

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**Revisión de la literatura de logística humanitaria y de modelos
matemáticos para el reparto de bienes de ayuda humanitaria**

**Trabajo de investigación para la obtención del grado de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

AUTOR

Ivonne Rocío Heredia León

ASESOR:

Christian Santos Cornejo Sánchez

Lima, diciembre, 2020

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----|
| RESUMEN | iii |
| 1. CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO | 1 |
| 1.1. Conceptos | 1 |
| 1.1.1. Desastre..... | 1 |
| 1.1.2. Damnificado..... | 2 |
| 1.1.3. Peligro | 3 |
| 1.1.4. Riesgo | 3 |
| 1.1.5. Respuesta | 3 |
| 1.1.6. Vulnerabilidad..... | 3 |
| 1.1.7. Análisis de la vulnerabilidad en casos de desastres | 5 |
| 1.1.8. Dimensiones de la vulnerabilidad..... | 6 |
| 1.2. Logística humanitaria..... | 11 |
| 1.2.1. Características de la logística humanitaria y diferencias con la logística convencional..... | 12 |
| 1.2.2. Coordinación en logística humanitaria | 13 |
| 1.2.3. Manejo de información en logística humanitaria..... | 15 |
| 1.2.4. Aspectos esenciales del manejo de información en la logística humanitaria | 15 |
| 2. CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE | 18 |
| 3. CAPÍTULO 3. CONCLUSIONES | 24 |
| Referencias..... | 26 |

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 12



RESUMEN

La presente investigación se enfoca en las características intrínsecas de la población y de su medio de vida, las cuales repercuten en el daño provocado por los desastres naturales hacia la misma, algunos indicadores como la vulnerabilidad, exposición y resiliencia. Este último toma un rol importante para desarrollar la fase de respuesta del desastre. Se presentarán las fases del manejo de desastres y se explicará el rol de la logística humanitaria en los eventos de desastre natural, así como las características de esta disciplina, las cuales resultarán en las diferencias más importantes con la logística convencional. Debido al entorno cambiante de la respuesta humanitaria el flujo de información y la coordinación entre las organizaciones que brindan ayuda humanitaria es esencial para el éxito de la respuesta, por lo que estas características se presentarán en este estudio. Además, se presentarán modelos matemáticos que optimizan situaciones importantes en la circunstancia del desastre natural. Se concluyó que las soluciones óptimas para escenarios complejos, como los que se obtienen en la logística humanitaria, se logran utilizando herramientas de diferentes disciplinas como los modelos exactos de programación lineal y las heurísticas del campo de la inteligencia artificial.





1. CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta algunos términos sobre los desastres naturales, indicadores de medición de dimensiones de la vulnerabilidad y una revisión de la literatura sobre la logística humanitaria.

1.1. Conceptos

1.1.1. Desastre

Según la Organización de Naciones Unidas (2009), el desastre se define como “una interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad y ocasiona una gran cantidad de pérdidas, tanto materiales como no materiales” (p. 13); estas, a su vez, no pueden ser afrontadas por la comunidad con el uso actual de sus recursos. Por otro lado, según el Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED, s.f.) los desastres se clasifican en naturales y tecnológicos. En particular, la tabla 1 muestra la clasificación de los desastres naturales y definiciones según el CRED (s.f.).

Sin embargo, una interrogante que surge a menudo es si todos los fenómenos naturales devienen en desastres naturales. Maskrey (1993) define al fenómeno natural como un suceso frecuente y relacionado con las leyes de la naturaleza, el cual puede ser tan leve como una llovizna y extraordinario como un tsunami. Sin embargo, este hecho no es peligroso *per se*, sino, esta peligrosidad está relacionada con la vulnerabilidad, exposición y la prevención de cierta población. (Banco Mundial, 2010). Por lo que, Hallegate (2014) afirma que ocurre un desastre natural cuando el fenómeno natural es potencialmente peligroso y este afecta a algún “sistema humano”, es decir, alguna población. Hallegate (2014) enfatiza en las consecuencias económicas de esta debacle, tanto en los bienes individuales de la población afectada, como en las áreas de producción y desarrollo de la misma. Por lo que se podría afirmar que un desastre incluye la intervención de factores humanos, vulnerabilidad y exposición, además de la peligrosidad del fenómeno natural, y tiene entre otras consecuencias, la suspensión abrupta de varias actividades económicas, perjuicios en la salud, pérdida de vidas humanas y de bienes materiales de la población.

Tabla 1

Clasificación de desastres

| Subgrupo de desastre | Definición | Ejemplo |
|-----------------------------|---|--|
| Geofísico | Un peligro originario de tierra sólida. Este término se usa indistintamente con el término peligro geológico. | Terremoto Movimiento de masas (seco) Actividad volcánica |
| Meteorológico | Un peligro causado por condiciones climáticas y atmosféricas extremas de micro y meso escala que dura de minutos a días. | Extremas temperaturas Niebla Tormentas |
| Hidrológico | Un peligro causado por la ocurrencia, movimiento y distribución de agua dulce y salada superficial y subterránea. | Inundaciones Deslizamientos Acción de olas (tsunami) |
| Climatológico | Un peligro causado por procesos atmosféricos de meso a macro escala de larga duración que van desde variabilidad climática entre estaciones hasta entre décadas. | Sequía Explosión de lago glacial Incendios forestales |
| Biológico | Un peligro causado por la exposición a organismos vivos y sus sustancias tóxicas (por ejemplo, veneno, moho) o enfermedades transmitidas por vectores. Algunos ejemplos son la vida silvestre y los insectos venenosos, las plantas venenosas y los mosquitos que transportan agentes causantes de enfermedades como parásitos, bacterias o virus (por ejemplo, malaria). | Epidemias Plagas Accidentes con animales |
| Extraterrestre | Un peligro causado por asteroides, meteoritos y cometas cuando pasan cerca de la Tierra, entran en la atmósfera de la Tierra y / o golpean la Tierra, y por cambios en las condiciones interplanetarias que afectan la magnetosfera, la ionosfera y la termosfera de la Tierra. | Impacto Radiación Fenómenos de meteorología espacial |

Nota. Tomado de CRED (s.f.)

1.1.2. Damnificado

Se refiere a una persona que resultó dañada por una emergencia o desastre que recibe refugio y ayuda humanitaria temporal debido a que el desastre o emergencia ha causado algún daño a su salud, bienes o vivienda; asimismo, no cuenta con la capacidad propia para recuperarse (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2017). Sin embargo, CRED (s. f.) separa esta definición en dos términos: afectados y heridos. El primer término, “afectados”, corresponde a la población cuyos recursos fueron vulnerados por el desastre, por lo que deben ser asistidos

con bienes de primera necesidad. El segundo término, “heridos”, corresponde a la población cuya salud fue dañada por el desastre, por lo que necesitará asistencia médica.

1.1.3. Peligro

Se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un desastre, ya sea de origen natural o causado por humanos, en una zona y periodo específicos (INDECI, 2010). Este peligro puede aumentar si la vulnerabilidad de la población es alta, esto se observa en un ejemplo de Blaikie, Cannon , Davis y Wisner (1996) en el cual especifican que las poblaciones vulnerables suelen ubicar sus viviendas en zonas riesgosas, como es una ladera de un río o muy cerca al cerro, debido a que no pueden obtener mejores localidades por sus bajos recursos; lo que los expone a peligros como deslizamientos, inundaciones, etc.

1.1.4. Riesgo

Según INDECI (2010) el Riesgo es la valuación de las pérdidas debido a la exposición al peligro y la vulnerabilidad de la población afectada. En este concepto está presente la probabilidad de ocurrencia. Asimismo, la ONU (2009) enfatiza la definición en las consecuencias negativas que acaecerían a la población. Por lo que en este estudio tomaremos ambos puntos de vista en consideración

1.1.5. Respuesta

Corresponde a la primera acción efectuada inmediatamente después del desastre, se encarga de suministrar servicios de emergencia y asistencia a la población damnificada con el fin de asegurar la seguridad pública, la salud y las necesidades básicas de los damnificados (ONU, 2009). Çelik et al. (2014) afirman que incluso en los casos que la preparación para lidiar con el desastre está planeada prolijamente, es posible que cuando ocurra la respuesta se tomen nuevas decisiones porque las condiciones en las que se desarrollará la respuesta son muy inciertas y cambiantes. Por lo que es preciso asegurar que la cadena de suministro y la cadena de comunicaciones no se interrumpan.

