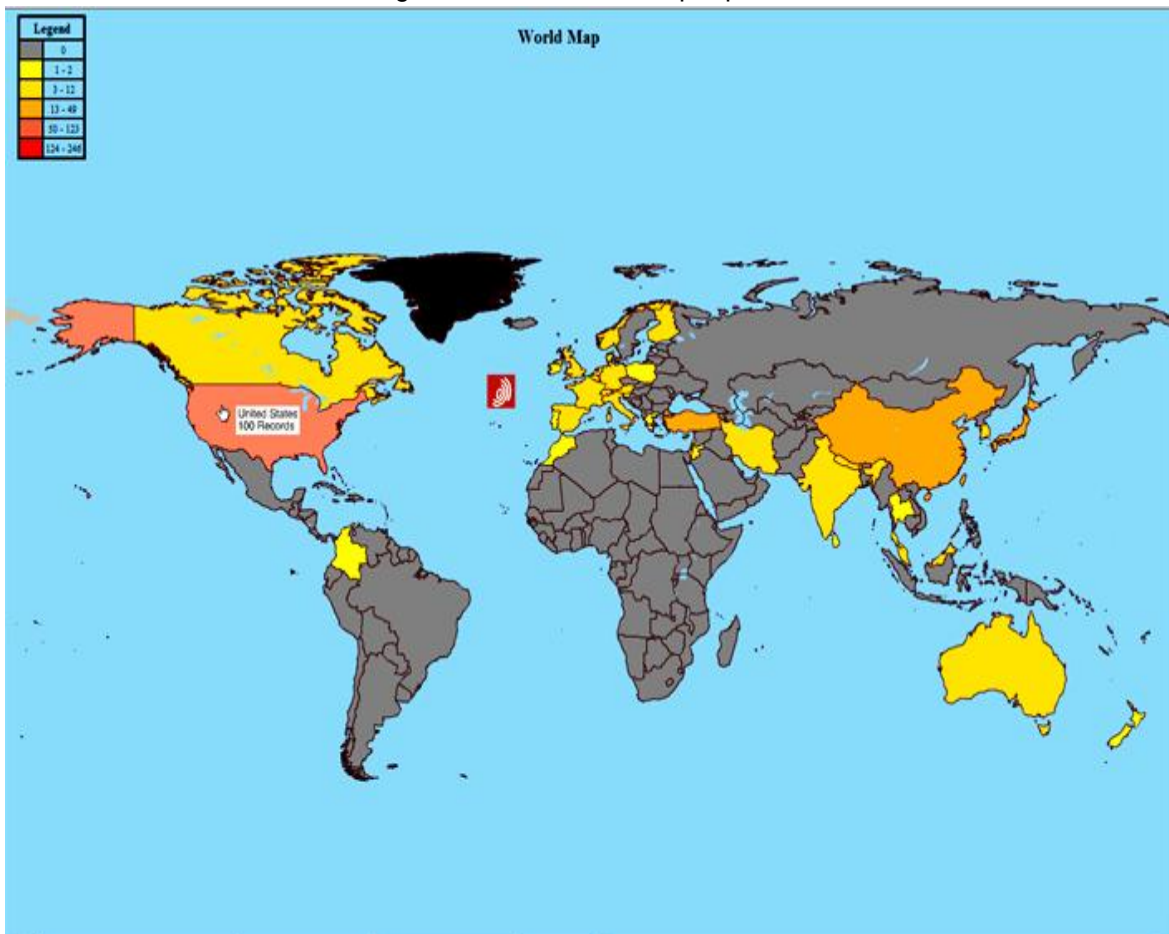
### 1.1.1.1

- *Indicador de artículos por países*

El país que más publicaciones de artículos ha realizado es Estados Unidos con un total del 41% (son 100 artículos). En Colombia se han realizado dos artículos:

“Potential use of focused logistics in disaster relief logistic systems. A conceptual analysis” y “Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management”. Es aquí donde radica la importancia de trabajar en estos temas, siendo Colombia un territorio donde las personas no se encuentran exentas de un desastre, se debe hacer investigaciones para salvar el mayor número de vidas.

Figura 7. No. de artículos por países

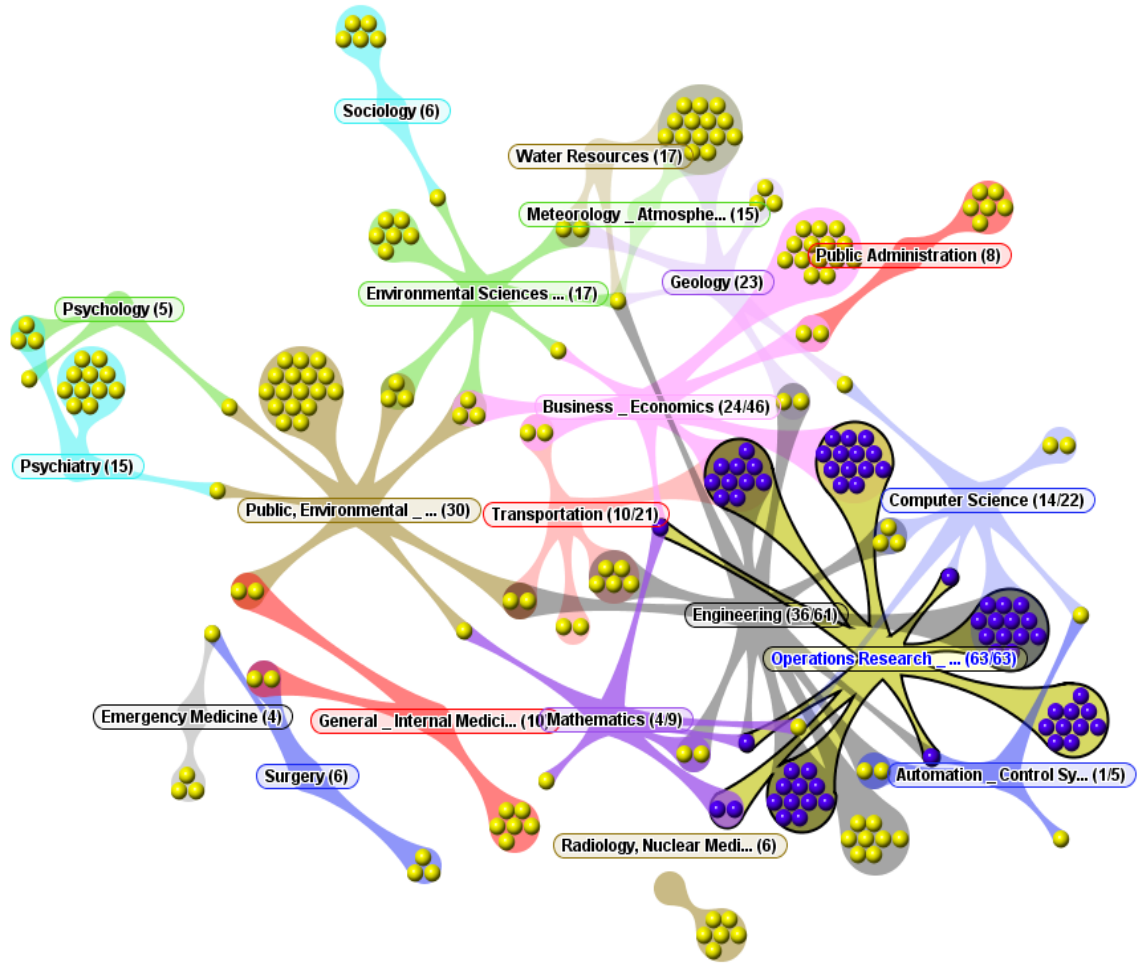


- *Indicador de las áreas del conocimiento*

De la figura 8 se puede observar, la estrecha relación que posee el área de research operations con engineering, automation & control system, transportation

y mathematics. A diferencia de las otras adunas esta es la que más tiene relación entre todos.

Figura 8. Aduna de las áreas del conocimiento



## ESTADO DEL ARTE DE LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA LOGÍSTICA DE ATENCIÓN A DESASTRES

---

### STATE OF THE ART OF OPTIMIZATION MODELS IN DISASTER RELIEF LOGISTICS

ÁNGEL EVELIO SANTANA OÑATE  
*Ingeniero Industrial*  
*Universidad Industrial de Santander*  
*angelsantanao@hotmail.com*  
*Bucaramanga, Colombia*

#### RESUMEN ANALÍTICO

En este artículo se presenta una revisión de la literatura de los modelos de optimización en la logística de atención a desastres, evidenciando un análisis por tipo de problema estratégico y operacional, específicamente predicción de demanda, ubicación de instalaciones, distribución de suministros y personal y transporte, con el propósito de llegar a un claro conocimiento sobre los avances en la temática planteada y las futuras propuestas de investigación. Los resultados arrojan un fuerte crecimiento en los últimos años con el desarrollo de diversos modelos de optimización y soluciones que abarcan métodos heurísticos, meta-heurísticos y simulaciones.

**PALABRAS CLAVES:** Logística de atención a desastres, modelos de optimización, Estado del arte, desastres.

**ABSTRACT:** This article presents a literature review of optimization models in disaster relief logistics, evidencing an analysis by type of strategic and operational problems, specifically demand forecasting, facility location, distribution of supplies and personnel and transport, with the aim of reaching a clear knowledge about advances in the proposed thematic and future research proposals. The results show a strong increase in the last few years with the development of various optimization models and solutions that span heuristics and meta-heuristics methods and simulations.

**KEY WORDS:** Disaster relief logistics, optimization models, state of the art, disasters.

#### INTRODUCCIÓN

Los desastres son eventos que cobran gran importancia en la sociedad al ser poco predecibles, pues no se conoce la fecha de ocurrencia ni la magnitud con la que golpeará cierto escenario o lugar, causando pérdidas tanto humanas como de infraestructura.

Es en este ámbito donde la investigación se convierte en la clave para disminuir las distintas

consecuencias de un desastre natural. La logística de atención a desastres se encarga entonces de investigar en la planificación, implementación y control efectivo y eficiente de los flujos de productos, materiales e información desde los donadores hasta las personas afectadas con el fin de atender sus necesidades de supervivencia.

La disciplina de investigación de operaciones cuenta con herramientas analíticas como son los

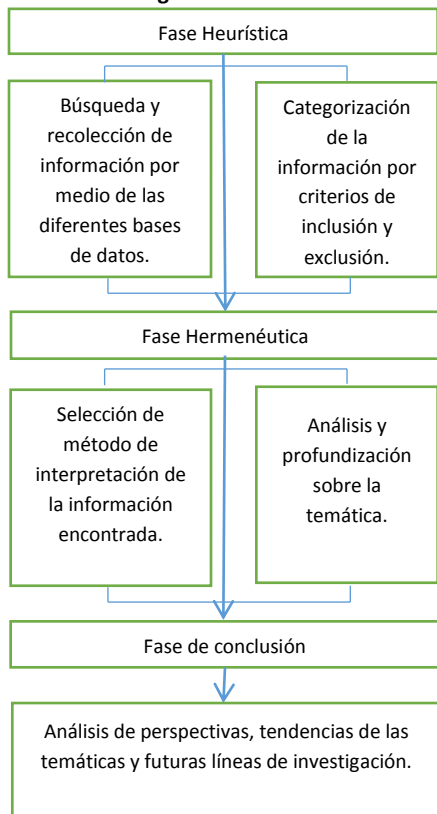
modelos de optimización para el apoyo de tomas de decisiones inherentes a la logística de atención a desastres. Es por esto que en este artículo se realiza un barrido de los principales adelantos en los modelos de optimización en la logística de atención a desastres.

El artículo se estructura en 3 partes fundamentales: desarrollo metodológico, en la que se da a conocer las etapas seguidas en la investigación; resultados, donde se describe los principales hallazgos en modelos de optimización de atención a desastres y conclusiones, donde se evidencian los aspectos más importantes identificados en el estudio y las futuras líneas de investigación.

## 1. DESARROLLO METODOLÓGICO

Para realizar una revisión y análisis de los modelos de optimización en la logística de atención a desastres, se desarrolló una metodología estructurada en tres fases fundamentales (Ver figura 1).

**Figura 1. Fases para la elaboración del Estado del Arte en la Logística de atención a desastres.**



## 2. ESTADO DEL ARTE

Para estructurar y elaborar el estado del arte se tuvo en cuenta la clasificación por problema logístico, es decir, se analizaron los artículos que resolvían problemas de predicción de demanda, instalación, distribución y transporte.

### 2.1. PROBLEMAS ESTRATÉGICOS

#### 2.1.1 Predicción de demanda

Cuando se habla de demanda, puede hacer referencia a distintos aspectos como demanda de víctimas, demanda de recursos de emergencia, entre otros. La predicción de dicha demanda en situaciones de desastres ha sido objeto de estudio de distintos autores, tal es el caso de **Sheu (2010)**, presenta un modelo de gestión de demandas de socorro para responder dinámicamente a las demandas de ayuda de personas afectadas bajo condiciones de emergencia de un desastre natural a gran escala. El autor propone un modelo el cual implica la predicción de demanda de socorro en tiempo real, agrupación de áreas afectadas y determinación de la demanda de socorro urgente; para ello utiliza como metodología una fusión de datos de múltiples fuentes, agrupación difusa y TOPSIS, respectivamente.

Desde otro enfoque, los autores **Rottkemper, et al (2011)** observaron que en muchas ocasiones, durante una acción humanitaria en curso ocurría un cambio repentino de demanda u oferta de artículos de socorro ocasionado por otra situación de desastre, es decir, ocurre superposiciones de situaciones de desastre; para ello desarrollaron un modelo de investigación de operaciones para la reubicación de inventario cuando haya superposición de desastres en las operaciones humanitarias y cuyo objetivo sea la disminución de la demanda insatisfecha manteniendo los costos operativos bajo control. El modelo propuesto por los autores mencionados anteriormente se basa en los costos

de multas por demandas insatisfechas e incorpora las incertidumbres del futuro y lo resuelven bajo el enfoque horizonte rodante.

