

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE EMERGENCIA
CONSIDERANDO MEDIDAS DE ACCESIBILIDAD**

POR

GISELLE ALEJANDRA NARANJO VÁZQUEZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE MAestrÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

DICIEMBRE, 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE EMERGENCIA
CONSIDERANDO MEDIDAS DE ACCESIBILIDAD**

POR

GISELLE ALEJANDRA NARANJO VÁZQUEZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

DICIEMBRE, 2018

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Subdirección de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Localización de puntos de emergencia considerando medidas de accesibilidad», realizada por el alumno Giselle Alejandra Naranjo Vázquez, con número de matrícula 1885193, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis



Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa

Asesor



Dr. Leonardo Gabriel Hernández Landa

Revisor



Dr. Omar Jorge Ibarra Rojas

Revisor

Vo. Bo.



Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado



San Nicolás de los Garza, Nuevo León, diciembre 2018

A mi familia, mi motivación para continuar cada día.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	ix
Resumen	x
1. Introducción	1
1.1. Objetivo	4
1.2. Hipótesis	4
1.3. Justificación	4
1.4. Enfoque metodológico	5
1.5. Estructura de la tesis	6
2. Antecedentes	7
2.1. Desastre	7
2.2. Logística	10
2.2.1. Logística humanitaria	12
2.2.2. Optimización en la logística humanitaria	15
2.3. Problema de localización de instalaciones	16

2.4. Accesibilidad	18
2.5. Literatura relacionada	19
3. Metodología	22
3.1. Descripción del problema	23
3.2. Medidas de accesibilidad	24
3.3. Formulación matemática	26
3.4. Conjuntos	27
3.5. Variables	27
3.6. Parámetros	28
3.7. Restricciones	28
4. Resultados	30
4.1. Experimentación	30
5. Conclusiones	42
5.1. Contribución científica	44
5.2. Futuras líneas de investigación	44

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Etapas de la logística humanitaria	13
3.1. Problema que ejemplifica los radios de cobertura y de desplazamiento	25
4.1. Instancia A1 tomando en cuenta solo cobertura e instancia A2 donde se trabaja con todas las medidas de acceso	33
4.2. Instancia B1 tomando solo el indicador de cobertura	34
4.3. Instancia C1 tomando solo el indicador de cobertura	35
4.4. Instancia D1 tomando solo el indicador de cobertura	36
4.5. Instancia E1 tomando solo el indicador de cobertura	36
4.6. Comparativa entre zonas cubiertas directamente	40
4.7. Comparación entre el número de oportunidades que tienen las familias	41

ÍNDICE DE TABLAS

4.1. Datos utilizados en la primera experimentación del problema de localización tomando en cuenta medidas de acceso	32
4.2. Resultados de la experimentación preliminar del problema de localización	32
4.3. Datos utilizados en la segunda experimentación del problema de localización tomando en cuenta medidas de acceso	38
4.4. Resultados de la experimentación preliminar del problema de localización	39

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por haberme dado la oportunidad de estudiar este posgrado.

A mis padres por estar conmigo y apoyarme en todo momento.

A la Dra. Lucero Ozuna y el Dr. Leonardo Hernández que siempre estuvieron conmigo brindándome su paciencia y sabiduría.

A mi revisor el Dr. Omar Ibarra por haberme dado los mejores consejos.

A mis amigos por no olvidarse de mí a pesar de verme en contadas ocasiones.

Por último, quiero agradecer el apoyo económico que me ofrecieron el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, la Universidad Autónoma de Nuevo León que ha sido clave para mi formación personal y profesional donde realicé mi formación de maestría.

RESUMEN

Giselle Alejandra Naranjo Vázquez.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE EMERGENCIA CONSIDERANDO
MEDIDAS DE ACCESIBILIDAD.

Número de páginas: 49.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: En el momento en que sucede un desastre natural surge la pregunta, ¿donde colocar las ubicaciones de los centros de ayuda o refugios?, ya que se puede presentar la situación, en la cual, la totalidad de los clientes o víctimas no puedan acceder, por lo que las personas que no tengan acceso de manera directa a el refugio deberán recorrer una distancia para poder conseguir ayuda. Existen una serie de características que son tomadas en cuenta en la planeación urbana para lograr que las personas cuenten con la forma de poder acceder a lugares donde deben desplazarse, en este caso el número de oportunidades, cobertura, la accesibilidad, la desagregación espacial y la distancia.