1.1.6. Vulnerabilidad

Según la ONU (2009) la vulnerabilidad es el conjunto de “características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza.” (p. 35). Los factores que se evalúan para medir la vulnerabilidad de la población son numerosos, entre ellos se incluyen características de la edificación de viviendas, como

materiales predominantes de construcción, la altura de las edificaciones, el estado de conservación, etc. (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2008). Asimismo, el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (2019) para medir la vulnerabilidad toma en cuenta variables que caracterizan a la población, tales como la anemia infantil, el embarazo adolescente, el número de locales de educación pública que cuenten con menos de tres servicios básicos, entre otros. Por otro lado, el INDECI (2010) lo define como el “Grado de resistencia y/o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro. Puede ser: física, social, económica, cultural, institucional y otros.”(p. 19). Estas definiciones muestran al menos un aspecto en común, la vulnerabilidad depende de la calidad de vida de la población, lo cual abarca un rango amplio de aspectos como el entorno en donde habitan, hasta la alimentación y la educación; asimismo, depende de las características colectivas de la población en la que habita el individuo y las características propias del mismo (Cutter, Boruff, & Shirley, 2003). Además, Lavell et al. (2012) separan la capacidad de prevención, respuesta y resiliencia ante el desastre de la definición de vulnerabilidad; esa propuesta la sustentan en que la capacidad de una población no es inherente a la vulnerabilidad; sin embargo, la capacidad es un factor determinante en la vulnerabilidad. Cabe resaltar que dicha capacidad abarca los recursos y la idiosincrasia inherente a la población con los cuales podrá afrontar los estragos dejados por el desastre.

Según el Banco Mundial (2010), la vulnerabilidad es un factor clave para la prevención de desastres y la disminución del gasto del desastre, asimismo esta entidad también afirma que la vulnerabilidad de la población está relacionada con los servicios que brinda el gobierno, ya que si estos satisfacen las necesidades de la población adecuadamente, se reduciría su vulnerabilidad. También el Banco Mundial (2010) afirma que si bien el crecimiento demográfico aumentaría los niveles de exposición de la población, esto no ocasionaría necesariamente un aumento de la vulnerabilidad, siempre y cuando este crecimiento se gestione óptimamente. Finalmente, la vulnerabilidad es una característica inherente a la población que posee muchas dimensiones; la cual se puede reducir con la ayuda del gobierno, siempre y cuando intervenga convenientemente y comunicándose con la población.

1.1.7. Análisis de la vulnerabilidad en casos de desastres

Según el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2017), el aumento poblacional, la falta de espacios urbanizados y las tendencias de ocupación de territorio han generado un aumento sustancial de la vulnerabilidad de la población frente a desastres naturales. Asimismo, el CENEPRED (2017) señala que para evaluar la vulnerabilidad se emplean tres factores, los cuales se presentan a continuación.

1.1.7.1. Exposición

Este factor indica la influencia de las decisiones y prácticas de población que la localiza en la zona de impacto del peligro (CENEPRED, 2017), Por lo que está presente cuando el manejo del hábitat no es adecuado; por ejemplo, en procesos de crecimiento demográfico acelerado y no planificado. Lavell et al. (2012) definen este término como la existencia de bienes materiales, estructuras económicas y sociales relacionadas con la población, a merced de algún suceso que pueda causar daño o pérdida a la misma. El Banco Mundial (2010) afirma que es posible que el aumento de este factor ocurra si los mercados inmobiliarios no se encuentran regulados y no se realizan intervenciones cuando es necesario. Asimismo, la misma entidad contrasta ambos polos opuestos; por ejemplo, asevera que uno de los efectos de la falta de regulación es el aumento desproporcionado en el precio de las propiedades con menor exposición hacia los fenómenos naturales, lo que supondría la localización de la población más vulnerable, económicamente, hacia los espacios con mayor riesgo; en cambio, si se el control es extremadamente severo los arrendadores descuidarán los inmuebles y aumentará la exposición y vulnerabilidad de la población. También, el Banco Mundial (2010) señala que el mantenimiento de la infraestructura pública es otro aspecto clave para la reducción de la exposición, ya que, en el peor de los casos, es posible que esta colapse ante algún fenómeno natural y dañe a la población de alguna forma. Cabe resaltar que dicha entidad propone que el crecimiento demográfico aumentará la exposición de la población. Una de las razones es la localización de población en zonas propensas a fenómenos naturales de gran magnitud. Otra de las razones es el cambio climático, ya que este evento no permite predecir adecuadamente el comportamiento de la naturaleza y los fenómenos naturales suelen tener efectos más concentrados, por lo que ocasionaría un aumento porcentual entre 50% y 125% en los costos de ayuda humanitaria.

1.1.7.2. Fragilidad

Este factor indica la desventaja de la población ante el impacto del peligro; en algunos casos puede existir debido a la falta de conocimiento de la población sobre temas de seguridad civil, su idiosincrasia y otros. Asimismo, si la población posee alta fragilidad, poseerá mayor vulnerabilidad. (CENEPRED, 2017)

1.1.7.3. Resiliencia

Este factor indica la capacidad de la población para recuperarse y sobrevivir al impacto del peligro, también incluye el incremento de su capacidad de aprendizaje y recuperación de los desastres pasados, de esta manera la población podrá buscar mejores alternativas de protección contra futuros desastres. (CENEPRED, 2017). Por otro lado, la ONU (2009) la define como la capacidad de un sistema humano de sobrevivir, recuperarse de un desastre natural y reestructurar las funciones básicas eficazmente. Sin embargo, Lavell et al. (2012) llevan el término más allá de la supervivencia y le añaden la antelación hacia el desastre y la mejora de la estructura funcional anterior. Cabe resaltar que Lavell et al. introduce los términos sobrellevar y adaptar para separar ambas opciones que posee la población para lidiar con el desastre natural y el calentamiento global; el primero implica solo la supervivencia de la población, centrándose en el presente; en cambio, el segundo abarca una reorientación en el manejo de desastres, así como una mejora en la predicción de los desastres. Asimismo, dichos autores afirman que si solo se utiliza una estrategia centrada en la adaptación disminuiría la capacidad de la población de superar los desastres y utilizar una estrategia enfocada solo en sobrellevar podría agotar los recursos necesarios para la supervivencia de la población. Por lo que los autores recomiendan utilizar una estrategia basada en ambos enfoques.

1.1.8. Dimensiones de la vulnerabilidad

Para poder analizar la vulnerabilidad de una cierta población de manera global, CENEPRED (2017) toma cuatro dimensiones. Además, se analiza cada factor en cada dimensión.

1.1.8.1. Dimensión física

Esta dimensión toma en cuenta la estructura y localización de las viviendas de la población (CENEPRED, 2017). Por otro lado, Douglas (2007) propone el uso de curvas de fragilidad en caso de analizar esta dimensión con los sismos, estas curvas muestran los daños probables en el material debido a cierta cantidad de daño infligido; sin embargo, no es posible utilizarlas

para fenómenos como deslizamientos e inundaciones. Por esa razón, propone el uso de funciones que tomen parámetros comunes como aceleración del suelo, presión atmosférica y otros para modelar los daños del desastre; no obstante, este enfoque tomaría muchos datos por recopilar, la posibilidad de que los daños sean causados por más de un desastre y la complejidad de modelar los efectos del evento. El uso de funciones que predigan los daños aumentaría la exactitud de los daños, con lo cual se podría planear certeramente el plan de contingencia y el costo de la pérdida. Por otro lado, Cutter Boruff y Shirley (2003) sostienen que la densidad de las infraestructuras de las urbanizaciones y la localización y la propiedad de las viviendas, en caso sean móviles, influyen en la vulnerabilidad de la población, ya que si la densidad es alta, muchas más personas serán afectadas por el desastre; asimismo, afirman que la destrucción de estas viviendas en zonas rurales es más común que en zonas urbanas. El Banco Mundial (2010) afirma que el planeamiento urbano es importante para evitar los desastres naturales, ya que con una buena planificación y mantenimiento se pueden contar con construcciones aptas para el uso de la población. A continuación, se muestran los factores evaluados por CENEPRED (2017).

Exposición física

Se evalúa de acuerdo a la cercanía de la vivienda hacia la zona del peligro, cuanto más lejos esté de la zona del peligro tendrá menor vulnerabilidad física.