Para el año 2012, **Liu, Hu y Li (2012)** realizan una investigación para la asignación óptima de los recursos tomando como premisa la predicción de la demanda de los recursos de emergencia. Para dicha predicción, utiliza inteligencia artificial llamada técnica de razonamiento basado en casos (CBR), que es también un método basado en el análisis de riesgos. Este método de predicción no sólo puede proporcionar una base para la reserva de recursos de emergencia y la asignación en futuro, sino que también proporciona un método y un modelo de apoyo en la toma de decisiones del sistema de asignación de recursos de emergencia que se construirá en futuro.

### 2.1.2 Ubicación de instalaciones

Según **Haghani (1996)**, La importancia de los problemas de ubicación de instalaciones radica en dos factores: el impacto que genera en los costos de operación y la respuesta rápida e inmediata a las zonas afectadas. Aunque en OR se le ha dado un tratamiento muy amplio a las investigaciones sobre problemas de localización de servicios, estos problemas no se les han prestado mucha atención en el campo de la logística humanitaria. Unos de los principales promotores en este campo fueron **Church y ReVelle (1974)**, que desarrollaron un modelo que maximiza las personas atendidas en una zona de desastre dentro de una distancia determinada con unas instalaciones determinadas y la limitación presupuestaria, es conocido con el nombre de modelo de localización de cobertura máxima (MCLP). El MCLP es solucionado por el método de programación lineal y métodos heurísticos. Siguiendo en la misma línea, **Balcik y Beamon (2008)** desarrollan un modelo de localización de instalaciones que es una variante del modelo MCLP, donde integra decisiones de ubicación de instalaciones e inventarios. El modelo matemático determina el número de centros de distribución con su respectiva

ubicación en la zona devastada, además determina el inventario de suministros de socorro que se deben tener en cada instalación. El método de solución que implementaron fue por medio de un programa que utilizaron para la simulación el cual se llama GAMS/Cplex, se trata de experimentos computacionales para ver cómo funciona en un problema real.

**Horner y Downs (2010)** analizan la situación donde las personas que no pueden evacuar la zona donde ocurre el desastre, ya sea que no quieren o que no lograron evacuar, requieren la asistencia de ayuda humanitaria. La finalidad de este trabajo es aportar a la mejora de las redes logísticas para el apoyo a las actividades de socorro en un eventual desastre de huracanes. Es por eso que desarrollan un modelo que toma como referencia los centros de distribución que están determinados y los analiza, de tal forma que determina la reubicación del centro de acopio si es necesario y determina estaciones de distribución intermedio entre los centros de distribución principales y las personas afectadas.

**Turğüt et al (2011)** concentra su investigación en el desarrollo de un Sistema de soporte a decisiones (DSS) para la selección de ubicaciones de las centrales logísticas en un eventual desastre. La metodología de solución para este sistema se realizó por medio de un Proceso Jerárquico Analítico (AHP) y un fuzzy AHP, que permite a los tomadores de decisión estructurar problemas complejos en una simple forma jerárquica que sea entendible para su respectiva evaluación. Se utilizó Microsoft Excel VBA para calcular los resultados de las ubicaciones de las instalaciones arrojados por AHP y fuzzy AHP, y luego analizar cual mostraba la mejor solución de ubicación de los centros de distribución.

Siguiendo en la línea de determinar la ubicación de los centros de distribución y su respectivo inventario que abra en cada uno, **Duran, Gutiérrez y Keskinocak (2011)** en colaboración con CARE International realizan una investigación con el fin de mejorar el tiempo de respuesta y reducir los costos del envío de mercancía. Para tal

fin desarrollan un modelo, que a partir de una inversión inicial en términos de números de instalaciones a abrir e inventario, que estima la frecuencia, la ubicación y magnitud de la demanda potencial a partir de datos históricos en las zonas que pueden ocurrir un desastre. Para encontrar la configuración óptima, se utilizó un modelo de localización de inventario MIP (Programación Entera-Mixta) para minimizar el tiempo medio de respuesta en todos los casos de demanda.

Como complemento de este estudio, **Bozkurt y Duran (2012)** proponen una metodología de estudio que consiste en analizar los efectos que causan los desastres en la red de pre-posicionamiento que se consideraron en el caso de CARE International. Se identifican las tendencias de los desastres en las últimas décadas, para eso se agrupan los datos de desastres en periodos de dos semanas con el objetivo de crear instancias de la demanda. Luego se utiliza el modelo propuesto anteriormente para la organización CARE internacional, para mirar que tanto cambia la ubicación de los almacenes encontrados con el modelo de Duran, Gutierrez y Keskinocak (2011). Como resultado encuentra que mientras dos almacenes permanecen estables el tercero cambia en relación a cada instancia de la demanda considerada en cada periodo.

En otra cooperación entre organizaciones, la Municipalidad Metropolitana de Estambul (IMM) en colaboración con la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) desarrollaron un plan de prevención y mitigación de desastres. Con base en este plan **Görmez, Köksalan y Salman (2011)**, identificaron posibles ubicaciones potenciales entre un conjunto de opciones que se habían obtenido en el estudio realizado por IMM y JICA, mediante el análisis de varios modelos planteados en la investigación. Para los modelos se emplea el método de solución  $\epsilon$ -restricción con una función objetivo aumentado para obtener la solución eficiente.

**Bozorgi-Amiri et al (2012)** son los primeros en trabajar simultáneamente con la incertidumbre de la demanda, suministro y el costo de adquisición y de transporte en problema de planificación de desastres. Su modelo es la integración de un modelo de optimización robusta y modelo de optimización estocástico, en cual se utiliza un método matemático para linealizar el modelo. Se diseñó un algoritmo meta-heurístico para resolver el modelo propuesto, este algoritmo es una mejora del algoritmo de optimización de enjambre de partículas (PSO). La función principal de la investigación es determinar el número óptimo, ubicación y tamaño y cantidad de inventario que tendrá los DC, además el modelo determina cantidad de transporte que serán utilizados para el suministro de los productos. Siguiendo con el mismo enfoque de trabajar con la incertidumbre de la demanda y costo de adquisición y de transporte simultáneamente, **Bozorgi-Amiri, Jabalameli y Mirzapour (2013)** agregan una nueva variable de incertidumbre, el suministro a las zonas afectadas. Los autores consideran una cadena de suministro de tres niveles. En el primero están los proveedores, en el segundo se encuentran los centros de distribución de alivio (RDC), y por último, las zonas afectadas por el desastre. Con base a esta red de alivio, se propone un modelo de programación estocástica robusta multiobjetivo, en que el objetivo es minimizar el costo total maximizando los niveles de satisfacción de las zonas afectadas por medio de la mejor ubicación de los RDC teniendo en cuenta la zona del desastre y los proveedores donde también se tiene en cuenta la seguridad (robo o destrucción del área por el desastre) de los nodos en donde se ubicaran los RDC. Para la solución del modelo se tienen dos funciones objetivo, que por medio de la aplicación del método Lp-metrics se obtiene una única función objetivo, que se resuelve como un problema de programación lineal.

Con el objetivo de minimizar el costo de apertura de los DC, costo de enrutamiento de vehículos y la demanda no cubierta, **Tricoire, Graf y Gutjahr**

(2012) proponen un modelo de viaje cubierto bi-objetivo con demanda estocástica. En el modelo se tiene en cuenta el hecho de que un porcentaje de personas están dispuestas a recorrer una distancia considerable para ir al DC más cercano por los suministros. Para la solución del modelo se combina un enfoque basado en escenarios con un método  $\epsilon$  restricciones basado en branch-and-cut, aplicado a una versión de muestra media del problema obtenido de una muestra aleatoria fija de vectores de demanda. En el mismo propósito de minimizar los costos relacionados con apertura de los DC (también se incluye costo de mantenimiento de inventario y costo de escasez), **Döyen, Aras y Barbarosoğlu (2012)** desarrollan un modelo que ayuda a construir un plan óptimo para desastre, en el cual se determina la ubicación de los centros de rescate regional y los centros de rescate local y sus respectiva cantidad de elementos de ayuda. El enfoque de solución implementado para el modelo fue el método de relajación de Lagrangean, el cual permite descomponer el problema en dos subproblemas donde el segundo subproblema se descompone con respecto a los puntos de demanda y artículos de socorro.

Desde otro enfoque, donde se integre el problema de optimizar la ubicación de los DC y rutas de vehículos para la distribución de los artículos, **Xinhua (2012)** desarrolla un modelo en que la función objetivo es minimizar el costo de construcción de los almacenes y el tiempo de respuesta. Como solución del modelo se implementa el método teoría de colas para crear un sistema de red de colas abierto formado por 4 sistemas de colas  $M/M/ck$  en serie en condiciones de incertidumbre. Para la solución del sistema de red de colas abierto se utiliza un algoritmo genético y se determina los centros logísticos, los centros de distribución y las rutas de distribución.

**Zhang, Dong y Chen (2013)** realizan una investigación donde su objetivo es minimizar el número de instalaciones para dar respuestas rápidas a grandes números de demanda de rescate bajo un entorno incierto. Para ello,

proponen un modelo de localización multi-objetivo para la logística de atención a desastres. Se propone un algoritmo inteligente basado en SDS (Stochastic Diffusion Search), como método de solución. La principal ventaja del algoritmo es que utiliza un tiempo de computación relativamente corto y nos presenta un conjunto de soluciones Pareto con el cual se podrá tomar las decisiones de número y ubicación de lo DC en base a diferentes escenarios.

Una de las principales instalaciones que tienen mucha importancia en logística humanitaria son los centros de distribución de alivio a urgencias (URDC), porque se integran perfectamente en la red y coordinan la respuesta logística de emergencia entrante y saliente da la demanda de ayuda de las zonas afectadas. **Lu y Sheu (2013)** desarrollan un marco heurístico para obtener las soluciones óptimas en relación a la ubicación de los URDC de acuerdo a un determinado número de sitios. La investigación propone un modelo robusto vertex p-center (RVPC), el cual tiene como objetivo minimizar la desviación del peor caso en el tiempo de viaje máximo entre URDC y las zonas afectadas de la solución óptima. Para identificar el peor escenario, la investigación propone un teorema que facilita la identificación de cierto escenario, lo que reduce la complejidad de la solución. Como método de solución se plantea un recocido simulado basado en búsquedas locales. Como complemento de esta investigación, **Lu (2013)** propone una generalización del modelo ponderado vertex p-center (WVPC) para localizar p instalaciones en un conjunto de sitios predeterminados.

Desde otro enfoque, **Abu Nahleh, Kumar y Daver (2013)** proponen fusionar el concepto de just-in-time y el sistema de campaña en la cadena de suministro de emergencia. El modelo de localización desarrollado en este trabajo tiene como motivo organizar el flujo de suministro desde el almacén central al almacén continental, que este a su vez suministrara al almacén regional, el cual abastecerá a las zonas afectadas. Para el desarrollo del modelo se recopilan los datos de ubicación de cada país y los datos los

desastres que han ocurrido 1900 al 2011. El objetivo principal de la investigación es mejorar el tiempo de respuesta y minimizar el de personas que padecen el desastre.

**Liu y Guo (2014)** proponen un modelo de optimización estocástica para logística de atención a desastre después de la ocurrencia de un desastre para ayudar a la planificación estratégica de los centros temporales de ayuda. Los objetivos del modelo es minimizar el valor esperado del costo total y maximizar la tasa de llenado mínima esperada de las áreas afectadas. El modelo es un problema de programación no lineal mixed-integer estocástica multiobjetivo, el cual con ayuda de un enfoque de solución lexicográfico convierte el modelo de programación estocástica bi-objetivo en una secuencia de modelos de programación estocásticas simples (un solo objetivo). Para la solución de estos modelos se desarrolló un algoritmo heurístico basado en la descomposición de escenarios para resolver problemas a gran escala en la vida real.

**Rezaei-Malek y Tavakkoli-Moghaddam (2014)** presentan un modelo de optimización robusta entera mixta bi-objetivo, en el cual buscan ayudar en la planificación de operación en la logística de alivio humanitaria. Como primer objetivo es minimizar el tiempo medio de respuesta y el segundo minimizar el costo total de operación, donde se determina las políticas óptimas (ubicación óptima de los almacenes y las cantidades de los artículos de primera necesidad) para la planificación estratégica de ayuda humanitaria. Para la solución del modelo se utilizó el método RLTP (Reservation Level Tchebycheff Procedure).

**Abounacer, Reik y Renaud (2014)** proponen un estudio para el problema de localización y transporte de emergencia multiobjetivo. El modelo considera tres funciones objetivos. La primera, minimizar la duración del transporte de los productos necesarios (ida y vuelta), la segunda, minimizar el número de personas necesarias para abrir cada centro de distribución

(de acuerdo a un conjunto de sitios candidatos), y por último, minimizar la demanda no cubierta en las áreas afectadas. Se propone el método  $\epsilon$ -constraint para general el frente de Pareto exacto, con el cual se realizan experimentos computacionales que arrojan buenas soluciones del problema.

Siguiendo con el mismo enfoque de solución, **Rath y Gutjahr (2014)** proponen un modelo de programación multiobjetivo. Como solución se presenta el método  $\epsilon$ -constraint para determinar el frente de Pareto. Para resolver el problema de optimización restringido a un objetivo se método de solución exacto llamado técnica meta-heurística, la cual se construye bajo una formulación de programación lineal entera mixta con una piscina de restricciones generadas heurísticamente.

**Barzinpour y Esmaeili (2014)** también proponen un modelo de programación lineal entera mixta multiobjetivo para la planificación de las estrategias que ayudaran a responder efectivamente a un desastre. El modelo se compone de dos eslabones. El primer eslabón consiste en maximizar el área de cobertura de la demanda. En el segundo eslabón están los costos totales de logística, en el cual están los costos de apertura de las instalaciones y el coste de transporte de los suministros a los puntos de demanda. Como método de solución se implementa el software RADIUS para estimar los daños causados de un terremoto hipotético con el fin de categorizar cada punto de demanda dependiendo de la gravedad y magnitud. Después se utiliza un enfoque de Goal Programming para priorizar los objetivos.