Este trabajo tiene como objetivo incrementar las medidas de accesibilidad de las personas que se encuentran en zonas que han sido afectadas para poder llegar

a los centros de ayuda o refugios, es decir, que puedan llegar a los lugares donde se les ofrece ayuda, pero con el menor esfuerzo posible; además de tener varias oportunidades a las cuales puedan desplazarse; que las zonas afectadas que no han sido cubiertas estén lo más separadas posibles entre sí y que se cubran la mayor cantidad de zonas afectadas.

La herramienta que se utilizó para la toma de decisiones es la Programación Lineal Entera Mixta que pertenece a las técnicas de optimización y que permite representar el problema mediante una formulación matemática.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Las contribuciones de este trabajo son: la propuesta de una serie de medidas de accesibilidad para el problema de localización en el momento en que ocurre un desastre natural, el cual no había sido utilizada previamente en la literatura revisada; se realiza una comparación para mostrar las diferencias entre las medidas de accesibilidad que se proponen y como funciona solo tomando en cuenta la parte de cobertura. Podemos concluir que utilizando estas medidas de accesibilidad se incrementa el número de oportunidades que tienen las zonas afectadas de poder salvaguardar sus vidas, lo que hace que las personas que se encuentran en las áreas afectadas que no han sido atendidas puedan obtener más fácilmente ayuda.

Firma del asesor: _____

Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el número de emergencias humanitarias que se derivan de los desastres naturales o de conflictos causados por el hombre es cada vez mayor y se requiere de una respuesta inmediata. La rápida solución que se le proporcione a las poblaciones afectadas es un factor crítico, por lo que dichas emergencias deben ser atendidas en poco tiempo y de forma eficiente.

Mata (2017) nos dice que la logística humanitaria, busca la forma de brindarles ayuda a las personas que han sido víctimas de un desastre, agilizando algunos procesos para así poder tratar de aliviar el sufrimiento de las víctimas y minimizar las pérdidas humanas, se divide en cuatro etapas que encontramos en la literatura.

Para poder lograr el objetivo de la logística humanitaria se necesitan desarrollar acciones preventivas que minimicen los efectos causados de un posible desastre y la planificación de las acciones que se tomarán en caso de producirse un desastre natural (mitigación y preparación), además, de una adecuada valoración inicial del impacto para saber qué medidas se seleccionarán, en el caso de una mala decisión puede ocasionar daños irreversibles en la población (respuesta y reconstrucción).

Aunque en la actualidad es posible predecir algunos desastres naturales, esto no significa que serán inevitables o que no serán devastadores, cuando sucede algún tipo de emergencia, se tiene que implementar rápidamente un método para

poder brindarle ayuda a la población afectada, la realidad es que la mayoría de las ciudades no están preparadas de forma correcta para poder resistir catástrofes de gran magnitud lo cual genera que año con año se cobren miles de vidas de personas inocentes.

En el excelsior (2018), nos menciona que la costa sureste de Estados Unidos se vio afectada por un devastador ciclón extratropical en septiembre de 2018, dejando una cifra que asciende al menos 41 personas. «La empresa Moody's Analytics reportó que los daños ocasionados por el huracán se estiman entre 38 y 50 mil millones de dólares».

Los mexicanos no somos la excepción, ya que en octubre del 2007 el estado de Tabasco vivió una de las más grandes catástrofes causadas por el hombre, fue la peor inundación de su historia, provocando daños y pérdidas en toda su población. Esta se provocó por el desfogue de la presa Peñitas teniendo como consecuencias el aumento rápido en los niveles comunes de agua de los ríos Grijalva y Usumacinta que rodean los estados de Tabasco y Chiapas, el exceso de agua afectó a la población del territorio de Tabasco, y parte del estado de Chiapas; el Centro Estatal de Operaciones de Tabasco dio a conocer que el número de afectados ascendía a un millón 214 mil personas (La Jornada, 2007), repartidos principalmente en los 17 municipios que comprenden el Estado de Tabasco y dejando a la población de la capital de Tabasco como la mayor afectada por el desastre. De acuerdo a EL UNIVERSAL (2007), el estado prácticamente se convirtió en una laguna y a pesar de ello, por miedo a la rapiña, la gente se negaba a salir de sus casas. México se ubica entre los 40 países que a consecuencia de los desastres ha tenido las pérdidas económicas más altas, de acuerdo con estudios de la Organización de Naciones Unidas (ONU).

Cuando se presenta un desastre natural se derivan muchas complejidades adversas a los efectos que estos ocasionan, no se tienen recursos suficientes para ayudar a todas las poblaciones afectadas, se cuenta con caminos dañados para hacer llegar la ayuda a su destino y la saturación de los refugios.