Fragilidad física

Este factor evalúa la fragilidad de los activos fijos de la población frente al impacto de un peligro. Por ejemplo, los centros poblados informales tienen mayor riesgo de desastre que las zonas residenciales porque usualmente la ubicación de las viviendas está en un terreno con altas pendiente y otras áreas marginales. (CENEPRED, 2017) Los parámetros utilizados por CENEPRED (2017) para medir este factor son tipo de vivienda, material predominante, abastecimiento de agua, acceso a los servicios higiénicos, tipo de alumbrado, localización de la vivienda, estado de conservación, topografía del terreno y configuración de elevación.

Resiliencia física

Se evalúa la resiliencia de las estructuras físicas de las viviendas mediante los siguientes parámetros: porcentaje de viviendas que cumplen con el código de construcción y porcentaje de viviendas que cumplen medidas de reforzamiento de infraestructura y /o edificaciones. (CENEPRED, 2017)

1.1.8.2. Dimensión social

Esta dimensión toma en cuenta la idiosincrasia de la población a analizar (CENEPRED, 2017) y tiene como eje principal a las personas que habitan en el área estudiada. Asimismo, Cutter, Boruff y Shirley (2003) incluyen variables relacionadas al grupo socioeconómico, dependencia de un sector económico, la densidad de edificios o estructuras del entorno y desempleo para la evaluación de la vulnerabilidad social. Así, se puede afirmar que esta dimensión no solo toma en cuenta la idiosincrasia de la población; sino también el entorno en el que residen y factores relacionados con la ocupación, ya que estos afectan el estilo de vida de la misma. A continuación, se muestran los tres factores empleados por CENEPRED (2017) para evaluar esta dimensión de la vulnerabilidad.

Exposición social

Esta exposición mide la ubicación de la población en el área de influencia del peligro (CENEPRED, 2017).

Fragilidad social

Está referida a la fragilidad de la población (CENEPRED, 2017), por lo que evalúa los siguientes parámetros: grupo etario, género, nivel educativo alcanzado, condiciones de salud, afiliación a un seguro de salud, hijos nacidos vivos, tenencia de DNI, crecimiento poblacional, nivel de pobreza y analfabetismo (CENEPRED, 2017).

Resiliencia social

Se refiere a la resiliencia de la población (CENEPRED, 2017), para lo cual se evalúan los siguientes parámetros: analfabetismo, percepción del riesgo, actitud frente al riesgo, capacitación en gestión del riesgo de desastres y campaña de difusión (CENEPRED, 2017).

1.1.8.3. Dimensión económica

Esta dimensión toma en cuenta la disponibilidad de recursos económicos de la población y la mala utilización de los mismos. (CENEPRED, 2017). Por otro lado, Blaikie, Cannon, Davies y Wisner (1996) ejemplifican esta dimensión comparando el efecto de un ciclón tropical en una familia de un agricultor pobre y otra de uno rico de la India. Debido al acceso a recursos económicos, el agricultor rico pudo enterarse del ciclón antes de que llegara a la zona, por lo que pudo prever y resguardarse en otro lugar junto a su familia; sin embargo, el agricultor pobre no tuvo la misma suerte; a pesar de que tuvo menos daños materiales se recuperó en un

mayor tiempo. Esto se debe a que el agricultor rico contaba con ahorros, en cambio, el agricultor pobre se vio obligado a pedir préstamos abusivos, los cuales pagará con mucha dificultad.

Exposición económica

Se relaciona con la exposición hacia la zona del peligro debido a la actividad económica que realiza (CENEPRED, 2017).

Fragilidad económica

Se refiere a la fragilidad de la persona con respecto a sus ingresos económicos frente al impacto de un peligro. Para medir este factor se toman en cuenta los siguientes parámetros: ocupación principal, rama de actividad económica y diversificación económica (CENEPRED, 2017).

Resiliencia económica

Se refiere a la resiliencia desde el enfoque económico de la población y se mide con el porcentaje de empresas con pocos empleados (CENEPRED, 2017).

1.1.8.4. Dimensión ambiental

Esta dimensión toma en cuenta la utilización no sostenible de los elementos del entorno de la población. (CENEPRED, 2017) Además, Coppola (2015) manifiesta que un entorno saludable se protege a sí mismo y a la población que alberga; por ejemplo, es posible reducir la vulnerabilidad hacia las inundaciones de las comunidades que viven cerca de los pantanos, ya que si estos se encuentran saludables, la vegetación absorberá el agua residual de las lluvias y evitará las inundaciones; en cambio, si no se encuentran saludables, por ejemplo, contaminados, no podrán ejercer su función y las lluvias amenazarán el ecosistema y a la comunidad. A continuación, se mostrarán los factores que evalúa CENEPRED (2017) en este campo.

Exposición ambiental

Se refiere a la ubicación de ecosistemas dentro de la zona de influencia del peligro (CENEPRED, 2017).

Fragilidad ambiental

Se refiere a la fragilidad del ecosistema frente al impacto del peligro se mide con el porcentaje de tierra degradada y el porcentaje de tierra sobreutilizada (CENEPRED, 2017).

Resiliencia ambiental

Capacidad de resiliencia de los ecosistemas para recuperarse del impacto del siniestro. (CENEPRED, 2017)

1.1.9. Manejo de desastres

Este proceso abarca las siguientes fases según Cozzolino (2012).

Mitigación

Etapas en la cual se establecen procedimientos y normas cuyo objetivo principal es disminuir la vulnerabilidad de la población que se vería afectada por el siniestro (Cozzolino, 2012). Según Coppola (2015), La reducción de la vulnerabilidad se puede lograr reduciendo la probabilidad de ocurrencia, riesgo, o reduciendo el impacto del desastre. Asimismo, Coppola (2015) propone las siguientes metas en esta etapa: reducción de las consecuencias del riesgo, reducción del riesgo en sí, anulación del riesgo y transferir, compartir o diseminar el riesgo.

Preparación

Etapas en la cual se planifica y se realizan los preparativos correspondientes para efectuar la respuesta de la manera más eficiente posible; asimismo, se incorporan las lecciones aprendidas de desastres anteriores para aplicarlas en los posibles desastres futuros (Cozzolino, 2012). Asimismo, Coppola (2015) afirma que la creación de un planes de operaciones de emergencia para todos los niveles gubernamentales es crucial para estructurar las acciones ejecutadas para la recuperación; además, estos planes se pueden adaptar según el alcance de los desastres.

Respuesta

Esta fase ocurre inmediatamente después de la emergencia o desastre, en esta se implementan operaciones para activar redes de distribución temporales las cuales brindarán ayuda a las poblaciones afectadas (Cozzolino, 2012). Por otro lado, Coppola (2015) afirma que esta fase es la más compleja de todas debido a que los recursos a utilizar son escasos, el uso efectivo de esos recursos contribuye a minimizar las pérdidas económicas, sociales y humanas.

Asimismo, Alexander (1993) expone algunas ideas mal concebidas sobre el manejo de desastres, las cuales podrían afectar la etapa de respuesta, una de ellas es una tendencia centrada en la tecnología que promueve las soluciones que adaptan el medio ambiente hacia las necesidades de las personas; sin embargo, esto revelaría la falta de conocimiento de la población sobre su medio de subsistencia y los fenómenos naturales, los cuales no son esporádicos sino, repetitivos. Esta tendencia puede llevar a la población a subestimar el impacto del desastre, lo que afectaría la fase de preparación, respuesta y reconstrucción. Otro inconveniente en el manejo de desastres, según Alexander (1993), son los rumores que se esparcen en la población en la fase de respuesta. Este comportamiento podría causar desconfianza hacia el gobierno y las entidades encargadas de la fase de respuesta, por lo que complicaría la ejecución de las fases de respuesta y reconstrucción. Con el fin de evitar estas conductas, se recomienda, además de actualizar constantemente los planes de prevención con la participación de la población y el gobierno, la intervención del gobierno en el mantenimiento adecuado de la infraestructura común, la gestión óptima del crecimiento urbano y la funcionalidad de los servicios brindados a la población.