Desde otro punto de vista, **Rennemo et al (2014)** proponen un modelo de programación estocástica entera mixta de tres etapas para la planificación de respuesta a un eventual desastre. El modelo considera una red de distribución conformada por un Almacén Central Internacional (ICD) que abastece a unos Centros de Distribución locales (LDC) que a su vez cubren las necesidades de los Puntos de Distribución

(DOP). En la primera etapa se modela las decisiones tomadas en relación a la cantidad de artículos necesarios y la ubicación de cada LDC. Para las etapas siguientes se tiene como parámetros incierto el estado de la carretera, por ende en la segunda etapa del modelo son embalados los vehículos con los suministros desde el ICD al LDC para luego ser distribuidos a los DOP. Para la última etapa, si la ruta planificada en la etapa dos puede ser ejecutada, se ejecuta la distribución de los productos de acuerdo a las decisiones tomadas en esa etapa; sino puede seguir su ruta prevista (debido a daños en la infraestructura vial) se debe buscar una ruta modificada debido a que en la etapa dos no se conocía con certeza el estado de la vías. Para la solución del modelo de programación estocástica se utiliza el software comercial Xpress-IVE Optimization Suite.

Proponiendo otro enfoque de solución, **Barzinpour et al (2014)** proponen un modelo de programación multiobjetivo para las actividades de respuesta de la logística de atención a desastre. El modelo tiene como objetivo minimizar los costes totales y maximizar la tasa de satisfacción de la demanda. El modelo determina la ubicación de los centros de distribución de ayuda y la asignación de las zonas afectadas a los centros de distribución. Un algoritmo genético se ha desarrollado con el fin de resolver el modelo de optimización.

## 2.2 PROBLEMAS OPERACIONALES

### 2.2.1 Distribución

La distribución de suministros es una de las partes críticas en las actividades que se deben llevar en la respuesta ante un desastre natural. Es por eso que los modelos en la logística humanitaria son claves para solucionar los problemas de control de inventario durante y post-desastre. **Beamon y Kotleba (2006 a)** se dedicaron a investigar sobre el manejo de la cadena de suministro humanitaria y desarrollaron un modelo de control de inventario estocástico, su objetivo es el de determinar las cantidades

óptimas de orden y punto de reorden para la respuesta a emergencia a largo plazo. Para complementar su trabajo, **Beamon y Kotleba (2006 b)** proponen dos modelos para encontrar la cantidad óptima de orden y punto de reorden para responder a una emergencia humanitaria compleja. Los autores desarrollaron un modelo heurístico y un modelo ingenuo basado en la comodidad y facilidad de implementación. Como método de solución se desarrolló un modelo de simulación de la ayuda humanitaria. En el mismo año, **Prékopa (2006)** desarrolla el modelo de control de inventario húngaro, el cual se utiliza para examinar y solucionar el problema de los altos niveles de inventarios que experimentaban las empresas en Hungría.

Siguiendo en la misma línea de encontrar un modelo que determine el stock de seguridad para que la cadena de suministro no presente obstaculización, pero en el área de logística humanitaria, **Ozbay y Ozguven (2007)** desarrollan un modelo de control de inventario estocástico para la respuesta a desastres. Su objetivo es determinar las mínimas existencias de seguridad de los suministros para que su consumo sea sin interrupciones para una probabilidad dada, es decir, las personas afectadas por el siniestro deben tener suficientes suministros para abastecer sus necesidades vitales durante todo el periodo de tiempo sin interrupciones. Para resolver el modelo proponen un procedimiento de solución para el modelo basado en el concepto de p-nivel puntos eficientes, realizan pruebas de sensibilidad para garantizar el funcionamiento del modelo.

La tendencia en este año era el de tratar de descomponer el problema raíz en sub-problemas mutuamente relacionados. Un claro ejemplo de estos trabajos fue **Sheu (2007)** presenta un nuevo enfoque en la distribución logística de emergencia para responder en el menor tiempo las demandas en las zonas afectadas en el periodo de salvamento (se refiere a los tres primeros días desde el siniestro). Este nuevo enfoque se soluciona con las metodologías de agrupamiento difuso y modelos de programación

dinámica multi-objetivo, en donde primero que todo se prevé la demanda con su respectiva prioridad de distribución. Luego, una estrategia de suministro de socorro a la demanda de dos etapas es llevada a cabo, basados en la solución óptima obtenida a partir de los suministros de socorro y los modelos de distribución propuestos.

Continuando con la división de un problema en dos sub-problemas, **Yi y Özdamar (2007)** proponen un modelo de distribución-localización integrado para coordinar el apoyo logístico y las operaciones de evacuación ante un desastre. El modelo propuesto consiste en llevar los suministros desde los centros de abastecimiento hasta los centros de distribución temporales y le transporte de los heridos desde las zonas afectadas hasta las unidades de emergencia. Para la solución del problema se utiliza un algoritmo llamado "Ruta", el cual con la solución óptima genera un calendario de recogida y entrega.

**Chang, Tseng y Chen (2007)** Desarrollan una herramienta para facilitar la toma de decisiones en las actividades de planificación en la logística de emergencia en desastres de inundaciones. La herramienta consiste en dos modelos, el primero se encarga de minimizar la distancia de envío esperada donde a cada proveedor se le asigna una zonas de desastres específico, con base al modelo anterior se desarrolla un segundo modelo de programación estocástica de dos etapas para determinar los puntos de rescate locales, la cantidad de equipo de rescate en los depósitos y los planes de transporte. Como procedimiento de solución se propuso un esquema de aproximación media de muestras y la aplicación de una técnica de sistema de información geográfica (GIS).

Desde otro enfoque, **Balcik, Beamon y Smilowitz (2008)** proponen modelo de programación de dos fases para determinar la asignación de suministros y calendario de entrega de cada uno de los vehículos que conforman la red de transporte de apoyo a emergencias. El modelo tiene como objetivo maximizar el beneficio de la demanda en las zonas afectadas y minimizar los costos de transporte y los costos de multa. Como

método de solución para la primera fase se propone una heurística TSP (Traveling Salesperson Problem) para encontrar la ruta con el menor tiempo de viaje hasta las zonas afectada; por último, se implementa un ITS (Intelligent Transportation Systems) para gestionar la flota de vehículos de emergencia que hace parte de la segunda fase.

**Lin et al (2009)** proponen un modelo de programación entera multi-objetivo para la optimización de los costos asociados a la entrega de suministros críticos en operaciones de ayuda en desastres. El objetivo del modelo se compone de tres propósitos, minimizar la demanda insatisfecha (los autores le dan prioridad a los suministros críticos, por ejemplo, el agua debe entregarse en una ventana de tiempo de 48-72 horas sino, tendrá una penalización), minimizar el tiempo total de viaje de todos los vehículos (puede ser barco, autos, helicópteros, etc.) y minimizar la diferencia del índice de satisfacción entre los grupos afectados. El modelo propone dos enfoques de solución. El primero se encarga de la generación de viajes de los vehículos por medio de un algoritmo genético, Tour Generator. Luego, se propone el VAH (Vehicle Assignment heuristic) el cual está diseñado para asignar apropiadamente cada vehículo para servir a los grupos afectados.

**Chunguang et al (2010)** desarrolla un modelo de optimización no lineal multi-objetivo para la distribución de categorías de artículos de ayuda humanitaria a las zonas de desastres. La función principal del modelo es minimizar los costos totales asociados a la distribución de los artículos de emergencia. Como metodología de implementación, primero se implementa el método de factor de penalización para transformar la función objetivo y sea más fácil resolver el problema. Como segundo paso, los autores desarrollan un algoritmo genético que toma los datos anteriores y procede a resolver el problema. El resultado de la metodología establece que para la solución de algunos problemas de optimización no lineales complejos es el adecuado. Igualmente, considerando el

mismo problema multi-objetivo, **Hu (2010)** desarrolla un modelo de optimización multi-objetivo en un escenario de la logística de emergencia con multi-categoría de suministro, multi-puntos de almacenamiento y el problema de costo de transporte, además tomando la oferta y la demanda en constante variación en el transcurso del tiempo. El objetivo del modelo es minimizar la escasez de recurso y minimizar el costo de transporte asociado a las actividades operativas de distribución. Como método de solución se propone el motor de optimización, Dash Xpress.

**Salmerón y Apte (2010)** proponen un modelo de programación estocástica de dos fases para hacer frente a un desastre. El modelo de optimización es multi-objetivo donde se busca minimizar las bajas esperadas y minimizar la demanda insatisfecha, por lo que el modelo incluye las decisiones de la primera fase, tales como, almacenes, instalaciones médicas y refugios, y las decisiones de la segunda fase que se refiere a las políticas de asignación de los recursos y las decisiones de contratación de transporte teniendo en cuenta los puntos de áreas afectadas y la cantidad de demanda a ser transportada. Para la solución del modelo se implementa GAMS (general algebraic modeling language) para el lenguaje del modelo y Cplex como el motor de solución. Utilizando el mismo enfoque de solución, **Adivar y Mert (2010)** desarrollan un modelo de programación lineal entera mixta paramétrica que puede manejar la información incierta y aumentar la credibilidad de los organismos internacionales. El modelo multi-objetivo se propone para optimizar la distribución de los artículos desde los países donantes al país afectado. El modelo tiene como función maximizar la cobertura de la demanda requerida en los puntos de desastre dentro del tiempo requerido y minimizar el costo total de alivio a los países de la OTAN.

**Nagurney, Yu y Qiang (2011)** desarrollan un modelo integrado para diseñar redes de gestión de suministros vitales que son utilizados para la

respuesta a desastres. El modelo tiene como objetivo principal la minimización del costo total de las actividades operacionales referentes a la ayuda humanitaria, y como un objetivo secundario es el de minimizar la demanda insatisfecha. Como método de solución se implementa el método de Euler para resolver las ecuaciones de desigualdad variacional.

**Lin et al (2011)** proponen un modelo de programación multi-objetivo para la distribución de envíos prioritarios en las actividades de socorro donde se considera multi-artículos, multi-períodos, multi-vehículos, ventanas de tiempo y un escenario de entrega dividida. El modelo implementa el método de suma ponderada para transformar el problema multi-objetivo en un problema de un solo objetivo, que es minimizar la demanda insatisfecha. Se propone dos métodos de solución para ser comparados, el primer enfoque está basado en un algoritmo genético y el segundo está basado en DAH (Decomposition and Assignment Heuristic). Se utiliza CPLEX como motor de solución, arrojando como resultado de la comparación, que el enfoque basado en un algoritmo genético puede resolver situaciones factibles de manera eficaz generando buenas soluciones; mientras que el enfoque basado en DAH presenta una reducción en la calidad de los resultados pero determina las soluciones en un menor tiempo de cálculo.

**Ozguven y Ozbay (2012)** realizan una investigación en la literatura de los problemas referentes a la determinación del stock de seguridad para las operaciones de logística de atención a desastres. Se desarrolla un modelo de control de inventario humanitaria estocástico que tiene como objetivo minimizar costo total de operación de distribución. El algoritmo Prékopa-Vizvari-Badics se propone como método de solución para resolver este problema no lineal.

Por otro lado, **Afshar y Haghani (2012)** desarrollan un modelo de programación integrado para controlar el flujo de los productos de alivio desde los almacenes por medio de la cadena de suministro hasta que sean entregados

a sus destinos. Además de controlar el flujo de suministro, el modelo determina la localización óptima de las instalaciones temporales que ayuden a la búsqueda de la solución. La función primordial del modelo es minimizar la cantidad de demanda insatisfecha. Para resolver el modelo se utiliza el solucionador comercial CPLEX.

Sin embargo cuando se tiene escasez de suministro, se deben utilizar de manera eficiente estos artículos para proporcionar la mejor respuesta ante un desastre. Debido a este problema, **Najafi, Eshghi y Dullaert (2013)** proponen un modelo de programación estocástico multi-periodo donde también se considera un escenario multi-objetivo, multi-modo y multi-mercancía. El modelo busca minimizar el total de personas no atendidas, minimizar la demanda insatisfecha y minimizar el total de vehículos utilizados en la respuesta. Como enfoque de solución se propone una modificación del método de Bertsimas y Sim para obtener la contraparte lineal robusta del modelo estocástico. Para solucionar la contraparte lineal robusta se sugirió la metodología SMSRM (Solution Methodology of the Structured Robust Model), el cual convierte el modelo principal en tres submodelos y se resuelve según su jerarquía.

Bajo otro enfoque, abarcando el problema de posicionamiento de los suministros que deben ser ubicados y distribuidos entre una red de almacenes predeterminados, **Davis et al (2013)** desarrolla un modelo de programación estocástica de dos etapas, en que la decisión de primera etapa corresponde al posicionamiento de los suministros, mientras que las decisiones de segunda etapa corresponden al inventario inicial, capacidad de almacenamiento y costo de penalización. El modelo tiene como objetivo minimizar el costo total esperado, que es la relación entre los costos de primera y segunda etapa. El problema se resuelve mediante motores de simulación.

Para que una distribución de suministro no presente interrupciones en sus entregas, **Ozguven y Ozbay (2013)** proponen un marco de

gestión de emergencia para los procesos de entrega de productos críticos. El marco se basa en dos escenarios. En el primer escenario se desarrolla un modelo de control de inventario humanitario estocástico multi-producto (MC-SHIC) para determinar los valores mínimos de inventario que deben ser puestos en los almacenes para tener una baja interrupción, para solucionar este modelo se propone utilizar el algoritmo pLEPs. Pero los resultados óptimos que arroja el solucionador pueden diferir de los valores óptimos en tiempo real de operaciones de desastre, los autores proponen un segundo escenario en el que se utilizan Dispositivos de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) para sincronizar los procesos de entrega y de consumo de productos críticos ya que las demandas en las áreas afectadas pueden fluctuar de un periodo de tiempo a otro. Para este nuevo escenario se obtiene una aproximación del modelo MC-SHIC con ayuda de un aproximador funcional. Como método de solución, para resolver el nuevo problema de optimización sin restricciones, se utilizan los algoritmos Levenberg-Marquardt y SPSA (Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation). Luego de que se comparan los resultados, se obtiene que el algoritmo SPSA permite encontrar mejores soluciones óptimas para determinar el mejor resultado de la función objetivo que es minimizar el costo total de operación sin que las personas tengan problemas.

Teniendo un inventario en los almacenes, el paso a seguir es la necesidad de asignación eficiente y eficaz de los suministros a las áreas afectadas. Es por eso que **Altay (2013)** considera dos variaciones del modelo de asignación de recursos multi-ubicación multi-recursos basados en la capacidad. En la primera variación se considera que los recursos son abundantes y fácilmente disponible, y en la segunda variación en que la demanda es abundante para un nivel de suministro bajo. La variación de los modelos se resuelve por el simulador CPLEX y que tienen como objetivo maximizar la cobertura de la

demanda sujeta a la disponibilidad de los suministros.