Un refugio o albergue, es un lugar adecuado que brinda asilo para refugiarse provisionalmente a personas necesitadas y está situado en un lugar estratégico.

Existen zonas vulnerables debido a que el hombre cada día cuenta con más herramientas para cambiar su entorno, obstruyendo los cauces de los ríos u ocupando lugares que son propicios a inundaciones, deteriorando las cuencas, entre otros factores. Son estas localizaciones las que se encuentran cerca de una zona de peligro y resultan ser las más afectadas, las personas que viven en dichas zonas quedan desprotegidas y deben trasladarse a un refugio por su seguridad.

En la etapa de respuesta que es donde está ubicado este trabajo de acuerdo a los niveles de decisión de la logística humanitaria. Uno de los principales problemas que se presentan después de que sucede un desastre natural, es el donde ubicar los refugios para poder brindar ayuda a toda la población que ha sido afectada. Generalmente, se cuenta con ubicaciones potenciales para abrir dichos albergues, como son estacionamientos, escuelas, iglesias etc., sin embargo, los recursos con los que se cuentan para poder habilitar dichos refugios son limitados. Esto genera un problema de decisión y optimización conocido como el problema de localización de instalaciones.

El problema de localización de instalaciones típico ya ha sido muy estudiado, este trata de ubicar cualquier construcción para brindar algún tipo de servicio, pero no se le ha dado la importancia en el caso de logística humanitaria. La localización de puntos de ayuda se ha trabajado con el objetivo de maximizar la cantidad de personas que se puede albergar, o minimizar la distancia que se tiene que recorrer para llegar a un refugio, pero generalmente sin tomar en cuenta otras características que son importantes. En este trabajo se presenta un problema de localización y se busca maximizar las medidas de accesibilidad que tomen en cuenta características como: cobertura, distancia a los centros de ayuda, evitar aglomeraciones, etc.

La localización eficaz de los refugios es el tema principal de este trabajo de tesis.

1.1 OBJETIVO

Crear una herramienta basada en un modelo matemático que ayude a la localización de refugios en respuesta a un desastre natural considerando las diferentes medidas de desempeño como parte de su función objetivo.

Entre las características que se consideran de medidas de desempeño tenemos:

- el número de oportunidades a las que se pueden llegar,
- cubrir la mayor cantidad de personas que han sido afectadas,
- tomar en cuenta la desagregación espacial
- y reducir la distancia que se recorre para llegar al punto de ayuda o refugio.

Sujeto a las restricciones de la limitación de los recursos disponibles en el momento del desastre.

1.2 HIPÓTESIS

Mediante un modelo matemático se determinará la localización y cantidad de los refugios necesarios en zona de desastre, para maximizar las diferentes medidas de desempeño.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los desastres naturales azotan a países de todo el mundo, cada vez con mayor frecuencia que antes. Las consecuencias que se obtienen de estos fenómenos es la pérdida de setenta y cinco mil vidas humanas y un aproximado de doscientos millones de personas son afectadas cada año (Tomasini *et al.*, 2009).

Estos y otros efectos del cambio climático son, sin duda, el mayor reto que enfrenta la humanidad actualmente. Estos desastres han generado cientos de miles de muertes en su mayoría mujeres, niñas y niños de las zonas más pobres del planeta.

El principal efecto que se tiene al presentarse un desastre natural es el desplazamiento forzado de la población que ha sido afectada en busca de ayuda humanitaria, es por eso que la óptima localización de refugios permitirá el suministro de bienes y servicios, así como tener una mayor accesibilidad para poder llegar a los refugios, se logrará disminuir el sufrimiento de las víctimas y el número de muertes.

Es por ello que la presente investigación se enfoca en el problema de localización considerando algunas medidas de accesibilidad encontradas en literatura, ya que estas características no han sido muy estudiadas en la logística humanitaria.

1.4 ENFOQUE METODOLÓGICO

En el presente trabajo se realizó una revisión de la literatura considerando el problema de localización de instalaciones tomando en cuenta las medidas de accesibilidad, en el cuál se busca determinar la óptima localización de refugios para las personas que han sido afectadas puedan llegar de forma eficiente y salvaguardar su vida.

La solución del problema se llevó a cabo mediante la formulación de un modelo de programación lineal basada en el problema de localización con el objetivo de maximizar las medidas de accesibilidad, que comprende la cobertura, distancias, evitar aglomeraciones, etc.