1.2. Logística humanitaria

Los desastres naturales causan alteraciones en el funcionamiento de la sociedad, así como cuantiosas pérdidas (Lavell et al., 2018). Asimismo, debido a que tienen como componente detonante, al menos, un fenómeno natural, el acceso hacia las áreas afectadas suele ser difícil y retador, además, es posible que algunas cadenas de suministro y algunas vías de tránsito hayan sido destruidas (Kovács & Spens, 2009). En ese sentido, la logística es uno de los elementos más importantes en la ayuda humanitaria, ya que hace la diferencia entre una buena y una mala respuesta ante el desastre. (Cozzolino, 2012). Daud et al. (2016) definen la logística humanitaria como el proceso para brindar ayuda a los afectados de un desastre natural y recuperar la funcionalidad de la sociedad. Sin embargo, optimizar la logística humanitaria es una tarea difícil en comparación con la logística comercial, esto se debe a muchos factores. Kovács y Spens (2009) señalan algunos de ellos. Por ejemplo, la demanda impredecible de bienes de ayuda, los apretados horarios para dejar la ayuda, la falta de recursos para entregar los bienes y la falta de bienes para satisfacer las necesidades de la población existente; Baporikar y Shangheta (2018) agregan la dificultad de estructurar los viajes de los vehículos para movilizar los bienes; además, es posible que algunas infraestructuras comunes estén en ruinas, lo que ralentizaría la entrega de bienes. Asimismo,

Kóvacz y Spens (2009) presentan otros problemas relacionados con la coordinación para la entrega de bienes, ya que las organizaciones no gubernamentales y los gobiernos extranjeros a la zona del desastre deben cooperar con el gobierno local para poder repartir la ayuda brindada; asimismo, el gobierno o entidad encargada de la zona afectada debe coordinar con las diferentes entidades encargadas de brindar salud, seguridad y albergues temporales para asignar las tareas a realizar. Çelik et al (2012) también agregan la falta de infraestructura en donde se almacenarían las donaciones para poder repartirlas a los afectados, así como algunos problemas de donadores externos en la fase de mitigación, ya que algunos benefactores podrían preferir ayudar a algunas localidades más que a otras, por lo que algunas regiones serían más beneficiadas que otras.

1.2.1. Características de la logística humanitaria y diferencias con la logística convencional

Existen diferencias sustanciales entre la logística humanitaria y la logística convencional, una de ellas son los objetivos, al respecto la logística convencional busca incrementar las ganancias, por el contrario, la logística humanitaria busca preservar la vida humana; por lo que es posible realizar acciones que involucren un gran desembolso de dinero, coordinaciones establecidas empíricamente y acciones disparatas y no solicitadas. (Tomasini & van Wassenhove, 2009). Otra diferencia importante en la logística humanitaria es la escasez de los recursos, sobre ese aspecto, Tomasini y van Wassenhove (2009) afirman la falta de los siguientes recursos: capital humano, tanto calificado como voluntarios y capital financiero, tanto liquidez como acuerdos crediticios por parte de proveedores. Asimismo, resaltan el daño a la infraestructura, el cual ralentiza o, en algunos casos, imposibilita el acceso hacia áreas afectadas.

Otras características resaltantes en la logística humanitaria son la alta incertidumbre y la urgencia requerida en la logística humanitaria, las cuales contrastan con el escenario seguro de la logística convencional. Según Çelik et al., 2012, dicha incertidumbre surge, entre otras razones, por causa de los cambios impredecibles de la demanda; por el acceso limitado hacia los recursos; también por las limitaciones de capital que dificultan establecer acuerdos con algunos proveedores; la posibilidad de almacenes de bienes destruidos por el desastre y la falta de recursos necesarios para el transporte. Asimismo, otro factor que aumenta la incertidumbre es la naturaleza y estado de los bienes perecibles y donados, las cantidades donadas y las características de sus empaques, estos factores dificultan el transporte y

almacenamiento de los bienes a distribuir. Asimismo, la urgencia surge debido a que las acciones de ayuda humanitaria son necesarias para salvar vidas, y la ausencia o demora de las mismas resultaría, en la mayoría de casos, en pérdidas humanas o deterioro de la calidad de vidas humanas.

Çelik et al. (2012) también refiere que los datos que se poseen en el entorno de la logística humanitaria, en oposición a la logística convencional, pueden ser inconsistentes o insuficientes para predecir la demanda, debido a la incertidumbre. También incluyen la falta de pericia del personal u voluntarios de las organizaciones no gubernamentales en herramientas necesarias para resolver problemas logísticos u operacionales; lo cual no sucedería en la logística convencional.

Por otro lado, Tomasini y van Wassenhove (2009) incluyen la politización del entorno en las características de la logística humanitaria, esto se debe a que todas las acciones humanitarias no solo son acciones de ayuda, sino, están sujetas a la presión externa generada por problemas políticos; los autores refieren el ejemplo de la suspensión de actividades humanitarias en una parte de Bosnia controlada por Serbia en el año 1993; esta decisión fue duramente criticada por distintos políticos alrededor del mundo; sin embargo, cuando se supo que esta decisión fue tomada debido a que el gobierno a cargo no brindaba seguridad a los voluntarios y miembros de las Naciones Unidas (NU) que operaban en ese lugar, después de las negociaciones, pudieron obtener la seguridad requerida para continuar con los esfuerzos de ayuda humanitaria en dicha área. Asimismo, Tomasini y van Wassenhove plantean otro ejemplo, en el año 2002 en el sur de África las donaciones de alimentos brindadas al programa mundial de alimentos de la NU consistían en maíz alterado genéticamente, este bien de ayuda fue rechazado por el gobierno Zambia, por lo que NU se vio obligada a retirar las donaciones y buscar nuevos proveedores.

1.2.2. Coordinación en logística humanitaria

Según Akhtar, Marr y Garnevska (2012) “la coordinación entre organizaciones es necesaria para poder atender a la población en las circunstancias del desastre porque es casi imposible que solo una organización pueda satisfacer las necesidades de los damnificados” (pp. 85). Asimismo, exponen dos tipos de coordinación: horizontal, entre organizaciones similares, por ejemplo, entre ONGs, y vertical, entre organizaciones no similares, por ejemplo entre

proveedores y ONG. Balcik et al. (2009) exponen los factores que afectan la coordinación entre organizaciones; una de ellas es la cantidad y diversidad de actores. Si bien todas las organizaciones persiguen fines similares, existen diferencias en sus operaciones, por ejemplo, diferencias culturales, geográficas o políticas; estas diferencias dificultarían las coordinaciones entre organizaciones; por ejemplo, es posible que una organización de un determinado país de habla no inglesa se reúna con una ONG extranjera sin previo acuerdo de comunicación en un idioma, debido a que no existe un procedimiento para reuniones con organizaciones extranjeras. Además, es posible que exista la barrera cultural entre la población afectada y las organizaciones, sobre todo, si son organizaciones internacionales.

Por otro lado, la estructura de financiamiento y las expectativas de los donantes son factores decisivos en las operaciones de logística humanitaria para organizaciones no gubernamentales (ONGs), ya que la mayoría de estas solo cuentan con las donaciones como financiamiento para poder operar, asimismo, los donantes pueden escoger entre una gran variedad de organizaciones en caso la ONG que hayan escogido no cumpla con algún punto estipulado en el contrato. Este tipo de financiamiento lleva a la competencia entre ONGs por la obtención de donantes, sobre todo en la primera etapa del desastre.

En la etapa de coordinación, la incertidumbre también dificulta su desempeño, porque en la etapa temprana posterior del desastre no se conoce todas las zonas afectadas; asimismo, los niveles de financiamiento y el entorno político son cambiantes, estos son factores que dificultan establecer cadenas de coordinación efectivas y se diseñan de manera empírica.

Por otro lado, Balcik et al. (2009) afirman que la escasez de recursos y el exceso de donaciones puede ser perjudicial. En el primer caso, las organizaciones competirán por los recursos, lo que complicará la coordinación en el futuro; en el segundo caso, es posible que se gasten recursos como transporte, tiempo y personal en recursos que no son necesarios, en desmedro del beneficio que podría recibir la población. Asimismo, Balcik et al. (2009) también afirman que el costo de coordinación puede ser elevado, debido a que incluye los salarios y los costos de viaje incurridos en las reuniones con otras organizaciones en la fase de preparación y mitigación, antes del desastre. Akhtar, Marr y Garnevska (2012) incluyen otros aspectos negativos en la etapa de coordinación, como el tiempo perdido en reuniones de coordinación infructuosas, la falta de cooperación de los gobiernos, así como la falta de trabajadores calificados. Por otra parte, Akhtar, Marr y Garnevska (2012) atribuyen el éxito

de la coordinación a los gestores de cada organización involucrada; dichos autores proponen las siguientes características en esos gestores para lograr una coordinación ágil, flexible y productiva entre todas las organizaciones involucradas: liderazgo adaptable, experiencia y educación, manejo de relaciones, habilidades de investigación y la medición del desempeño de la organización para mejorar la toma de decisiones.