Bajo otro enfoque de solución para la distribución de los suministros, **Barahona et al (2013)** desarrollan un marco de simulación y optimización para la red de distribución de suministro de socorro en una cadena de gestión de varios niveles. En un primer nivel, aplicaron técnicas de optimización robusta para determinar las políticas de inventario y envío de suministro de emergencia entre las áreas de escala (están ubicadas entre los centros de distribución y los puntos de distribución). En un segundo nivel, se describe un modelo de transporte basado en un enfoque jerárquico que se realiza a partir del modelo de optimización de inventario. El objetivo del modelo de transporte es el de resolver el problema DVRP (dynamic vehicle routing problema) para calcular las rutas de los vehículos y sus horarios, por medio de dos algoritmos, algoritmo greedy y enfoque de generación de columna

**Lee et al (2013)** proponen un estudio de tres enfoques de solución al problema de asignación de recursos renovables (equipo médicos para el cuidado de los pacientes) y no renovables (suministros médicos para el cuidado de los pacientes) para la atención a personas afectadas por un desastre. El objetivo del estudio es minimizar el costo total de penalización por tardanza en todos los hospitales de la red. Para cada uno de los enfoques de solución se van a tener en cuenta las decisiones de ruteo de vehículo, asignación de los centros de distribución y la asignación del lote a cual el equipo médico se dispone a suministrar los servicios de salud. En el primer enfoque se utilizan heurística VRP (vehicle routing problema), heurística del problema de transporte y teoremas que se desarrollan en el estudio. Para el segundo enfoque se utiliza en algoritmo VRP y teoremas que se desarrollan en el estudio. Por último, se propone un tercer enfoque que consiste en un heurístico para la programación de máquina en paralelo con secuencias que dependen de los tiempos de preparación y calcula el nivel de

prioridad de los hospitales, para luego determinar la secuencia de visita a los hospitales.

En un nuevo enfoque de solución, **Fei y Zhang (2013)** desarrollan un nuevo algoritmo híbrido denominado como la optimización de la vía de distribución de la logística de emergencia usando el algoritmo de caos en la colonia de hormigas en la que la economía está en una situación de déficit. El objetivo del estudio es minimizar los costos generales de distribución.

Uno de los tantos problemas a que se someten el personal de socorro en un desastre es el de la búsqueda, rescate y prestación de primeros auxilios a los heridos por el siniestro. Por lo tanto, **Jin et al (2014)** proponen un modelo de optimización para la entrega de pacientes y su respectiva asignación de los recursos médicos para suministrarle los primeros auxilios, considerando las restricciones de capacidad de los hospitales. El modelo de optimización entera mixta determina la ubicación y el flujo de red de un hospital en el lugar para apoyar los tratamientos de primeros auxilios a los pacientes en las zonas de desastre. El modelo se implementa en el motor de simulación IBM ILOG OPL-CPLEX 6.3, con el objetivo del estudio es maximizar el número de sobrevivientes entre los pacientes rescatados en zonas de desastre.

Bajo otro enfoque, abarcando el problema de diseñar un plan de distribución de la ayuda humanitaria a las zonas afectadas, **Tirado et al (2014)** proponen un modelo de flujo lexicográfico basado en el modelo estático introducido por Ortuño (2011), donde se proporciona un calendario de distribución para la ayuda humanitaria teniendo en cuenta los objetivos relacionados con la cantidad a distribuir, el costo total, el tiempo empleado en las operaciones y la equidad entre las áreas afectadas. El enfoque que implementaron para hacer frente a este problema fue la programación por metas lexicográficas con dos niveles de prioridad. En el primer nivel se enfoca en llegar a la meta de obtener la cantidad de suministro a distribuir en la red de distribución en tiempo de cálculo corto.

Mientras que para el segundo nivel, teniendo la cantidad de suministro a distribuir, se enfocan en llegar a la meta de encontrar una programación de la distribución que nos permitan cumplir con los objetivos de minimizar los costos, el tiempo y una distribución equitativa de los suministros. Para la solución de los modelos se implementa el lenguaje GAMS y CPLEX como motor de optimización. En otro estudio, implementando el mismo lenguaje de programación y el motor de optimización, abarcando el problema de recuperación de la infraestructura (como carreteras y puentes) para la distribución de los artículos de emergencia a una población afectada por un desastre, **Liberatore et al (2014)** desarrollaron un modelo RechADS (Sistema de Distribución de Ayuda Humanitaria en etapa de Recuperación) como un problema lexicográfico de tres niveles. Donde el objetivo del primer nivel es maximizar la demanda total servida, mientras que el segundo y tercer nivel el objetivo es minimizar el tiempo de operación de recuperación para la distribución de los recursos. Se implementa el algoritmo Rec para solucionar el problema de coordinación de los arcos de recuperación y las operaciones de distribución.

Por otro lado, abarcando el problema de planificación de emergencia para construir una plan de logística humanitaria que sea eficaz y eficiente basados en la técnica de actualización de información de grupos, **Liu y Ye (2014)** desarrollaron una metodología para facilitar la planificación de la logística de emergencia en caso de un desastre natural. La metodología implementada se basa en dos criterios: el primer criterio es la eficacia, donde se construye un modelo de programación con el fin de asignar los recursos de socorro con la minimización de la pérdida de eficacia en la asignación de los recursos, mientras que el segundo criterio es la eficiencia, se construye un modelo para asignar los recursos de ayuda con el fin de minimizar la pérdida de tiempo de la logística de emergencia. Como método de solución se utilizó el algoritmo genético de la matriz codificada para resolver el problema de asignación de recursos.

Regresando al estudio de desarrollar un modelo multi-objetivo, **Cao y Leung (2014)** proponen un modelo de suministro de material bi-objetivo para la distribución de los recursos en un desastre emergente. Como principal objetivo el modelo busca minimizar el tiempo de operación y como objetivo secundario es minimizar el costo total de operación. Para la solución del modelo se implementa el algoritmo de evolución diferencial con capacidad de manejo de las restricciones para calcular la mejor solución óptima del suministro del material. En otro estudio, **Meng y Huang (2014)** desarrollan un modelo para mejorar la eficacia de la distribución de los recursos humanitarios. El modelo de distribución y localización de los sitios de lanzamiento aéreo se encarga de suministrar los recursos necesarios a las áreas afectadas por un desastre cuando los artículos de emergencia son escasos en las zonas. Como método de solución para el modelo desarrollaron un algoritmo para la programación de los lanzamientos de suministros desde el aire y la distribución de ayuda humanitaria. El propósito del modelo es minimizar el costo total de alivio y el tiempo de distribución de suministro de emergencia.

### 3. 2.2.2. Transporte/Routing

El transporte desempeña un papel importante en la logística de atención a desastre, ya que se deben tomar las mejores decisiones referentes a la determinación de rutas que garanticen la minimización de costos y tiempo. Un problema de transporte no solo es elegir la ruta óptima, también determinar la flota de vehículos y el personal que realizaran las operaciones. En base a estas consideraciones, **Barbasoğlu, Özdamar y Çevik (2002)** proponen una metodología multi-criterio jerárquica para la planificación logística de los vehículos, en este caso helicópteros. El problema se descompone en dos niveles jerárquicos, se desarrollan dos modelos optimización entero mixto para afrontar el problema en cada nivel. En el primer nivel se encuentran las decisiones tácticas, en donde se

determinan el número de helicópteros y personal para las operaciones para minimizar el costo de selección de las variables. Con los resultados se procede a tomar las decisiones del segundo nivel, las cuales van relacionadas con el ruteo de vehículos, la carga y descarga en cada punto de distribución, los planes de rescate y el reabastecimiento de combustible de cada helicóptero para cumplir con el objetivo de minimizar el makespan. Para la solución de este estudio se utiliza el optimizador comercial GAMS 2.50 XA Solver. En otro estudio, **Barbasoğlu y Arda (2004)** utilizaron GAMS como método de solución para solucionar el problema de flujo de red multi-modal de múltiples productos básicos. Desarrollaron un modelo de programación estocástico basado en escenarios para planificar el transporte de los suministros necesarios a las áreas afectadas durante la respuesta de emergencia. El objetivo del estudio es minimizar los costos de transporte que les permitan satisfacer los requisitos de la red de transporte.

Bajo otro enfoque, abarcando el problema de coordinar el apoyo logístico para las operaciones de emergencia, **Özdamar, Ekinci y Küçükyazici (2004)** proponen un modelo matemático para la planificación de la logística de emergencia. El modelo matemático integra dos subproblemas. El primero es la distribución de los suministros dependiendo de la capacidad de transporte a las áreas afectadas. El segundo es la búsqueda de las rutas de los vehículos a los puntos de distribución o áreas afectadas. Como método de solución se propone un enfoque heurístico basado en la relajación de Lagrangean, para reducir al mínimo la demanda insatisfecha a largo del horizonte de planeación.

Por otro lado, **Yi y Kumar (2007)** proponen un método de solución rápida para el apoyo a las operaciones logísticas y coordinar la evacuación de los heridos. Se desarrolla un modelo para resolver el problema de la distribución de suministro para la logística de emergencia, donde se propone una meta-heurística basada en la optimización por colonias de hormigas (ACO). ACO descompone el problema original en dos

subproblemas secuenciales, en donde la primera fase o subproblema es la construcción de la ruta óptima para el suministro y/o evacuación de los heridos, y la segunda fase se refiere a las políticas óptimas del envío de los productos básicos. En otro estudio, **Yuan y Wang (2009)** desarrollan dos modelos de optimización para la gestión de la logística de atención a desastre. El primer modelo de selección de ruta tiene como objetivo minimizar el tiempo de viaje total a lo largo del camino, considerando la velocidad de desplazamiento afectada por la extensión del desastre. Como solución al modelo se diseñó el algoritmo de Dijkstra modificado. Ahora, basado en el anterior modelo y considerando el caos, el pánico y la congestión de las vías, se desarrolla un modelo de selección de ruta multi-objetivo para coordinar las labores de distribución de suministro. Se propone el algoritmo ACO para minimizar el tiempo total de viaje a lo largo del camino y minimizar la complejidad del camino.

Bajo otro enfoque de solución, **Osman et al (2009)** define un problema de enrutamiento de transporte para las áreas afectadas, para lo cual proponen un modelo de optimización de red multiservicio entero. Este problema se observa análogamente como un problema de programación job shop que puede ser resuelto utilizando métodos bio-inspirados y luego utilizar el optimizador GAMS para calcular la solución. El objetivo del modelo es minimizar la tardanza total del suministro de los productos básicos.

**Chunguang et al (2010)** desarrollan un modelo de programación multi-depósito considerando varios puntos de desastre en donde la demanda es conocida. El objetivo del modelo es minimizar el tiempo total de operación y minimizar el número de vehículos que serán utilizados para la distribución de los productos. Como enfoque de solución se desarrolló un algoritmo genético para calcular y obtener la ruta óptima y el número de vehículos a ser utilizados en la red de distribución. En otro estudio, considerando la ubicación y la cantidad de demanda aleatoria y el tiempo como una variable difusa, **Ju, Sun y Wang (2010)** desarrollan un modelo de programación

difusa para coordinar las operaciones de transporte escogiendo la ruta óptima dentro de una ventana de tiempo especificada. Como método de solución se utilizó un algoritmo inteligente híbrido para resolver el modelo.

Considerando un transporte de suministro por medio de contenedores multi-modal, **Hu (2011)** desarrolla un modelo de programación lineal entero multi-objetivo para resolver el problema de optimización de ruta. El modelo se presenta con el fin de buscar reducir al mínimo el costo de operación y el tiempo total del viaje. El modelo se solucionó por medio de paquetes de software operativos tradicionales para seleccionar la mejor ruta y optimización de las rutas.

Retomando el problema de la planificación de las actividades de socorro por medio de helicópteros, **Özdamar (2011)** propone una metodología de planificación logística de ayuda humanitaria que consiste en un modelo de flujo de cadena eficiente y un procedimiento de gestión de ruta para convertir los resultados óptimos del modelo en itinerarios de los helicópteros. El propósito del sistema es la coordinación de las operaciones del helicóptero con las actividades de operación de emergencia, donde se tiene como objetivo minimizar el tiempo total de la misión. El modelo es resuelto por medio del motor de optimización CPLEX.

**Vitoriano et al (2011)** proponen un modelo de programación multi-criterio para las operaciones de emergencia ante un desastre, en donde se tienen en cuenta los criterios relacionados con el tiempo, costo, fiabilidad, seguridad y equidad en la distribución de los suministros dentro de la red. Como método de solución para resolver el modelo se implementó la programación Goal, que ayuda a determinar la cantidad de suministro a distribuir, la selección de los vehículos y el diseño de la ruta. El objetivo del modelo es minimizar el costo total de las operaciones de distribución. Siguiendo con el mismo enfoque solución, **Ortuño, Tirado y Vitoriano (2011)** presentan un sistema de distribución de la ayuda humanitaria que sirve como soporte a las

decisiones referentes al problema de enrutamiento de los vehículos. El modelo que soporta el sistema descrito, tiene en cuenta restricciones de ruta, oferta y demanda de materiales y transporte. Los autores proponen un modelo lexicográfico basado en programación por metas, en el cual se tiene como primer nivel o meta, la entrega total de los suministros o la mayor cantidad posible de los productos básicos en una ventana de tiempo determinada. Y como segundo nivel, minimizar el costo, tiempo de viaje y la tasa de inconformismo referente a la equidad de la cantidad de productos.

En otro estudio, tomando como enfoque de solución la programación por metas, **Xie y Tang (2011)** proponen un modelo de optimización para la planificación del transporte de alimentos en un eventual desastre natural teniendo en cuenta el efecto de los factores de riesgo. El objetivo del modelo es minimizar el tiempo de transporte y la maximización del beneficio.