Para realizar la experimentación del modelo matemático se utilizó el software GAMS, en el cuál se generaron localizaciones aleatorias, se le dieron diferentes pesos a cada elemento de las medidas de accesibilidad para revisar su comportamiento y poder hacer una comparación contra otro basado solo en cobertura.

Se analizaron los resultados para finalmente llegar a las conclusiones y trabajo a futuro.

1.5 ESTRUCTURA DE LA TESIS

Este trabajo está dividido en cinco capítulos: En el capítulo 1 se hace mención del problema de localización tomando en cuenta las medidas de accesibilidad, se describe el objetivo, justificación, hipótesis, enfoque metodológico y resultados que se esperan obtener en esta investigación.

El capítulo 2 se describe el concepto de desastre y el impacto que causan en la población la forma en que afectan. Hablaremos acerca de la logística humanitaria y sus etapas encontradas en literatura, se define el problema de localización que es la base de este trabajo y él porque es importante tomar en cuenta la accesibilidad para poder reducir el impacto y garantizar que la ayuda que se proporcione sea de forma organizada y eficiente.

Durante el capítulo 3 se explicará el problema estudiado y la formulación matemática que se está proponiendo.

Dentro del capítulo 4 que llamamos experimentación y resultados, se muestran algunos resultados preliminares y explicamos ampliamente los resultados obtenidos al aplicar el modelo, así como una comparación del problema de localización tomando en cuenta las medidas de accesibilidad y solo tomando en cuenta la cobertura.

Y finalmente, en el capítulo 5 se describen las conclusiones a las que se llegó y el trabajo a futuro.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

Este capítulo está dividido en diferentes secciones, en las que se explican los conceptos con los que estaremos trabajando. Describiremos el concepto de desastre, así como los tipos que se pueden clasificar y el proceso de apoyo que se brinda durante un desastre. Hablaremos acerca de la logística humanitaria y sus etapas, se define el problema de localización de ubicaciones que es la base de este trabajo y el porque es importante la accesibilidad para poder lograr reducir el impacto y garantizar que la ayuda que se proporcionará sea de forma organizada y eficiente.

2.1 DESASTRE

La palabra desastre etimológicamente proviene del latín (*des* (que es algo negativo o desafortunado) y (*astre* (de astro o estrella), entonces podríamos interpretarlo como una desgracia que es derivada de los astros (dioses) y que va más allá del control de los seres humanos (Villalibre Calderón, 2013).

En general los desastres son eventos de gran dimensión, que tienen un gran impacto de manera negativa para la sociedad y el medio ambiente, existen diferentes conceptos:

Según De Nicolás *et al.* (2000) catalogan la palabra desastre como: “Cualquier

suceso o situación de crisis que produce estrés severo y que desborda la capacidad de responder de modo adaptativo de una sociedad en su conjunto o incluso de modo adaptativo de una sociedad en su conjunto o incluso de unos pocos núcleos familiares o individuos aislados, más allá de los límites de la vida cotidiana.”

Pero según la de sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (2014), “un evento calamitoso, repentino o previsible, que trastorna seriamente el funcionamiento de una comunidad o sociedad y causa unas pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales que desbordan la capacidad de la comunidad o sociedad afectada para hacer frente a la situación a través de sus propios recursos”.

Pero al escuchar la palabra desastre casi siempre se asocia con un origen natural según Armenteros Kindelan (2018) pueden surgir por la participación del hombre (guerras o ataques terroristas) o cuando los fenómenos naturales superan el límite de normalidad (huracanes, terremotos), generalmente se mide a través de parámetros y cambian dependiendo del tipo de fenómeno por ejemplo la escala Saphir-Simpson para huracanes, escala de Richter para movimientos sísmicos, etc.

Los desastres se categorizan de cinco formas según la Coordinación general de protección civil (2001): la primera son los fenómenos geológicos (sismicidad, vulcanismo, tsunamis y movimientos de laderas y suelos), la segunda categoría son los fenómenos hidrometeorológicos (tormentas de granizo, heladas y nevadas, frentes fríos y bajas temperaturas, tornados, vientos, sequías), dentro de los cuales podemos encontrar los hidrológicos (ciclones tropicales, huracanes, inundaciones), la tercera categoría son los fenómenos socio-organizativo (demostraciones de inconformidad social, concentración masiva de población, terrorismo, sabotaje, vandalismo, accidentes aéreos, marítimos o terrestres), la cuarta categoría son los fenómenos socio-organizativo (demostraciones de inconformidad social, concentración masiva de población, terrorismo, sabotaje, vandalismo, accidentes aéreos, marítimos o terrestres), por último la quinta categoría son los fenómenos del espacio exterior, (eventos, procesos o propiedades a los que están sometidos los objetos del espacio exterior incluidos

estrellas, planetas, cometas y meteoros).