1.2.3. Manejo de información en logística humanitaria

Según Tomasini y van Wassenhove (2009) la recolección de información es una de las tareas más importantes para poder lograr los objetivos de esta disciplina en el campo; porque esta información es necesaria para tomar decisiones sobre los bienes que serán repartidos, dónde serán repartidos y cuándo llegarán a su destino. Asimismo, dichos autores mencionan cuatro olas de información, las cuales se desarrollan en torno al desastre; la primera tiene como detonante la ocurrencia del desastre, esta información refleja los lugares afectados por el desastre; la segunda ola refleja las necesidades puntuales de la población damnificada, y quiénes son los actores necesarios para cubrir estas demandas; la tercera ola de información muestra la ayuda que se brindó por parte de los actores responsables, cantidad y tipos de bienes enviados, cuándo se obtuvieron los bienes y cuándo se enviaron; finalmente, en la cuarta ola de información se obtendrá el reparto de las donaciones a la población, cuántos bienes llegaron y a cuánta población se pudo beneficiar, en esta parte de la emergencia se puede determinar si hubo saqueos o algún otro incidente que no permitió el uso de los bienes, por ejemplo, empaques deteriorados. Con respecto al flujo de información entre actores de la logística humanitaria, Altay y Labonte (2014) afirman que es un elemento importante para establecer la coordinación entre los mismos y que resolver algún impedimento de información posterior a la etapa inicial en la que ocurrió resulta más complejo. Asimismo, Daud et al.(2016) concluyen que comunicar información importante oportunamente y el aprendizaje para la posterior colaboración entre organizaciones, es una labor importante para el funcionamiento óptimo de las organizaciones en la logística humanitaria.

1.2.4. Aspectos esenciales del manejo de información en la logística humanitaria

Tomasini y van Wassenhove (2009) plantean tres aspectos necesarios para que la información pueda ser utilizada por los actores de la ayuda humanitaria en la etapa de respuesta los cuales se explicarán a continuación; uno de ellos es la visibilidad de los datos, por ejemplo, contar con una plataforma estandarizada que muestre los datos necesarios y posea una interfaz amigable con el usuario podría ayudar a gestionar el capital humano que será requerido en

ciertas áreas, así como visualizar las áreas cuya demanda no fue atendida. Con este aspecto se busca reconocer las fallas en la logística para proponer las acciones correctivas respectivas. Otro aspecto es la transparencia, esta se refiere al entendimiento intrínseco de los procesos, en cuestión a cómo estos se relacionan con la cadena de suministro y cómo es posible aumentar la eficiencia de la cadena de suministro mejorándolos; por ejemplo, con la visibilidad de la información es posible saber qué transportes se utilizaron para llevar bienes a la zona afectada; sin embargo, no es posible saber si se utilizó la ruta óptima o la cantidad de bienes óptimos para repartir, lo cual es posible con la transparencia. Otro aspecto importante para el manejo de la información es la responsabilidad de los actores frente a las tareas asignadas o a las coordinaciones; este aspecto también considera comunicar las acciones a todos los interesados, en este caso, entidades estatales, ONGs y a la población. La falta de alguno de estos aspectos podría acaecer en algunos impedimentos del flujo de información presentados por Altay y Labonte (2014); por ejemplo, la inaccesibilidad a la información la cual puede ocurrir debido a la falta de responsabilidad, por no reportar la información o debido a la falta de la visibilidad en los sistemas de información utilizados. Day, Junglas y Silva (2009) presentan otros impedimentos ligados a compartir la información, por ejemplo, la renuencia a compartir información entre organizaciones, la gestión inadecuada de los medios de almacenamiento, la baja prioridad a la recolección, procesamiento y difusión de la información. Muchos de estos inconvenientes podrían solucionarse si las organizaciones aplicaran la transparencia, la visibilidad y si llevaran una buena gestión de las relaciones entre organizaciones.

En síntesis, se puede afirmar que los desastres naturales, los cuales son causados por los fenómenos naturales y en particular la intervención humana la cual abarca la vulnerabilidad, la exposición y la resiliencia de la población, pueden causar muchas pérdidas a la población; sin embargo, es posible mitigar las pérdidas, tanto económico como de vidas humanas.

Con respecto a la definición de vulnerabilidad, mide la propensión de la población a sufrir daños por parte del fenómeno natural. Asimismo, la vulnerabilidad tiene varias dimensiones, las cuales se relacionan con la idiosincrasia de la población, la estructura de la misma, los sectores productivos que desarrolla y las condiciones de la infraestructura en la que habita. CENEPRED (2017) clasifica estos factores en tres dimensiones: física, social, económica y ambiental, con el fin de estimar este indicador fácilmente en la población.

Con respecto a la definición de la exposición, mide la influencia de las decisiones que toma la población y que la ubican en un lugar que, posiblemente, pueda ser vulnerado por algún desastre natural.

Acerca de las recomendaciones para mitigar los efectos negativos de los desastres, la revisión de la literatura señala que la prevención individual de la población para evitar exponerse al desastre natural no siempre es suficiente; por lo que es necesaria la intervención del gobierno para que este asegure la regulación equitativa del mercado inmobiliario, el mantenimiento y la construcción adecuados para evitar la exposición de las personas más vulnerables hacia los espacios más peligrosos. Asimismo, como señala Alexander (1993), existen algunas ideas mal concebidas sobre el manejo de desastres, una de ellas es que solo es posible combatir los desastres naturales educando a la población sobre la responsabilidad que ellos poseen sobre su propia seguridad y los riesgos a los que se exponen. El estudio del Banco Mundial (2010) muestra lo contrario, ya que si los servicios brindados por el gobierno hacia la población fuesen efectivos, la vulnerabilidad de la población disminuiría, incluso, ejemplifican este punto con la situación de una población en Yakarta, la cual no contaba con agua potable, por lo que extraían agua subterránea, esto causaba hundimiento en el terreno, lo que resultaba en un aumento de su vulnerabilidad hacia las inundaciones. Cabe resaltar que el deterioro de la infraestructura es una de las dificultades de la logística humanitaria, así como la escasez de recursos y la incertidumbre de las demandas, la politización de las acciones, la falta de coordinación en un entorno tan cambiante, lo cual puede ralentizar la entrega de ayuda. Cabe resaltar que la diferencia entre la logística humanitaria y la convencional, no solo diverge en los objetivos, sino en la incertidumbre del entorno, la falta de recursos, falta de datos utilizables, la falta de personal capacitado y la politización de las acciones. Asimismo, los esfuerzos en la coordinación vertical y horizontal podrían mejorar la gestión de la logística humanitaria; sin embargo, esto no es suficiente para lograr una coordinación exitosa según Akhtar et al. (2012)

2. CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se exponen algunos modelos matemáticos planteados con el fin de optimizar los recursos en la fase de respuesta en el manejo de desastres. Algunos de los impactos más severos de los desastres naturales son las muertes causadas por terremotos pueden llegar a ser cuantiosas. Según Safar (1985) los terremotos pueden dejar un saldo de heridos equivalente hasta de tres veces el número de decesos; asimismo, también afirma que existen víctimas con traumas severos, las cuales solo pueden ser salvadas en los siguientes minutos y necesitarán soporte vitalicio en las siguientes 6 a 12 horas. Según Bartels y VanRooyen (2012), existen otro grupo de víctimas que perecen en las siguientes horas después del desastre, en la mayoría de casos, por causa de fracturas múltiples y problemas en los órganos internos debido al aplastamiento de las edificaciones derruidas por el terremoto. Según la base de datos de CRED (s.f.) el promedio anual de muertes por desastres natural entre los años 1990 y 2019 fue de aproximadamente 11 628 y el promedio anual de afectados fue de 10 263 983, de los cuales el 5.24% corresponde a afectados por terremotos y el 65% a las muertes por terremotos

Con el propósito mejorar la atención de los damnificados por los desastres naturales, se han diseñado diversos modelos matemáticos, en particular, en la literatura se encuentran diseños de modelos de programación entera mixta y otros tipos de modelos matemáticos (e.g, Mohamadi & Yaghoubi, 2017; Chanta, Mayorga & McLay, 2011; etc) los cuales se explican a continuación.

Mohamadi y Yaghoubi (2017) plantearon un modelo biobjetivo para resolver el problema de distribución de servicios médicos en emergencias. El modelo presentado cuenta con dos partes, una relacionada a la locación de puntos de transferencia (TPLP, por sus siglas en inglés) en la fase de preparación y otra a la localización y distribución rápida de suministros de emergencia (LRDES, por sus siglas en inglés) en la fase de respuesta. El modelo minimiza el tiempo de transporte, los costos de transporte y las penalidades de las áreas afectadas no atendidas, estas penalidades dependen de los triajes. Además, supone la existencia de puntos de transferencia para pacientes, centros de respaldo de los almacenes y adiciona el uso de triajes para establecer la severidad de las heridas en los damnificados.