Considerando el problema de programación de suministro de socorro para ser transportados en un sistema logístico, **Lu y Sihui (2011)** proponen una metodología de optimización de dos niveles o etapas. En el primer nivel buscando minimizar el tiempo de operación se desarrolla un modelo de programación dinámica para determinar la ruta más corta entre el punto de abastecimiento y el punto de demanda, para resolver este modelo se utiliza el algoritmo de la ruta más corta. Por último, el segundo nivel busca maximizar la cobertura de la demanda minimizando los costos totales referentes al transporte de los suministros, el problema se presenta como un modelo de programación lineal multi-objetivo para obtener el programa de envío óptimo de los materiales de emergencia. Se utilizó el algoritmo simplex como método de solución del segundo nivel. En otro estudio, considerando problema de transporte de los suministros lo más rápido posible a los puntos de rescate, **Tan (2012)** propone una metodología de optimización de dos etapas. En la primera etapa, se propone un modelo de optimización de la red de logística de emergencia en el frente de distribución desde el

almacén central para los puntos de desastre, en donde se tiene en cuenta para el modelo el tiempo total más corto de funcionalidad de la red logística y la más alta conectividad de la red. Este modelo se resuelve análisis de sensibilidad. En la segunda etapa, se propone un modelo de selección de ruta óptima al final de la distribución desde los puntos de desastre a los puntos de desastre, el modelo se resuelve por medio del método teoría gris.

**Zhang et al (2012)** inspirado en el problema de ruteo de vehículo basado en entregas dividida, proponen un modelo de optimización multi-objetivo multi-periodo para la logística de emergencia, en donde la demanda de las áreas afectadas son lo suficientemente grandes para ser cubiertas por un solo vehículo o por una sola entrega. El problema está diseñado de manera que un centro de distribución con múltiples vehículos pueda distribuir los suministros a múltiples puntos de demanda de manera eficiente. Se emplea el proceso jerárquico analítico (AHP) para obtener la matriz de comparación, que luego será utilizada para obtener la selección de la ruta por medio de un algoritmo genético. Tomando otro enfoque, en donde los puntos de demanda son agrupados con el fin de encontrar la solución óptima de asignación de almacenes y clínicas a los centros de demanda, **Özdamar y Demir (2012)** proponen un modelo matemático eficiente y un algoritmo de agrupamiento de varios niveles HOGRC (hierarchical cluster and route procedure) para coordinar la logística de entrega y recogida en las cadenas de suministro de emergencia. El algoritmo utiliza un modelo de flujo de red eficiente en un enfoque jerárquico “primero cluster, segundo ruta”, para general rutas de vehículos factibles por medio del motor de optimización comercial CPLEX. En otro estudio, considerando un número limitado de vehículos y conociendo la ubicación de la demanda y la cantidad de suministro, **Chung, Chou y Lee (2012)** desarrollan un algoritmo genético de longitud dinámica multi-objetivo para resolver el problema de suministro de materiales a las áreas

de desastres desde un centro de distribución. El método propuesto tiene como función, determinar el número exacto y el cronograma de enrutamiento de todos los vehículos desde el punto de suministro a todos los puntos de desastres dentro de sus períodos de tiempo limitados. El estudio tiene como objetivo minimizar el tiempo de viaje total, maximizar la capacidad pero sin exceder la capacidad de cada vehículo y minimizar el número de vehículos que puedan satisfacer la demanda.

Abarcando el problema de enrutamiento confiable y la programación de los suministros humanitarios a través de una cadena de suministro dependiente del tiempo, **Hamedi, Haghani y Yang (2012)** desarrollan un modelo de programación entera matemática para integrar las rutas y la programación de los vehículos humanitarios tomando en cuenta todos los costos involucrados en la operación. Para redes de suministro pequeñas se propone solucionar el modelo matemático para obtener la solución óptima. Mientras que para hacer frente a grandes problemas se propone un algoritmo heurístico HRBP, el resultado del modelo es una secuencia de programación de los vehículos con su respectiva ruta de distribución con una ventana de tiempo determinada. El objetivo del modelo es minimizar el costo total ponderado que se compone de cuatro partes: distancia de viaje, tiempo de viaje, exposición al riesgo y costo de acumulación de riesgo.

**Fei et al (2012)** utilizan el algoritmo colonia de hormigas basado en recocido simulado para resolver un modelo de optimización de ruta basado en condiciones de tráfico especiales. El modelo se encarga de determinar la ruta en que los vehículos, que saldrán de un centro de distribución, visitaran los puntos de demanda y regresando al almacén centran en donde completaran la entrega en el menor tiempo posible.

**Qiang (2012)** establece un modelo de optimización para la programación de vehículos en la logística de atención a emergencia. Como

método de solución para el modelo, se propone la combinación del algoritmo genético con el algoritmo de subida de pendientes, en el cual se agrega el operador de subida al algoritmo genético. El modelo de programación de vehículos tiene como objetivo satisfacer la necesidad de los sitios de desastre y reducir el tiempo de distribución tanto como sea posible con el fin de minimizar las pérdidas en las áreas de desastre y los costos de transporte de vehículos.

Considerando la demanda y el transporte variables en tiempo, **Wohlgemuth, Oloruntoba y Clausen (2012)** desarrollan un modelo de optimización entera mixta multi-etapa para hacer frente al problema de enrutamiento y programación de entrega y recogida de suministro en los puntos de demanda, este problema es una extensión del clásico problema de ruteo de vehículos. Se utiliza la técnica de optimización global, búsqueda tabú, para obtener los resultados satisfactorios en un tiempo de solución corto, con el fin de lograr la respuesta rápida ante un desastre.

En muchos de los modelos propuestos para la solución de este problema consideran el tiempo de viaje como una constante, es por esto, que los autores **Zhang et al (2013)** proponen un nuevo método en el que tienen en cuenta el cambio de la velocidad del viaje durante la extensión de un desastre. Este nuevo método es la aplicación del algoritmo de organismos ameboides el cual se basa en el mecanismo tubular de dichos organismos para la obtención del camino más corto y más largo y así construir índices adimensionales. Finalmente logran demostrar la eficacia de este método con la aplicación de un caso de estudio.

Basados en el análisis de los grandes desastres ocurridos en China y desde una visión más completa de la planificación del transporte en la que se tienen en cuenta los múltiples objetivos, las restricciones complejas y la incertidumbre inherente, **Zheng y Ling (2013)** proponen un problema de optimización difuso multi-objetivo y desarrollan un método de optimización

cooperativa para resolver de forma eficaz el problema. De esta manera, utilizan tres criterios de clasificación relevantes para la evaluación de variables difusas, es así como dividen el problema integrado en subsoluciones: optimizar la planificación de asignación de tareas, optimizar la planificación de asignación de recursos y optimizar la planificación de entrega y planes de enrutamiento de vehículos. Para la asignación de tareas de transporte y asignación de recursos emplean el algoritmo multi-objetivo MOTS y para la programación de entrega de entrega y rutas para vehículos utilizan el algoritmo genético MOGA; estas soluciones se complementan entre sí y construyen la solución completa del programa integrado. Los autores logran demostrar el buen rendimiento del problema integrado para la planificación del transporte en casos de desastre con la aplicación de casos de estudio.

Por su parte, **Liu et al (2013)** interesados en desarrollar una herramienta de movilizaciones de operaciones de socorro como niveles de movilización de productos, servicios médicos y helicópteros a puntos temporales de instalación proponen un modelo de movilización estocástico entero mixto con dos etapas con dos objetivos: Maximizar la tasa de utilización prevista y minimizar el gasto total de la campaña de movilización. Debido a la complejidad de las variables, estos dos submodelos se resuelven secuencialmente a través de dos modelos heurísticos basados en descomposición de problemas. Así como muchos de los autores aquí mencionados, **Liu et al** a través de cálculos numéricos construidos a partir del gran terremoto de Wenchuan, indican que el modelo proporciona valiosas soluciones para la movilización.

Grandes compañías de logística encargadas de llevar a cabo todos los procesos y operaciones inherentes a la logística en un desastre buscan además de ofrecer un servicio eficiente alcanzar beneficios comerciales. Desde este punto de vista, **Li y Tan (2013)** desarrollan dos modelos de programación vehicular, uno de ellos se basa en un sistema de predicción el cual predice las cantidades de materiales de alivio a desastres y

negocios comerciales y luego acepta el negocio que le dará mayor beneficios, de esta forma se pueden programar los vehículos basados en las estimaciones; el otro se basa en un esquema de programación de prioridades de entrega y según esto asigna los vehículos para cumplir con dichas prioridades.

Un modelo de red de colas multinivel es desarrollado por **He et al (2013)** para resolver el transporte de mercancías de emergencia de forma rápida y con la menor pérdida de tiempo posible. Los artículos de socorro almacenados en ubicaciones de varios escalones en un área metropolitana se entregan con un método de optimización de las ecuaciones de colas utilizando tiempo de permanencia, tiempo de espera, longitud de la cola, y la probabilidad de desbordamiento como la calidad del servicio; para resolver dicho modelo se utilizó un algoritmo genético el cual ayudaría a determinar un tiempo de respuesta mínimo y de esta manera se elegirían los centros de emergencia logísticos así como las decisiones de enrutamiento vehicular.

Los problemas de asignación de recursos de socorro es uno de los temas de mayor interés en los últimos años, en donde un tiempo de respuesta más corto conduce a determinar un pronóstico de desastre menos preciso, que resulta en un desequilibrio en la equidad de los suministros entre puntos de demanda. En base a esto, **Zhan, Liu y Ye (2014)** proponen un modelo de optimización multi-objetivo basado en las actualizaciones de información de escenarios de desastre para hacer frente a los problemas de asignación de recursos de alivio multi-proveedor, multi-área afectada, multi-alivio y multi-vehículos. Como método para resolver el problema de asignación de recursos de socorro se utiliza una combinación entre el enfoque bayesiano y FGP (fuzzy goal programming). El objetivo de esta combinación es derivar una serie de funciones para integrar los tres objetivos que se proponen en el modelo, los cuales son minimizar el tiempo total, el total de las demandas no satisfechas, y los costos totales.

En otro estudio, considerando el problema de suministrar productos básicos a las áreas afectadas y transporte de heridos a los centros médicos de una manera eficaz y eficiente, **Najafi, Eshghi y De Leeuw (2014)** proponen un modelo matemático dinámico basado en un Sistema de Soporte de Decisiones Logísticas (LDSS) capaz de recibir datos en tiempo real y ajustar el plan de logística mientras se realizan las operaciones durante el desastre. Se propone un algoritmo de enrutamiento y envío dinámico (DDRA) para volver a planificar las actividades logísticas de acuerdo con la situación actualizada de una red y la longitud del horizonte de planeación.

Por otro lado, **Zhao y Qian (2014)** proponen un modelo de optimización matemática multi-etapa multi-objetivo basado en el método modo “escenario de respuesta” para escoger el medio de transporte razonable que debe ser seleccionado de acuerdo a las diferentes necesidades de transporte de mercancías en diferentes escenarios de emergencia pública. Como metodología de solución se propone un algoritmo Dijkstra modificado para selección la ruta más corta en la cadena de suministro, luego se utiliza el método modo “escenario de respuesta” para seleccionar el modo en que serán transportados los suministros. El modelo tiene como objetivo minimizar el costo de transporte y transbordo, el tiempo de transporte y transbordo, y la tasa de accidentes de transporte y transbordo.

Retomando el problema de entrega dividida de suministro, **Wang, Du y Ma (2014)** desarrollan un modelo de optimización multi-objetivo para el problema de ruteo y ubicación abierta. El modelo tiene como objetivo minimizar el tiempo de viaje y el costo total, y maximizar la fiabilidad de la entrega dividida. Como método de solución se proponen dos algoritmos, NSGA-II y NSDE, para resolver el modelo de entrega de ayuda.

Desde otro enfoque de solución, considerando un número limitado de vehículos y el tiempo para la entrega de suministro a las áreas afectadas como crítica, **Rivera, Afsar y Prins (2014)** proponen un

modelo de programación para el problema de ruteo de vehículos capacitados acumulativos con multi-viajes. El modelo es una variante del problema de ruteo de vehículos capacitados clásico. La función objetivo del modelo es la minimización de la suma de los tiempos de llegada a los nodos de distribución, en la cual cada vehículo puede realizar más de un viaje. Para la solución del modelo se implementa el algoritmo de Búsqueda Local Evolutiva MultiStart (MS-ELS), el cual busca la mejor solución utilizando un procedimiento de división adaptado y descenso de vecindad variable (VND). Este enfoque encuentra buenos resultados en tiempo de cálculo relativamente cortos.

Para finalizar, **Goerigk, Deghdak y Heßler (2014)** desarrollan un modelo de optimización integral para resolver el problema de evacuación de una zona urbana. El modelo también contempla el problema de distribución multi-producto utilizando buses y vehículos. En este estudio se tiene en cuenta aspectos de localización (ubicación de refugios), de enrutamiento (tráfico de buses y vehículos) y aspectos de riesgo en las rutas elegidas. Se propone un enfoque de solución meta-heurístico basado en NSGA-II para resolver grandes problemas de varios criterios. El modelo tiene como objetivos minimizar el tiempo de evacuación, el riesgo y el número de puntos de refugio.

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la elaboración del estado del arte, se pudo observar que las investigaciones referentes a modelos de optimización en la logística de atención a desastres ha tenido un fuerte crecimiento en la última década, específicamente desde el año 2010; de esta manera se evidencia el interés de los diferentes autores en la generación de conocimiento y desarrollo en esta temática buscando la disminución de pérdidas humanas, la distribución eficiente y eficaz de las diferentes ayudas y disminuir el tiempo de respuesta. Ese aumento exponencial en la investigación en la temática planteada nos lleva a pensar que en el futuro se seguirán diseñando y

ampliando más conocimiento en las diferentes áreas que abarca la logística en un desastre.

En la revisión presentada se observa que los países con mayor interés en la temática planteada son China y Estados Unidos. Esta característica puede estar asociada al considerarse países vulnerables evidenciándose con los diferentes desastres que han padecido a lo largo de la historia.

Al observar la relación de las publicaciones con el problema logístico, se observa que se han realizado estudios de forma proporcional en temas de distribución, transporte e instalación; en cuanto a publicaciones de demanda corresponde a un porcentaje bajo debido a que este aspecto es uno de las fuertes incertidumbres con las que se enfrentan en la atención de un desastre.