Asimismo, Chanta, Mayorga y McLay (2011) proponen un modelo biobjetivo para la localización de ambulancias en estaciones apropiadas en zonas urbanas y rurales. Este modelo maximiza el valor esperado de llamadas de emergencias que se pueden cubrir. Este objetivo busca elevar la eficiencia del sistema resultante del modelo, ya que este indicador se mide con la cobertura esperada. El modelo, también, minimiza la distancia máxima entre las zonas no cubiertas con demanda de servicios médicos y las estaciones abiertas más cercanas a estas, minimiza el número de zonas rurales no cubiertas y el número de zonas no cubiertas con demanda de servicios médicos. Estos últimos objetivos buscan reducir la tendencia a priorizar las áreas urbanas frente a las rurales.

Por otro lado, Vitoriano, Ortuño, Tirado y Montero (2010) proponen el uso de la optimización multicriterio para la distribución de ayuda humanitaria en áreas afectadas que toma en cuenta la red de transporte, los bienes que se distribuirán, los diferentes tipos de vehículos, los elementos de operación que corresponden al monto máximo posible para la operación y la cantidad global que se distribuirá. Asimismo, incluyen otros atributos como la fiabilidad, la probabilidad de saqueos, y otros. Los aspectos de optimización son el costo, tiempo, equidad de acceso a las áreas afectadas, prioridad de atención en áreas muy afectadas, la fiabilidad y seguridad. El modelo que proponen es uno de programación lineal entera mixta que minimiza la desviación de las variables penalizadas las cuales están vinculadas a los aspectos de optimización. En el ámbito de la optimización multiobjetivo, Lin, Batta, Rogerson, Blatt y Flanigan (2011) proponen un modelo para la distribución de bienes con prioridades, los autores comparan dos algoritmos, uno genético y otro que implementa una heurística de descomposición y asignación que los autores diseñaron para encontrar las mejores rutas que utilizará el modelo. Asimismo, los autores adicionan ventanas de tiempo suaves en la formulación del modelo, es decir, es posible entregar los bienes con retrasos; sin embargo, se agregan penalidades a estas entregas retrasadas y a los bienes no entregados. Por otro lado, la función objetivo minimiza las penalidades imputadas a las entregas retrasadas y a los bienes no entregados. Asimismo, los autores concluyeron que el uso de la heurística era más adecuado que algoritmos genéticos debido a que el tiempo de ejecución es mucho menor; a pesar de que el porcentaje de demanda atendida fue de 99.8% en algoritmos genéticos y 95.5% con la heurística.

Por otro lado, Balcik y Beamon (2008) aplican un modelo de programación entera mixta para la distribución de bienes de ayuda humanitaria en casos de desastre el cual tiene como

objetivo la maximización de la demanda de bienes cubierta por los almacenes. Este modelo incluye la evaluación en diferentes escenarios y las restricciones están relacionadas con la capacidad de los almacenes y el costo de construcción y puesta en marcha de los mismos.

También en el ámbito de la programación entera mixta, Repoussis, Paraskevopoulos, Vazacopoulos y Hupert (2016) formularon un modelo para la atención de personas afectadas en incidentes con víctimas masivas. Los autores toman en cuenta la capacidad de los hospitales expresada en cantidad de camas disponibles, los diferentes tratamientos que imparten los mismos y la severidad de las heridas. El modelo minimiza el tiempo máximo de completitud de los tratamientos de todos los pacientes. Asimismo, proponen la minimización del tiempo de transporte de los pacientes tomando en cuenta el triaje¹ de esta manera reducen la mortalidad de los afectados y propone límites inferiores y superiores del tiempo total de completitud de atención de afectados utilizando un algoritmo metaheurístico propuesto por los autores. Asimismo, los autores concluyeron que para problemas de reducida escala desde 12 pacientes la calidad de la optimización no es aceptable, ya que la brecha entre los límites superiores e inferiores es de 29.10%; asimismo, el tiempo de respuesta de las ambulancias aumenta considerablemente, a pesar de que la capacidad de los hospitales exceda a las víctimas; este problema se resolvió aumentando la cantidad de ambulancias de 3 a 4 y se lograron mejores resultados. Para problemas a gran escala, los autores concluyeron que el número de ambulancias y el número de hospitales afectan ambos objetivos. Cuando se aumentaba el número de ambulancias los hospitales se convertían en los cuellos de botella, por lo que debían balancear ambas cantidades. También se probó la búsqueda Tabú, la cual obtuvo mejores soluciones que el algoritmo híbrido.

Chen y Yu (2016) proponen otro modelo de programación entera mixta para mejorar el desempeño de los servicios médicos de emergencias después de desastres mediante el planeamiento de la localización de instalaciones temporales que brinden estos servicios. Este modelo minimiza la distancia o el tiempo de viaje desde las zonas de demanda de servicios hacia las instalaciones de emergencia. Además, para este modelo los autores asumen que el número de víctimas totales es igual a la capacidad de las instalaciones de emergencia. Proponen otro modelo utilizando relajación lagrangiana que añade la restricción relacionada a la asignación de instalaciones a la función objetivo, también adaptan el uso de una heurística codiciosa para aumentar la escalabilidad del problema. Asimismo, utilizan el algoritmo k-medoids basado en matrices para ubicar las instalaciones de emergencias.

Kamali, Bish y Glick (2017) proponen un modelo de programación entera para determinar el orden de servicio de los hospitales que maximice la cantidad de sobrevivientes en incidentes con víctimas masivas. Por lo que este modelo maximiza la suma de probabilidades de supervivencia para todas las víctimas en el tiempo de servicio, tomando en cuenta la clasificación de las misma siguiendo un triaje, en este caso utilizan la clasificación START (Simple Triage And Rapid Treatment), el cual consiste en clasificar a los heridos en cuatro colores, negro, rojo, amarillo y verde en ese orden según la respiración, pulso y perfusión del paciente (Gebhart & Pence, 2007). El modelo considera que el acceso a todas las víctimas es posible desde el inicio de la respuesta al siniestro, las ambulancias y otros servidores aumentan con el tiempo de respuesta y los servidores trabajan de una manera no preventiva, es decir, puede que estén ocupados con víctimas que no corresponden al incidente; sin embargo, no considera el decrecimiento de la probabilidad de supervivencia cuando aumenta el tiempo de espera. Los autores presentan otros modelos los cuales son simplificaciones del modelo propuesto. Además, analizan el escenario con múltiples servidores y dos tipos de víctimas, las inmediatas y las atrasadas. En este escenario se utiliza una versión simplificada del modelo propuesto y el uso de dos heurísticas, QS-ReSTART y QD-ReSTART, relacionadas con el orden de atención de los tipos de víctimas.

En el ámbito de la optimización estocástica, Mete y Zabinsky (2010) proponen un modelo para la distribución y localización de almacenes para el suministro médico en casos de desastres. Este modelo implica tres etapas y diferentes escenarios, en la primera etapa proponen la selección de los almacenes tomando en cuenta la capacidad y el tipo de material que se entregará; además, en esta etapa se optimiza el costo total de los almacenes; en la segunda etapa se establecen los planes de transporte y la satisfacción de la demanda, cabe resaltar que se agrega una penalidad a la demanda no satisfecha, por lo que se minimiza el tiempo de transporte total y la penalidad obtenida y en la tercera etapa se busca minimizar el tiempo de transporte de los medicamentos.

Kohasteh y Macit (2017) proponen otro modelo de programación estocástica para la toma de decisiones del suministro de insumos médicos para hospitales el cual minimiza la distancia entre los almacenes y los hospitales. Este modelo tiene un caso aplicado en la ciudad de Adana en Turquía y supone tres escenarios con diferentes horas de ocurrencia; asimismo, toman diferentes frecuencias de Richter. El modelo toma en cuenta las probabilidades de

ocurrencia e incluye la diferenciación de tres horarios de ocurrencia, horas laborales, horas pico y horas no laborales; además, cuenta con dos etapas. En la primera se seleccionan los almacenes que se utilizarán minimizando la distancia entre estos y el hospital al que brindarán los suministros médicos. En la segunda etapa se suministran las medicinas o suplementos y se minimiza la penalidad de no satisfacer toda la demanda y el tiempo de transporte total.

En el campo de la optimización robusta, Bozorgi-Amiri, Jabalameli, Alinaghian y Heydari (2012) proponen un modelo de programación no lineal para la distribución de bienes para los damnificados; además, utilizaron parámetros que varían según los escenarios. Asimismo, el modelo minimiza el costo total, es decir, los costos siguientes: el generado en la fase de preparación, en la puesta en marcha de los almacenes, el costo de transporte de los bienes de los proveedores hacia los almacenes, el costo de la fase de respuesta (la cual incluye costos de transporte de los almacenes a las áreas afectadas y el costo de inventario, entre otros) y la variación del costo total entre escenarios.

Algunos autores proponen el uso de herramientas de inteligencia artificial integradas con la programación entera mixta para la solución de problemas relacionados a la distribución de personas heridas a los hospitales. Uno de ellos es el modelo propuesto por Yi y Kumar (2007) quienes integran ACO (Ant Colony Optimization), el cual es un algoritmo metaheurístico para la construcción de rutas para el transporte de los heridos y un modelo de programación entera mixta que se encarga del flujo de heridos y productos en la red mediante los transportes, este modelo cuenta con prioridades de atención de la demanda de productos y de la atención de heridos; además, asume que existe una parte de estas demandas que no se podrá satisfacer. La función objetivo busca minimizar estas demandas no atendidas. Cabe resaltar que la optimalidad de ACO para el planteamiento de Yi y Kumar (2007) no se ve afectada si el sistema cuenta con menos de 40 nodos de transporte; asimismo, concluyen que la calidad de la solución de ACO depende de la capacidad de transporte hacia los nodos y que la influencia de este factor incrementa con el tamaño del problema, por lo que existe una brecha de optimalidad del 3.48% y 2.64% para problemas con capacidad ajustada y problemas con capacidad holgada, esta capacidad se calcula como la cantidad transportada entre la capacidad real del vehículo. Este factor no influye en el tiempo de ejecución de ACO el cual fue de 15.56s, comparado con el tiempo de ejecución de las soluciones directas del modelo fue de 69.69s.

Sung y Lee (2016) proponen un modelo de programación entera mixta para el transporte de pacientes hacia hospitales en caso de un incidente con víctimas masivas. Este modelo asume que todas las víctimas han sido identificadas, rescatadas y clasificadas según el triaje START. Las víctimas fallecidas o con categorías menores no serán transportadas hasta que no haya más pacientes de las categorías inmediatas o atrasadas, cabe resaltar que el modelo contempla la posibilidad de que un paciente no sea transportado debido a fallecimiento o una clasificación de triaje menor. Todas las ambulancias son de un solo tipo, solo pueden transportar a un paciente en cada viaje y están presentes en la escena del incidente listas para transportar a los afectados. La probabilidad de supervivencia es una función que decrece en el tiempo y los hospitales son idénticos en capacidad, es decir, todos atienden los mismos servicios. Asimismo, el modelo tiene una formulación similar al problema de programación de máquinas paralelas, pero difiere debido a la asignación de pacientes a hospitales. El objetivo del modelo es maximizar el número esperado de sobrevivientes del siniestro. Debido a que es un problema NP-complejo y la función objetivo es no lineal, se reformuló el problema en un maestro y subproblemas, los cuales se resolvieron mediante el enfoque de generación de columnas. En los experimentos computacionales se tomaron tres escenarios, pesimista, moderado y optimista para las funciones de probabilidad de supervivencia para los cuales se obtuvo un tiempo de ejecución promedio de 1.21s, 1.76s, 1.65s para cada escenario, respectivamente. La calidad de las soluciones son medidas con el indicador LP-IP el cual compara el valor objetivo de la solución actual con el valor objetivo de la solución del problema relajado, para este valor los autores obtuvieron que el LP-IP promedio es igual a 0.4% tomando en cuenta los tres escenarios, la máxima fue de 4.96 % y corresponde al escenario optimista y el percentil 95 es menor a 2% para todos los casos; con lo que concluyeron que la solución por generación de columnas tiene una calidad aceptable.

3. CAPÍTULO 3. CONCLUSIONES

La logística humanitaria engloba las acciones necesarias para llevar los bienes de ayuda hacia la población afectada por el desastre natural. Debido a la naturaleza cambiante del entorno que ocasiona el desastre natural, las organizaciones encargadas de aliviar las necesidades de la población con las donaciones poseen dificultades en la logística, las cuales incluyen daños en la red de tránsito, coordinación empírica, falta de capital, falta de recursos humanos, falta de colaboración por parte de los gobiernos, y otros (Balcik et al., 2009; Akhtar et al., 2012). Como se expuso en líneas anteriores, el objetivo de esta disciplina es satisfacer las necesidades de la población damnificada, usualmente, para lograr dicho fin es necesaria la entrega de bienes de primera necesidad y la movilización de heridos hacia los hospitales o centros de salud equipados para atender a los pacientes. Debido al entorno cambiante en el que operan las organizaciones, a la falta de recursos y a la urgencia inherente al mismo, es que surge la necesidad de optimizar los recursos en un periodo de tiempo prudente, en ese sentido, en el capítulo 2 se presentó una revisión de la literatura sobre la resolución de problemas de logística humanitaria usando modelos matemáticos. Los objetivos puntuales tratados fueron el traslado de las víctimas a los hospitales (e.g., Yi & Kumar 2007; Repoussis, Paraskevopoulos, Vazacopoulos & Hupert 2016; Sung & Lee 2016), o hacia instalaciones de emergencia como es el caso de Chen y Yu (2016). Asimismo, otros objetivos comprenden el traslado de bienes de ayuda (e.g., Vitoriano et al., 2010; Lin et al., 2011; Balcik & Beamon 2008 y Bozorgi-Amiri et al., 2012); la localización de ambulancias para obtener mejor efectividad y disminuir las muertes (Chanta et al., 2011) y suministro de insumos médicos (e.g., Mete & Zabinsky 2010; Kohasteh & Macit 2017; Mohamadi & Yaghoubi 2017).

A lo largo de la revisión se observaron diferentes enfoques y formulaciones para cumplir un mismo objetivo como es el caso de Lin et al. (2011) y Balcik y Beamon (2008), ambos grupos de autores buscan atender la emergencia con un eficaz sistema de distribución; sin embargo, Balcik y Beamon (2018) se centran en la localización y el stock necesario de los almacenes y Lin et al. (2011) se enfocan en las cantidades de bienes que se dejan en las áreas, los pedidos de las mismas y la satisfacción entendida como el ratio de la demanda del área entre la cantidad brindada. Balcik y Beamon (2018) utilizaron programación entera mixta, en cambio, Lin et al. (2011) utilizaron programación multiobjetivo y compararon algoritmos genéticos con una heurística creada por los autores.

Yi y Kumar (2007) y Sung y Lee (2016) buscan optimizar el traslado de víctimas hacia hospitales, para lo cual Yi y Kumar (2007) utilizan un modelo de programación entera mixta junto con ACO para elaborar las rutas de transporte y Sung y Lee (2016) diseñaron una formulación de programación entera mixta. Debido a que este modelo resultó NP-difícil y la complejidad computacional aumentaba conforme se incrementaba el tamaño del problema, los autores usaron un enfoque de generación de columnas para resolverlo. En contraste, Yi y Kumar (2007) utilizaron una función que permitía medir la probabilidad de supervivencia de las víctimas y elegir el orden de atención de las mismas.

El modelo propuesto por Repoussis, Paraskevopoulos, Vazacopoulos y Hupert (2016) también se enfoca en la atención de damnificados en incidentes con víctimas masivas. Debido a que el modelo resultante es similar a uno de programación de turnos de trabajos y estos modelos son difíciles de optimizar con técnicas de programación entera mixta, los autores optaron por usar un algoritmo híbrido de búsqueda local con múltiples inicios para encontrar las soluciones iniciales. Los experimentos computacionales se realizaron intercambiando los dos objetivos de optimización, es decir, el tiempo total de atención a las víctimas y el tiempo total del flujo de las víctimas hacia los hospitales tomando en cuenta la priorización del triaje.