Son muchos los objetivos que se persiguen a la hora de atender un desastre y al querer optimizar las operaciones presentes en la logística; en el análisis de los diferentes artículos los principales objetivos corresponden a minimizar los costos totales, maximizar la cobertura de la demanda, minimizar la demanda insatisfecha, minimizar los tiempos de viaje, establecer el mínimo stock de seguridad, entre otros.

En el análisis del total de artículos se pudo observar los diferentes enfoques de solución planteados por los autores, entre los que se encuentran principalmente, soluciones heurísticas, metaheurísticas y de simulación. Los autores concuerdan con que la utilización de métodos heurísticos a pesar de que no son exactos logran grandes soluciones, completas, eficientes y con alto grado de confianza, además que por lo general no incurren en elevados costos de ejecución computacional. En los artículos, muchos de los problemas eran catalogados como NP, es decir, problemas altamente complejos y para la solución de los mismos se proponían la utilización de métodos heurísticos.

Muchos de los modelos planteados utilizaban la descomposición de un gran problema en subproblemas con subobjetivos para facilitar la resolución de los mismos.

Otro de los enfoques de solución más empleados en los artículos corresponden a métodos meta-heurísticos basados en diferentes algoritmos como son: algoritmos genéticos, algoritmos de recocido simulado, algoritmo de colonias de hormigas, algoritmos búsqueda tabú, algoritmos con enfoques difusos, algoritmos de organismos ameboides, algoritmos relajación de Lagrangean entre otros.

### RECOMENDACIONES

La predicción de la demanda es uno de los grandes desafíos con los que se enfrenta la logística de atención a desastres, por ello se recomienda destinar diferentes esfuerzos en la investigación de este tema ya que la población afectada es una variable en los demás modelos de optimización de los campos de la logística.

Una de las grandes contribuciones para la optimización del transporte podría constituir el uso de una flota de vehículos heterogéneos que incluso consideraría un problema multimodal. Hoy en día el número de modelos y métodos de resolución que consideran la diversidad de flota (en capacidad, costos, el uso y destino) es bastante grande, por tanto se considera un campo que se debe seguir explorando ya que se abre la puerta para incluir la variedad de actores que participan en las tareas de distribución de socorro.

Los modelos de optimización de la logística en atención a desastres se dirigen a considerar modelos multiobjetivos, o multicriterios, que consideran las diferentes incertidumbres y que tienen en cuenta la dinámica de la oferta y la demanda. Por lo anterior, se recomienda desarrollar métodos heurísticos para resolver de problemas principalmente de ruteo y ubicación de instalaciones y así nos lleven a disminuir el tiempo en simulaciones computacionales.

Para investigaciones futuras, la cadena de socorro se puede configurar con tres escalones: instalaciones centrales de desastres de la ciudad como proveedores principales, instalaciones de emergencia locales como distribuidores, y las zonas urbanas como cliente. Además, la ubicación y el enrutamiento se pueden considerar de forma simultánea en el planteamiento de los modelos y métodos de solución.

### REFERENCIAS

- ABOUNACER, R; REKIK, M y RENAUD, J. An exact solution approach for multi-objective location-transportation problem for disaster response. *Computers & Operations Research*. 2014. Vol. 41, p. 83-93.
- ABU NAHLEH, J; KUMAR, A y DAVER, F. Facility Location Problem in Emergency Logistic. *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*. 2013. Vol. 7, No. 10, p. 833-838.
- ADIVAR, B y MERT, A. International disaster relief planning with fuzzy credibility. *Fuzzy Optimization and Decision Making*. 2010. Vol. 9, p. 413-433.
- AFSHAR, A y HAGHANI, A. Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2012. Vol. 46, No. 4, p. 327-338.
- ALTAY, N. Capability-based resource allocation for effective disaster response. *IMA Journal of Management Mathematics*. 2013.
- BALCIK, B. y BEAMON, B. Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics: Research and Applications*. 2008. Vol. 11, No. 2, p. 101-121.
- BALCIK, B; BEAMON, B y SMILOWITZ, K. Last Mile Distribution in Humanitarian Relief. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. 2008. Vol. 12, No. 2, p. 51-83.

- BARAHONA, F, et al. Agile logistics simulation and optimization for managing disaster responses. *43rd Winter Simulation Conference - Simulation: Making Decisions in a Complex World*. 2013.
- BARBASOĞLU, G; ÖZDAMAR, L Y ÇEVİK, A. An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations. *European Journal of Operational Research*. 2002. Vol. 140, No. 1, p. 118-133.
- BARBASOĞLU, G Y ARDA, Y. A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *Journal of the Operational Research Society*. 2004. Vol. 55, No. 1, p. 43-53.
- BARZINPOUR, F y ESMAEILI, V. A multi-objective relief chain location distribution model for urban disaster management. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014. Vol. 70, No. 5-8, p. 1291-1302.
- BARZINPOUR, F, et al. Metaheuristic Algorithm for Solving Biobjective Possibility Planning Model of Location-Allocation in Disaster Relief Logistics. *Journal of Applied Mathematics*. 2014.
- BEAMON, B y KOTLEBA, S. Inventory modelling for complex emergencies in humanitarian relief operations. *International Journal of Logistics: Research and Applications*. 2006a. Vol. 9, No. 1, p. 1-18.
- BEAMON, B y KOTLEBA, S. Inventory management support systems for emergency humanitarian relief operations in South Sudan. *The International Journal of Logistics Management*. 2006b. Vol. 17, No. 2, p. 187-212.
- BOZKURT, M y DURAN, S. Effects of Natural Disaster Trends: A Case Study for Expanding the Pre-Positioning Network of CARE International. *Int J Environ Res Public Health*. 2012. Vol. 9, No. 8, p. 2863-2874.
- BOZORDI-AMIRI, A, et al. A modified particle swarm optimization for disaster relief logistics under uncertain environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2012. Vol. 60, No. 1-4, p. 357-371.
- BOZORDI-AMIRI, A; JABALAMELI, M y MIRZAPOUR, S.M. A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty. *OR Spectrum*. 2013. Vol. 35, No. 4, p. 905-933.
- CAO, Q y LEUNG, M. Optimization of material supply model in an emergent disaster using differential evolution. *Computational Intelligence in Production and Logistics Systems*. 2014. p. 134-140.
- CHANG, MS; TSENG, YL y CHEN, JW. A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. *Transportation Research Part E*. 2007. Vol. 43, No. 6, p. 737-754.
- CHUNGUANG, C, et al. A Multi-category Emergency Goods Distribution Model and Its Algorithm. *International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management*. 2010. Vol. 3, p. 1490-1494.
- CHUNGUANG, C, et al. Emergency goods scheduling model and algorithm during initial stage of disaster relief. *International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management*. 2010. Vol. 3, p. 1518-1521
- CHUNG, LY; CHOU, TY y LEE, CC. Multiobjective Dynamic Length Genetic Algorithm to Solve the Emergency Logistic Problem. *International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*. 2012. p. 1147-1152.
- CHURCH, R y REVELLE, C. The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*. 1974. Vol. 32, No. 1, p. 101-118.

- DAVIS, L, et al. Inventory planning and coordination in disaster relief efforts. *International Journal of Production Economics*. 2013. Vol. 141, No. 2, p. 561-573.
- DÖYEN, A; ARAS, N y BARBAROSOĞLU, G. A two-echelon stochastic facility location model for humanitarian relief logistics. *Optimization Letters*. 2012. Vol. 6, No. 6, p. 1123-1145.
- DURAN, S; GUTIÉRREZ, M y KESKİNOCAK, P. Pre-Positioning of Emergency Items Worldwide for CARE International. *Interfaces*. 2011. Vol. 41. No. 3, p. 223-237.
- FEI, T y ZHANG, L. Weak economic emergency logistics routing optimization based on chaos ant colony algorithm. *Information Technology Journal*. 2013. Vol. 12, No. 23, p. 7714-7718.
- FEI, Teng, et al. Research of Emergency Logistics Distribution Routing Optimization Based on Simulated Annealing Ant Colony Optimization. *Artificial Intelligence and Computational Intelligence*. 2012. Vol. 7530, p. 177-183.
- GOERIGK, M; DEGHDAK, K Y HEßLER, P. A comprehensive evacuation planning model and genetic solution algorithm. *Transportation Research Part E*. 2014. Vol. 71, p. 82-97.
- GÖRMEZ, N; KÖKSALAN, M y SALMAN, F. Locating disaster response facilities in Istanbul. *Journal of the Operational Research Society*. 2011. Vol. 62, p. 1239-1252.
- HAGHANI, A. Capacitated maximum covering location models: Formulations and solution procedures. *Journal of Advanced Transportation*. 1996. Vol. 30, No. 3, p. 101-136.
- HAMEDJ, M; HAGHANI, A y YANG, S. Reliable Transportation of Humanitarian Supplies in Disaster Response: Model and Heuristic. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2012. Vol. 54, p. 1205-1219.
- HE, Xinhua, et al. Improving Emergency Goods Transportation Performance in Metropolitan Areas Under Multi-Echelon Queuing Conditions. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2013. Vol. 96, p. 2466-2479.
- HORNER, Mark y DOWNS, Joni. Optimizing hurricane disaster relief goods distribution: model development and application with respect to planning strategies. *Disasters*. 2010. Vol. 34, No. 3, p. 821-844.
- HU, ZH. Multi-objective optimization model for emergency logistics distribution with multiple supply points and multiple resource categories. *2nd International Conference on Industrial and Information Systems*. 2010. Vol. 1, p. 167-170.
- HU, ZH. A container multimodal transportation scheduling approach based on immune affinity model for emergency relief. *Expert Systems with Applications*. 2011. Vol. 38, No. 3, p. 2632-2639.
- JIN, S, et al. A logistics model for the transport of disaster victims with various injuries and survival probabilities. *Annals of Operations Research*. 2014.
- JU, Y; SUN, L y WANG, A. Path optimization based on hybrid intelligent algorithm of emergency logistics. *Sixth International Conference on Natural Computation (ICNC)*. 2010. Vol. 3, p. 1285-1289.
- LEE, K, et al. Operations scheduling with multiple resources and transportation considerations. *International Journal of Production Research*. 2013. Vol. 51, No. 23-24, p. 7071-7090.
- LIBERATORE, F, et al. A hierarchical compromise model for the joint optimization of recovery operations and distribution of emergency goods in Humanitarian Logistics. *Computers & Operations Research*. 2014. Vol. 42, p. 3-13.
- LIN, YH, et al. A logistics model for delivery of critical items in a disaster relief operation: heuristic approaches. *Transportation Research Part E*. 2009.

- LIN, YH. A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2011. Vol. 45, No. 4, p. 132-145.
- LIU, N y YE, Y. Humanitarian logistics planning for natural disaster response with bayesian information updates. *Journal of Industrial and Management Optimization*. 2014. Vol. 10, No. 3, p. 665-689.
- LIU, Wenmao; HU, Guangyu y LI, Jianfeng. Emergency resources demand prediction using case-based reasoning. *Safety Science Review*. 2012. Vol. 50, No. 3, p. 530-534.
- LI, X y TAN, Q. Vehicle Scheduling Schemes for Commercial and Emergency Logistics Integration. *Plos one*. 2013. Vol. 8, No. 12, p. 1-10.
- LIU, Y y GUO, B. A Lexicographic Approach to Postdisaster Relief Logistics Planning Considering Fill Rates and Costs under Uncertainty. *Mathematical Problems in Engineering*. 2014.
- LIU, Y, et al. Stochastic programming approach for earthquake disaster relief mobilization with multiple objectives. *Journal of Systems Engineering and Electronics*. 2013. Vol. 24, No. 3, p. 642-654.
- LU, CC y SHEU, JB. Robust vertex p-center model for locating urgent relief distribution centers. *Computers & Operations Research*. 2013. Vol. 40, No. 8, p. 2128-2137.
- LU, CC. Robust weighted vertex p-center model considering uncertain data: An application to emergency management. *European Journal of Operational Research*. 2013. Vol. 230, No. 1, p. 113-121.
- LU, Z y SIHUI, L. Emergency supplies' two transport scheduling model. *International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE)*. 2011. p. 1848-1852.
- MENG, YP y HUANG, YF. Airdrop sites location problem and resources distribution for emergency relief. *International Journal of Emergency Management*. 2014. Vol. 10, No. 3-4, p. 193-208.
- NAGURNEY, A; YU, M y QIANG, Q. Supply chain network design for critical needs with outsourcing. *Papers in Regional Science*. 2011. Vol. 90, No. 1, p. 123-143.
- NAJAFI, M; ESHGHI, K y DULLAERT, W. A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase. *Transportation Research Part E*. 2013. Vol. 49, No. 1, p. 217-249.
- NAJAFI, M; ESHGHI, K y DE LEEUW, S. A dynamic dispatching and routing model to plan/re-plan logistics activities in response to an earthquake. *OR Spectrum*. 2014. Vol. 36, No. 2, p. 323-356.
- ORTUÑO, M; TIRADO, G y VITORIANO, B. A lexicographical goal programming based decision support system for logistics of Humanitarian Aid. *TOP*. 2011. Vol. 19, No. 2, p. 464-479.
- OSMAN, M, et al. Optimization model for distributed routing for disaster area logistics. *International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics*. 2009. p. 278- 283.
- OZBAY, K y OZGUVEN, E. A Stochastic Humanitarian Inventory Control Model for Disaster Planning. *Transportation Research Record*. 2007. Vol. 2022, p. 63-75.
- ÖZDAMAR, L; EKINCI, E Y KÜÇUKYAZICI, B. Emergency logistics planning in natural disasters. *Annals of Operations Research*. 2004. Vol. 129, No. 1-4, p. 217-245.
- ÖZDAMAR, L. Planning helicopter logistics in disaster relief. *OR Spectrum*. 2011. Vol. 33, No. 3, p. 655-672.
- ÖZDAMAR, L y DEMIR, O. A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. *Transportation Research Part E*. 2012. Vol. 48, No. 3, p. 591-602.
- OZGUVEN, E y OZBAY, K. Case Study-Based Evaluation of Stochastic Multicommodity

- Emergency Inventory Management Model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2012. Vol. 2283, p. 12-24.
- OZGUVEN, E y OZBAY, K. A secure and efficient inventory management system for disasters. *Transportation Research Part C*. 2013. Vol. 29, p. 171-196.
- PRÉKOPA, A. On the Hungarian Inventory Control Model. *European Journal of Operational Research*. 2006. Vol. 171, No. 3, p. 894-914.
- QIANG, Xian. Vehicle scheduling model for emergency logistics distribution with improved genetic algorithm. *International Journal of Advancements in Computing Technology*. 2012. Vol. 4, No. 18, p. 315-323.
- RATH, S y GUTJAHR, W. A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief. *Computers & Operations Research*. 2014. Vol. 42, p. 25-39.
- RENNEMO, S, et al. A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning. *Transportation Research Part E*. 2014. Vol. 62, p. 116-135.
- REZAEI-MALEK, M y TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. Robust humanitarian relief logistics network planning. *Uncertain Supply Chain Management*. 2014. Vol. 2, No. 2, p. 73-96.
- RIVERA, J; AFSAR, M y PRINS, C. Multistart Evolutionary Local Search for a Disaster Relief Problem. *Artificial Evolution*. 2014. Vol. 8752, p. 129-141.
- ROTTKEMPER, et al. Inventory relocation for overlapping disaster settings in humanitarian operations. *OR Spectrum*. Review. 2011. Vol. 33, No. 3, p. 721-749.
- SALMERÓN, J y APTE, A. Stochastic Optimization for Natural Disaster Asset Prepositioning. *Production and Operations Management*. 2010. Vol. 19, No. 5, p. 561-574.
- SHEU, J. Dynamic relief-demand management for emergency logistics operations under large-scale disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation*. Review. 2010. Vol. 46, No. 1, p. 1-17.
- SHEU, J. An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters. *Transportation Research Part E*. 2007, Vol. 43, No. 6, p. 687-709.
- TAN, M. Emergency logistics network optimization of natural disaster. *International Conference of Logistics Engineering and Management*. 2012. p. 879-885.
- TIRADO, G, et al. A lexicographical dynamic flow model for relief operations. *International Journal of Computational Intelligence Systems*. 2014. Vol. 7, No. 1, p. 45-57.
- TRICOIRE, F; GRAF, A y GUTJAHR, W. The bi-objective stochastic covering tour problem. *Computers & Operations Research*. 2012. Vol. 39, No. 7, p. 1582-1592.
- TURĞUT, Banu, et al. A fuzzy AHP based decision support system for disaster center location selection and a case study for Istanbul. *Disaster Prevention and Management*. 2011. Vol. 20, No. 5, p. 499-520.
- VITORIANO, B, et al. A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. *Journal of Global Optimization*. 2011. Vol. 51, No. 2, p. 189-208.
- WANG, H; DU, L y MA, S. Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake. *Transportation Research Part E*. 2014. Vol. 69, p. 160-179.
- WOHLGEMUTH, S; OLORUNTOBA, R y CLAUSEN, U. Dynamic vehicle routing with anticipation in disaster relief. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2012. Vol. 46, No. 4, p. 261-271.
- XIE, R y TANG, J. Study on the optimization for emergency food transportation plan based on

- goal programming. *International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE)*. 2011. p. 137-140.
- XINHUA, He. Study on Emergency Supply Chain System Planning under Uncertainty. *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*. 2012. Vol. 3, p. 432-435.
- YI, Wei y ÖZDAMAR, Linet. A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European Journal of Operational Research*. 2007. Vol. 179, No. 3, p. 1177-1193.
- YI, W y KUMAR, A. Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E*. 2007. Vol. 43, No. 6, p. 660-672.
- YUAN, Y y WANG, D. Path selection model and algorithm for emergency logistics management. *Computers & Industrial Engineering*. 2009. Vol. 56, No. 3, p. 1081-1094.
- ZHANG, Jin; DONG, Ming y CHEN, Frank. A bottleneck Steiner tree based multi-objective location model and intelligent optimization of emergency logistics systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2013. Vol. 29, No. 3, p. 48-55.
- ZHANG, J, et al. SDVRP model for emergency logistics and evolutionary heuristic approach. *International Conference on Automatic Control and Artificial Intelligence*. 2012. p. 1809-1812.
- ZHAN, SL; LIU, N y YE, Y. Coordinating efficiency and equity in disaster relief logistics via information updates. *International Journal of Systems Science*. 2014. Vol. 45, No. 8, p. 1607-1621.
- ZHANG, X, et al. Route selection for emergency logistics management: A bio-inspired algorithm. *Safety Science*. 2013. Vol. 54, p. 87-91.
- ZHAO, Y y QIAN, Y. The construction of emergency logistics and integrated transport system based on "scenario-response" mode. *International Journal of Control and Automation*. 2014. Vol. 7, No. 3, p. 359-370.
- ZHENG, YJ y LING, HF. Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: a cooperative fuzzy optimization approach. *Soft Computing*. 2013. Vol. 17, No. 7, p. 1301-1314.

## Anexo F. Relación de publicaciones relacionadas en el estado del arte de logística en atención a desastres

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
Predicción de la demanda	Dynamic relief-demand management for emergency logistics operations under large-scale disasters	SHEU ,Jiuh-Biing	2010	Taiwan	TRANSPORTATION RESEARCH	Pronosticar la demanda de ayuda en diferentes áreas	fusión de datos de múltiples fuentes, agrupación difusa y TOPSIS
	Inventory relocation for overlapping disaster settings in humanitarian operations	ROTTKEMPER , Beate; FISCHER, Kathrin; BLECKEN, Alexander; DANNE, Christoph	2011	Alemania	OR Spectrum	Reubicación de inventario para la demanda no satisfecha	Horizonte rodante
	Emergency resources demand prediction using case-based reasoning	LIU, Wenmao; HU, Guangyu; LI, Jianfeng	2012	China	Safety Science	Predicción de la demanda de los recursos de emergencia	Técnica de razonamiento basado en casos (CBR)
Ubicación de las instalaciones	Facility location in humanitarian relief	Balcik, B; Beamon B	2008	USA	INTERNATIONAL JOURNAL OF LOGISTICS: RESEARCH AND APPLICATIONS	Número y ubicación de centros de ubicación con su respectivo inventario	Experimentos computacionales (GAMS/Cplex)
	Optimizing hurricane disaster relief goods distribution: model development and application with respect to planning strategies	Horner, MW; Downs, JA	2010	USA	DISASTERS	Ubicación de estaciones de distribución intermedias	Sistema de Información Geografica (GIS)
	A fuzzy AHP based decision support system for disaster center location selection and a case study for Istanbul	Turgut, B; Tas, G; Herekoglu, A; Tozan, H; Vayvay, O	2011	Turquia	DISASTER PREVENTION AND MANAGEMENT	Selección de ubicación de instalaciones en un eventual desastre	Metodología AHP y fuzzy AHP

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
	Pre-Positioning of Emergency Items for CARE International	Duran, S; Gutiérrez, M; Keskinocak, P	2011	USA	INTERFACES	Minimizar tiempo medio de respuesta y costo de mercancía	Método programación entera mixta
	Locating disaster response facilities in Istanbul	Görmez, N; Koksalan, M; Salman, F	2011	Turquía	JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY	Ubicación de instalaciones de un conjunto de puntos potenciales	Algoritmo $\epsilon$ -constraint
	A modified particle swarm optimization for disaster relief logistics under uncertain environment	Bozorgi-Amiri, A; Jabalameli, M; Alinaghian, M; Heydari, M	2012	Irán	INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY	Logística de socorro bajo ambiente estocástico de escenarios discretos	Algoritmo de optimización de enjambre de partículas
	The bi-objective stochastic covering tour problem	Tricoire, F; Graf, A; Gutjahr, W	2012	Austria	COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH	Minimizar el costo de apertura DC y la demanda no cubierta	Algoritmo $\epsilon$ -constraint
	A two-echelon stochastic facility location model for humanitarian relief logistics	Döyen, A; Aras, N; Barbarosoğlu, G	2012	Alemania	OPTIMIZATION LETTERS	Minimizar los costos de apertura de los DC y costo de mantenimiento de inventario	Relajación de Lagrangean
	Effects of Natural Disaster Trends: A Case Study for Expanding the Pre-Positioning Network of CARE International	Bozkurt, M; Duran, S	2012	Turquía	INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH	Apertura de un almacén adicional para mejorar el tiempo medio de respuesta	Método programación entera mixta

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
	Study on emergency supply chain system planning under uncertainty	Xinhua, He	2012	China	Proceeding of 2012 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering	Optimización de almacenes y rutas en el sistema de la cadena de suministro	Teoría de colas y algoritmo genético
	A bottleneck Steiner tree based multi-objective location model and intelligent optimization of emergency logistics systems	Zhang, J; Dong, M; Chen, F	2013	China	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	Optimizar número y ubicación DC	Algoritmo inteligente basado en SDS
	Robust vertex p-center model for locating urgent relief distribution centers	Lu, CC; Sheu, JB	2013	Taiwán	COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH	Ubicación de los URDC de un determinado sitios potenciales	Recocido simulado basado en búsquedas locales
	Robust weighted vertex p-center model considering uncertain data: An application to emergency management	Lu, CC	2013	Taiwán	EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH	Ubicación de los URDC de un determinado sitios potenciales	Recocido simulado basado en búsquedas locales
	Facility Location Problem in Emergency Logistic	Yousef Abu Nahleh, Arun Kumar, Fugen Daver	2013	Australia	International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering	Organizar flujo de suministro	Just-in-time
	A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty	Bozorgi-Amiri A, Jabalameli MS, Al-e-Hashem SMJM	2013	Irán	OR SPECTRUM	Minimizar el costo total y maximizar el índice de satisfacción de la demanda	Método Lp-métricos y programación lineal

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
	A Lexicographic Approach to Postdisaster Relief Logistics Planning Considering Fill Rates and Costs under Uncertainty	Liu, Y; Guo, B	2014	China	MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING	Minimizar el valor esperado del costo total y maximizar la tasa de llenado mínima esperada de las áreas afectadas	Algoritmo heurístico basado en la descomposición de escenarios
	Robust humanitarian relief logistics network planning	Mohammad, Rezaei-Malek; Reza, Tavakkoli-Moghaddam	2014	Irán	Uncertain Supply Chain Management	Minimizar el tiempo medio de respuesta y el costo total de operación	método RLTP (Reservation Level Tchebycheff Procedure)
	An exact solution approach for multi-objective location-transportation problem for disaster response	Abounacer, R; Rekik, M; Renaud, J	2014	Canadá	COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH	Minimizar la duración del transporte de los productos necesarios, el número de personas necesarias para abrir cada centro de distribución y la demanda no cubierta en las áreas afectadas	método $\epsilon$ -constraint
	A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief	Rath, S; Gutjahr, W	2014	Austria	COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH	Minimizar el costo de apertura de los almacenes y gasto operacional, maximizar la demanda cubierta	Técnica meta-heurística

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
	A multi-objective relief chain location distribution model for urban disaster management	Barzinpour, F; Esmaeili, V	2014	Irán	The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Maximizar el área de cobertura de la demanda	Software RADIUS, Goal Programming y metodo de optimizacion tradicional
	A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning	Rennemo, S; Ro, K; Hvattum, L; Tirado, G	2014	España	TRANSPORTATION RESEARCH	Ubicación de los centros de distribución	software comercial Xpress-IVE Optimization Suite
	Metaheuristic Algorithm for Solving Biobjective Possibility Planning Model of Location-Allocation in Disaster Relief Logistics	Barzinpour, F; Saffarian, M; Makoui, A; Teimoury, E	2014	Irán	JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS	Minimizar los costos totales y maximizar la tasa de satisfacción de la demanda	Algoritmo Genético
<b>Distribución de suministro y personal</b>	Inventory modelling for complex emergencies in humanitarian relief operations	Beamon, B; Kotleba, S	2006	USA	International Journal of Logistics: Research and Applications	Políticas optimas de inventario	Simulación
	Inventory management support systems for emergency humanitarian relief operations in South Sudan	Beamon, B; Kotleba, S	2006	USA	The International Journal of Logistics Management	Políticas optimas de inventario	Simulación
	Stochastic humanitarian inventory control model for disaster planning	Ozbay, K; Ozguven, E	2007	USA	TRANSPORTATION RESEARCH RECORD	Determinar el mínimo inventario de seguridad	P-nivel puntos eficientes
	An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters.	Sheu, JB	2007	China	Transportation Research	Minimizar el tiempo de respuesta a las zonas afectadas	Agrupamiento difuso
	A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities	Yi, W; Ozdamar, L	2007	Turquía	EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH	Minimizar el retraso en el suministro de los productos básicos y la	Algoritmo RUTA y sistema de ecuaciones lineales

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
						atención de los heridos	
	A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty	Chang, MS; Tseng, YL; Chen, JW	2007	Taiwán	Transportation Research	Minimizar la distancia de envío esperada	Esquema de aproximación media de muestras y sistema de información geográfica (GIS)
	Last mile distribution in humanitarian relief	Balcik, B; Beamon, B; Smilowitz, K	2008	USA	JOURNAL OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS	maximizar el beneficio de la demanda en las zonas afectadas y minimizar los costos de transporte y los costos de multa	Heurística TSP (Traveling Salesperson Problem) y ITS (Intelligent Transportation Systems)
	A logistics model for delivery of critical items in a disaster relief operation: heuristic approaches	Lin, YH; Batta, R; Rogerson, P; Blatta, A; Flanigan, M	2009	USA	Transportation Research	Minimizar la demanda insatisfecha, minimizar el tiempo total de viaje de todos los vehículos y minimizar la diferencia del índice de satisfacción entre los grupos afectados.	Tour Generator y VAH (Vehicle Assignment heuristic)