En suma, se ha podido observar que los autores de la literatura mostrada utilizan la programación entera mixta para formular planteamientos a los problemas de logística humanitaria. Usualmente utilizan otras técnicas para poder solucionar los modelos, en caso sean muy complicados de optimizar (e.g., Repoussis et al., 2016; Sung & Lee 2016; Lin et al. 2011) o decidan tomar planteamientos con múltiples escenarios (e.g., Mete & Zabinsky 2010; Khojasteh & Macit 2017), otros enfoques (e.g., Kamali et al., 2017; Mohamadi & Yaghoubi 2017; Vitoriano et al., 2010) o realizar una mixtura interdisciplinaria para lograr mejores resultados (e.g., Yi & Kumar 2007; Bozorgi-Amiri et al., 2012; Chen & Yu 2016), los cuales enriquecen el modelo y obtienen mejores soluciones.

Referencias

- Altay, N., & Labonte, M. (2014). Challenges in humanitarian information management and exchange: evidence from Haiti. *Disasters*, 38(1), 50–72. doi:10.1111/disa.12052
- Akhtar, P., Marr, N. E., & Garnevska, E. V. (2012). Coordination in humanitarian relief chains: chain coordination. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 2(1), 85-103. doi: 10.1108/20426741211226019
- Balcik, B., Beamon, B. M., Krejci, C. C., Muramatsu, K. M., & Ramirez, M. (2009). Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities. *Int. J. Production Economics*, 126(2010), 22-34. doi: 10.1016/j.ijpe.2009.09.008
- Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics*, 11(2), 101-121. doi: 10.1080/13675560701561789
- Banco Mundial. (2010). *Peligros naturales, desastres evitables: La economía de la prevención efectiva*. Recuperado de <https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/peligros-naturales-desastres-evitables-2010.pdf>
- Baporikar, N., & Shangheta, L. B. (2018). Challenges facing humanitarian logistics in a Nonprofit Organization. *International Journal of Applied Logistics (IJAL)*, 8(1), 35-56. doi:10.4018/IJAL.2018010103
- Bartels, S. A., VanRooyen, M. J. (2012). Medical Complications associated with earthquakes. *The Lancet*, 379(9817), 748-757. doi: 10.1016/S0140-6736(11)60887-8
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres* (1a. ed). Bogotá, Colombia: Tercer Mundo Editores.

Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S., Alinaghian, M., & Heydari, M. (2012). A modified particle swarm optimization for disaster relief logistics under uncertain environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60, 357-371. doi: 10.1007/s00170-011-3596-8

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2017). *Manual para la Evaluación del Riesgo por Sismos*. Lima, Perú: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. Recuperado de http://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/MANUAL%20DE%20SISMOS.pdf

Centro Nacional de Planeamiento Estratégico. (2019). Vulnerabilidad de las personas en el territorio: más allá del ingreso. Lima, Perú. Recuperado de: <https://www.ceplan.gob.pe/wp-content/uploads/2019/09/CEPLAN-Vulnerabilidad-de-las-personas-en-el-territorio.pdf>

Centre of Research on the Epidemiology of Disasters (s.f.). [Base de datos]. The International Disaster Database. Recuperado de <https://www.emdat.be/>

Centre of Research on the Epidemiology of Disasters. (s. f.). *General Classification*. Recuperado de <https://www.emdat.be/classification>

Chanta, S., Mayorga, M. E., & McLay, L. A. (2011). Improving emergency service in rural áreas: a bi-objective covering location model for EMS systems. *Annals of Operations Research*, 211(2014), 133-159. doi: 10.1007/s10479-011-0972-6

Chen, Y. A., & Yu, T. (2016). Network based temporary facility location for the Emergency Medical Services considering the disaster induced demand and the transportation infrastructure in disaster response. *Transportation Research Part B: Methodological*, 91, 408-423. doi: 10.1016/j.trb.2016.06.004

- Coppola, D. P. (2015). *Introduction to International Disaster Management* (3a. ed). Kidlington, Inglaterra: Elsevier. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=m2KP3qbY1aUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Cozzolino, A. (2012). *Humanitarian Logistics* (1a. ed). Heidelberg, Alemania: Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-3-642-30186-5
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2). doi: 10.1111/1540-6237.8402002
- Çelik, M., Ergun, Ö., Johnson, B., Keskinocak, P., Lorca, Á., Pekkün, P., & Swann, J. (2012). Humanitarian logistics. *Tutorials in Operations Research INFORMS, 2014*, 18-49. doi: 10.1287/educ.1120.0100
- Day, J. M., Junglas, I., & Silva, L. (2009). Information flow impediments in disaster relief supply chains. *Journal of the Association for Information Systems*, 10(8), 637-660. doi: 10.17705/1jais.00205
- Daud, M. S., Hussein, M.Z., Nasir, M.E., Abdullah, R., Kassim, R., Suliman, M.S., & Saludin, M.R. (2016). Humanitarian logistics and its challenges: The literature review. *International Journal of Supply Chain Management*, 5, 107-110. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/309261867_Humanitarian_logistics_and_its_challenges_The_literature_review
- Douglas, J. (2007). Physical vulnerability modelling in natural hazard risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7(2), 283-288. doi: 10.5194/nhess-7-283-2007
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. (Ed.). (2018). Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos. *La Gestión de Riesgo Urbano en América Latina: Recopilación de Artículos*. Recuperado de <https://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/olga-lozano.pdf>

- Gebhart, M. E. & Pence, R. (2007). START triage: Does it work? *Disaster Management and Response*, 5(3), 68-73. doi: 10.1016/j.dmr.2007.05.002
- Hallegate, S. (2014). Economic resilience: Definition and measurement. *Policy Research Working Paper*. (6852). Washington DC, Estado Unidos: Banco Mundial
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2010). *Terminología de Defensa Civil* (5 ed). Lima, Perú: Instituto Nacional de Defensa Civil. Recuperado de http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/mat_edu/terminologia2010.pdf
- Kamali, B., Bish, D., & Glick, R. (2017). Optimal service order for mass-casualty incident response. *European Journal of Operational Research*, 261(1), 355-367. doi: 10.1016/j.ejor.2017.01.047
- Kohasteh, B.S., & Macit, I. (2017). A Stochastic Programming Model for Decision-Making Concerning Medical Supply Location and Allocation in Disaster Management. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 11, 1-9. doi: 10.1017/dmp.2017.9
- Kovács, G. & Spens, K. (2009). Identifying challenges in humanitarian logistics. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 39(6), 506-528. doi: 10.1108/09600030910985848
- Lavell, A., Oppenheimer, M., Diop, C., Hess, J., Lempert, R., Li, J., ... Myeong, S. (2012). Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. En *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change* (Adaptado de A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 25-64.
- Lin, Y. H., Batta, R., Rogerson, P. A., Blatt, A., & Flanigan, M. (2011). A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster. *Socio-Economic Planning Sciences*, 45, 132-146. doi: 10.1016/j.seps.2011.04.003

- Mete, H.O., & Zabinski, Z.B. (2010). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 76-84. doi: 10.1016/j.ijpe.2009.10.004
- Mohamadi, A., & Yaghoubi, S. (2017). A bi-objective stochastic model for emergency medical services network design with backup services for disasters under disruptions: An earthquake case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 23, 204-217. doi: 10.1016/j.ijdrr.2017.05.003
- Organización de Naciones Unidas. (2009). *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres*. Recuperado de https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf
- Repoussis, P. P., Paraskevopoulos, D. C., Vazacopoulos, A., & Hupert, N. (2016). Optimizing emergency preparedness and resource utilization in mass-casualty incidents. *European Journal of Operational Research*, 255(2), 531-544. doi: 10.1016/j.ejor.2016.05.047
- Safar, P. (1985). Resuscitation Potentials in Mass Disasters. *Prehospital and Disaster Medicine*, 2, 1-4. doi: 10.1017/S1049023X00030314
- Sung, I., & Lee, T. (2016). Optimal allocation of emergency medical resources in a mass casualty incident: patient prioritization by column generation. *European Journal of Operational Research*, 252(2), 623-634. doi: 10.1016/j.ejor.2016.01.028
- Tomasini, R., & Van Wassenhove, L. (2009). *Humanitarian Logistics (1a. ed.)*. Basingstoke, Reino Unido: Palgrave Macmillan.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem (1a. ed.)*. Filadelfia, Estados Unidos: Sociedad de Matemáticas Industriales y Aplicadas.
- Vitoriano, B., Ortuño, T., Tirado, G., & Montero, J. (2011). A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. *Journal of Global Optimization*, 51, 189-208. doi: 10.1007/s10898-010-9603-z

Yi, W., & Kumar, A. (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations.
Transportation Research Part E, 43, 660-672. doi: 10.1016/j.tre.2006.05.004