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
	A multi-category emergency goods distribution model and its algorithm	Chang, C; Wang, L; Song, X; Gao, B	2010	China	International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management	Minimizar los costos totales asociados a la distribución de los artículos de emergencia	Método de factor de penalización y algoritmo genético
	Multi-objective optimization model for emergency logistics distribution with multiple supply points and multiple resource categories	Hu, Z	2010	China	2nd International Conference on Industrial and Information Systems	Minimizar la escasez de recurso y minimizar el costo de transporte	Motor de optimización Dash Xpress
	Stochastic Optimization for Natural Disaster Asset Prepositioning	Salmerón, J; Apte, A	2010	USA	Production and Operations Management	Minimizar las bajas esperadas y minimizar la demanda insatisfecha	GAMS y Cplex
	International disaster relief planning with fuzzy credibility	Adivar, B; Mert, A	2010	Turquía	FUZZY OPTIMIZATION AND DECISION MAKING	Maximizar la cobertura de la demanda requerida en los puntos de desastre y minimizar el costo total de alivio a los países de la OTAN	GAMS y Cplex
	Supply chain network design for critical needs with outsourcing	Nagurney, A; Yu, M; Qiang, QA	2011	USA	PAPERS IN REGIONAL SCIENCE	Minimización del costo total de las actividades operacionales	Método Euler
	A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster	Lin, YH; Batta, R; Rogerson, P; Blatta, A; Flanigan, M	2011	USA	Socio-Economic Planning Sciences	Minimizar la demanda insatisfecha	Algoritmo Genético y DAH (Decomposition and Assignment Heuristic)

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
	Case Study-Based Evaluation of Stochastic Multicommodity Emergency Inventory Management Model	Ozguven, EE; Ozbay, K	2012	USA	TRANSPORTATION RESEARCH RECORD	Minimizar costo total de operación de distribución	Algoritmo Prékopa–Vizvari–Badics
	Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations	Afshar, A; Haghani, A	2012	USA	Socio-Economic Planning Sciences	Minimizar la cantidad de demanda insatisfecha	Cplex
	A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase	Najafi, M; Eshghi, K; Dullaert, W	2013	Irán	TRANSPORTATION RESEARCH	Minimizar el total de personas no atendidas, minimizar la demanda insatisfecha y minimizar el total de vehículos utilizados en la respuesta	Método Bertsimas y Sim y la metodología SMSRM (Solution Methodology of the Structured Robust Model)
	Inventory planning and coordination in disaster relief efforts	Davis, L; Samanlioglu, F; Qu, XL; Root, S	2013	USA	INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS	Minimizar el costo total esperado	Simulación
	A secure and efficient inventory management system for disasters	Ozguven, EE; Ozbay, K	2013	USA	Transportation Research	Minimizar el costo total de operación	Algoritmos pLEPs, Levenberg-Marquardt (LM) y SPSA (Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation)
	Capability-based resource allocation for effective disaster response	Altay, N	2013	USA	IMA JOURNAL OF MANAGEMENT MATHEMATICS	Maximizar la cobertura de la demanda sujeta a la disponibilidad de los suministros	Cplex

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
	Agile logistics simulation and optimization for managing disaster responses	Barahona, F; Ettl, M; Petrik, M; Rimshnick, P	2013	USA	Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference - Simulation: Making Decisions in a Complex World, WSC 2013	Maximizar la cobertura de la demanda	Algoritmo greedy y enfoque de generación de columna, Simulador AnyLogic 6
	Operations scheduling with multiple resources and transportation considerations	Lee, K; Lei, L; Pinedo, M; Wang, SB	2013	USA	INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH	Minimizar el costo total de penalización por tardanza en todos los hospitales de la red	Heurística VRP, Heurística del problema de penalización por tardanza, teoremas y heurístico para la programación de máquina en paralelo
	Weak economic emergency logistics routing optimization based on chaos ant colony algorithm	Teng Fei, Liyi Zhang	2013	China	Information Technology Journal	Minimizar los costos generales de distribución	Algoritmo de caos en la colonia de hormigas, simulación GUI
	A logistics model for the transport of disaster victims with various injuries and survival probabilities	Jin, S; Jeong, S; Kim, J; Kim, K	2014	Corea del Sur	Annals of Operations Research	Maximizar el número de sobrevivientes entre los pacientes rescatados en zonas de desastre	IBM ILOG OPL-CPLEX
	A lexicographical dynamic flow model for relief operations	Tirado, G; Martin-Campo, FJ; Vitoriano, B; Ortuño, M	2014	España	INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTATIONAL INTELLIGENCE SYSTEMS	Maximizar la cobertura de la demanda y minimizar los costos, el tiempo y una distribución equitativa de los suministros	GAMS y Cplex

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
	A hierarchical compromise model for the joint optimization of recovery operations and distribution of emergency goods in Humanitarian Logistics	Liberatore, F; Ortuño, M; Tirado, G; Vitoriano, B; Scaparra, M	2014	España	Computers & Operations Research	Maximizar la demanda total servida y minimizar el tiempo de operación de recuperación para la distribución de los recursos	Algoritmo Rec
	HUMANITARIAN LOGISTICS PLANNING FOR NATURAL DISASTER RESPONSE WITH BAYESIAN INFORMATION UPDATES	Liu, Nan; Ye, Yong	2014	China	JOURNAL OF INDUSTRIAL AND MANAGEMENT OPTIMIZATION	Minimizar la pérdida de eficacia en la asignación de los recursos y minimizar la pérdida de tiempo de la logística de emergencia	Algoritmo genético de matriz codificada
	Optimization of material supply model in an emergent disaster using differential evolution	Cao, Qi; Leung, K	2014	China	Computational Intelligence in Production and Logistics Systems	Minimizar el tiempo de operación y minimizar el costo total de operación	Algoritmo de evolución diferencial
	Airdrop sites location problem and resources distribution for emergency relief	Meng, YP; Huang, YF	2014	China	International Journal of Emergency Management	Minimizar el costo total de alivio y el tiempo de distribución de suministro de emergencia	Algoritmo evolutivo
<b>Transporte/Routing</b>	An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations	Barbarosoglu, G; Özdamar, L; Cevik A	2002	Turquía	European Journal of Operational Research	Minimizar el costo y minimizar el makespan	GAMS

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
	A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response	Barbarosoglu, G; Arda, Y	2004	Turquía	Journal of the Operational Research Society	Minimizar los costos de transporte	GAMS
	Emergency logistics planning in natural disasters	Özdamar L, Ekinci E, Kucukyazici B	2004	Singapur	Annals of Operations Research	Minimizar la demanda insatisfecha	Relajación de Lagrangean
	Ant colony optimization for disaster relief operations	Yi, W; Kumar, A	2007	Singapur	Transportation Research	Minimizar la demanda insatisfecha	Optimización por colonia de hormigas (ACO)
	Path selection model and algorithm for emergency logistics management	Yuan, Y; Wang, DW	2009	China	COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING	Minimizar el tiempo total de viaje a lo largo del camino y minimizar la complejidad del camino	Algoritmo Dijkstra modificado y algoritmo ACO
	Optimization model for distributed routing for disaster area logistics	Osman, M; Ram, B; Bhadury, J; Stanfield, P; Davis, L; Samanlioglu, F	2009	USA	International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics, SOLI 2009	Minimizar la tardanza total del suministro de los productos básicos	Programación job shop y GAMS
	Emergency goods scheduling model and algorithm during initial stage of disaster relief	Chunguang, Chang; Xiang, Ma; Xiaoyu, Song; Bo, Gao	2010	China	2010 International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management	Minimizar el tiempo total de operación y minimizar el número de vehículos	Algoritmo genético
	Path optimization based on hybrid intelligent algorithm of emergency logistics	Ju, Y; Sun, L; Wang, A	2010	China	Proceedings - 2010 6th International Conference on Natural Computation	Minimizar el tiempo de viaje.	Algoritmo inteligente híbrido
	A container multimodal transportation scheduling approach based on immune affinity model for emergency relief	Hu, ZH	2011	China	Expert Systems with Applications	Minimizar el costo de operación y el tiempo total del viaje.	Simulación

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
	Planning helicopter logistics in disaster relief	Özdamar, L	2011	USA	OR SPECTRUM	Minimizar el tiempo total de la misión	Procedimiento de Gestión de Ruta (RMP)
	A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution	Vitoriano, B; Ortuno, M; Tirado, G; Montero, J	2011	España	JOURNAL OF GLOBAL OPTIMIZATION	Minimizar el costo total de operación de distribución	Programación Goal
	A lexicographical goal programming based decision support system for logistics of Humanitarian Aid	Ortuno, M; Tirado, G; Vitoriano, B	2011	España	TOP	Maximizar la cobertura de la demanda y minimizar los costos, el tiempo y una distribución equitativa de los suministros	Programación Goal
	Study on the optimization for emergency food transportation plan based on goal programming	Xie, R; Tang, J	2011	China	Proceedings 2011 International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering	minimizar el tiempo de transporte y la maximización del beneficio	Programación Goal y LINGO
	Emergency supplies' two transport scheduling model	Lu, Zheng; Sihui, Luo	2011	China	Proceedings 2011 International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering	Minimizar el tiempo de operación, maximizar la cobertura de la demanda y minimizar los costos totales referentes al transporte de los suministros	Algoritmo ruta más corta y algoritmo simplex
	Emergency logistics network optimization of natural disaster	Tan, M	2012	China	International Conference of Logistics Engineering and Management 2012	Minimizar el tiempo de viaje total y maximizar el beneficio	Análisis de sensibilidad y teoría gris

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
	SDVRP model for emergency logistics and evolutionary heuristic approach	Zhang, J; Peng, J; Xu, Z; Xu, W	2012	China	IET Conference Publications	Minimizar la demanda insatisfecha, el tiempo total de entrega y suministro desequilibrado entre los demandantes	AHP y Algoritmo genético
	A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning	Özdamar, L; Demir, O	2012	Turquía	TRANSPORTATION RESEARCH	Minimizar el tiempo de viaje total estimado	Algoritmo HOGRC (hierarchical cluster and route procedure)
	Multiobjective Dynamic Length Genetic Algorithm to Solve the Emergency Logistic Problem	Chung, LY; Chou, TY; Lee, CC	2012	Taiwán	The 2012 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics	Minimizar el tiempo de viaje total, maximizar la capacidad y minimizar el número de vehículos que puedan satisfacer la demanda	Algoritmo genético de longitud dinámica
	Reliable Transportation of Humanitarian Supplies in Disaster Response: Model and Heuristic	Hamedi, M; Haghani, A; Yang, S	2012	USA	Procedia - Social and Behavioral Sciences	Minimizar el costo total ponderado	Algoritmo HRBP
	Research of Emergency Logistics Distribution Routing Optimization Based on Simulated Annealing Ant Colony Optimization	Fei, T; Zhang, LY; Zhang, J; Li, Y; Liu, X; Zhu, C	2012	China	Artificial Intelligence and Computational Intelligence Lecture Notes in Computer Science	Minimizar el tiempo de viaje	Algoritmo colonia de hormigas basado en recocido simulado
	Vehicle scheduling model for emergency logistics distribution with improved genetic algorithm	Qiang, X	2012	China	International Journal of Advancements in Computing Technology	minimizar las pérdidas en las áreas de desastre y los costos de transporte de	Algoritmo de optimización de programación de vehículos

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
						vehículos	
	Dynamic vehicle routing with anticipation in disaster relief	Wohlgemuth, S; Oloruntoba, R; Clausen, U	2012	Alemania	Socio-Economic Planning Sciences	Minimizar el tiempo de viaje total	Búsqueda tabú
	Route selection for emergency logistics management: A bio-inspired algorithm	Zhang, XG; Zhang, ZL; Zhang, YJ; Wei, DJ; Deng, Y	2013	China	SAFETY SCIENCE	Minimizar el tiempo de viaje	Algoritmo de organismos ameboides
	Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: a cooperative fuzzy optimization approach	Zheng, YJ; Ling, HF	2013	China	SOFT COMPUTING	Minimizar el costo total y minimizar el tiempo de viaje	Algoritmo multi-objetivo MOTS y algoritmo genético MOGA
	Stochastic programming approach for earthquake disaster relief mobilization with multiple objectives	Liu, YJ; Zhang, T; Lei, HT; Guo, B	2013	China	JOURNAL OF SYSTEMS ENGINEERING AND ELECTRONICS	Maximizar la tasa de utilización prevista y minimizar el gasto total de la campaña de movilización	Heurísticos basados en descomposición de problemas
	Vehicle Scheduling Schemes for Commercial and Emergency Logistics Integration	Li, XH; Tan, QM	2013	China	PLOS ONE	Minimizar el costo total y maximizar el índice de satisfacción de la demanda	Esquema de programación de prioridades
	Improving Emergency Goods Transportation Performance in Metropolitan Areas under Multi-echelon Queuing Conditions	Xinhua He, X; Hu, W; Wu, JH; Wang, C	2013	China	Procedia - Social and Behavioral Sciences	Determinar un tiempo de respuesta mínimo	Algoritmo genético

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
	Coordinating efficiency and equity in disaster relief logistics via information updates	Zhan, SL; Liu, N; Ye, Y	2014	China	INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS SCIENCE	Minimizar el tiempo total, el total de las demandas no satisfechas, y los costos totales.	Enfoque bayesiano y FGP (fuzzy goal programming)
	A dynamic dispatching and routing model to plan/re-plan logistics activities in response to an earthquake	Najafi, M; Eshghi, K; De Leeuw, S	2014	Irán	OR SPECTRUM	Minimizar el tiempo de espera de los heridos y minimizar la demanda insatisfecha	Algoritmo de enrutamiento y envío dinámico (DDRA)
	The construction of emergency logistics and integrated transport system based on "scenario-response" mode	Zhao, Y; Qian, Y	2014	China	International Journal of Control and Automation	Minimizar el costo de transporte y transbordo, el tiempo de transporte y transbordo, y la tasa de accidentes de transporte y transbordo	Algoritmo Dijkstra modificado y método modo "escenario de respuesta"
	Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake	Wang, H; Du, L; Ma, S	2014	China	Transportation Research	Minimizar el tiempo de viaje y el costo total, y maximizar la fiabilidad de la entrega dividida	Algoritmo NSGA-II y NSDE
	Multistart Evolutionary Local Search for a Disaster Relief Problem	Rivera, Juan; Afsar, M; Prins, C	2014	Francia	Artificial Evolution	Minimización de la suma de los tiempos de llegada a los nodos de distribución	Algoritmo de Búsqueda Local Evolutiva MultiStart (MS-ELS)

Tema logístico	Título de la publicación	Autores	Año de publicación	País que lo desarrolló	Revista	Problema logístico	Método de solución
	A comprehensive evacuation planning model and genetic solution algorithm	Goerigk, M; Deghdak, K; Heßler, P	2014	Alemania	Transportation Research	Minimizar el tiempo de evacuación, el riesgo y el número de puntos de refugio	Algoritmo NSGA-II