El objetivo de estudiar temas que están relacionados con los desastres naturales, es concientizar a la población sobre el peligro y la situación de vulnerabilidad que viven, de tal manera para poder proporcionarles conocimientos necesarios para poder alcanzar condiciones de seguridad con mayor accesibilidad, ya que en el momento en que se presenta un desastre tiene mayores efectos en personas que viven en ubicaciones vulnerables, las cuales son aquellas que se encuentran cerca de la zona de peligro y están expuestas; puede llegar a tener consecuencias fatales como heridos y pérdidas humanas, sin tomar en cuenta las consecuencias materiales de las cuales también tienen que sobreponerse las personas que han sido afectados. Los desastres naturales no se pueden evitar pero si predecir cuándo ocurrirá para poder tomar medidas y saber con anticipación la intensidad del mismo.

Hoy en día cuando se presenta un desastre, el proceso de apoyo que se brinda puede variar, ya que existen diferentes organizaciones y programas en el país dedicadas a ofrecer ayuda humanitaria al igual que brindan información que permite a cualquier país prepararse antes de que ocurra alguna clase de evento de este tipo. Por ejemplo, según Luján González (2015), Protección Civil al ser una institución con apoyo gubernamental tiene la responsabilidad de coordinar el apoyo que se brindará.

Las actividades que se realizan para el apoyo ante un desastre requieren también de una alta coordinación entre varios actores. Las autoridades son quienes frecuentemente asumen el rol de coordinador de los esfuerzos de organizaciones no gubernamentales (ONG), la sociedad civil y la propia comunidad afectada. En la etapa de prevención se recomienda crear acuerdos sobre cómo los distintos actores que participan gobierno, instituciones privadas, ONGs, individuos coordinarán las actividades para evitar malas prácticas y el uso deficiente de recursos.

En el caso particular de México, las secretarías que son responsables de la administración en caso de desastres son la Secretaría de Gobernación a través del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) que tiene como propósito lograr

acciones de manera coordinadas para la protección de la población contra los peligros que se presenten, cual sea el origen del desastre, la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) que tiene como misión Organizar, administrar y preparar al Ejército y la Fuerza Aérea Mexicanos, con objeto de defender la integridad, la independencia y la soberanía de la nación y el Centro de Prevención Nacional de Desastres (CENAPRED) que se encarga de salvaguardar la vida, los bienes e infraestructura de los mexicanos en todo momento a través de la gestión continua de políticas públicas que son para la prevención y reducción de los riesgos en caso de presentarse un desastre.

Las ya mencionadas organizaciones trabajan con la Cruz Roja, ya que se encarga de la concentración de los productos y de movilizar rápidamente todos los recursos que se encuentren disponibles hacia las zonas que han sido afectadas, por ultimo sirven como centro de ayuda o refugios siempre y cuando la localización sea segura; Leche Industrializada Conasupo (LICONSA) está se encarga de realizar envíos de leche en polvo, suplementos alimenticios y agua embotellada hacia las zonas en las que se encuentran los afectados y el Sistema de Distribuidoras Conasupo mayormente conocido como DICONSA brinda unidades de transporte para poder realizar los envíos de los alimentos a las zonas afectadas.

Otro tipo de apoyo que se presenta son la apertura de centros de atención o refugios, estos son lugares que han sido acondicionados para proteger a la población en caso de emergencia, pueden ser construcciones ya edificadas por ejemplo una escuela, una iglesia, estacionamientos o cualquier edificio que cuente con las condiciones necesarias de seguridad frente al hecho que se esté presentando.

2.2 LOGÍSTICA

Hoy en día el tema de la logística es un asunto de vital importancia en cualquier tipo de situación, por ejemplo en las empresas crean áreas que especialmente se dedican a trabajar en dicho tema. Anteriormente el tema de la logística solamente

era tener el producto, en el sitio justo, en el tiempo oportuno y que fuera al menor costo posible; los tiempos han cambiado y en la actualidad estas actividades que aparentemente eran sencillas han sido modificadas y ahora son todo un proceso.

Según el Council of Logistics Management (CLM), la logística es: «la parte del proceso de la cadena de suministro que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes» (Ballou, 2004).

La logística ha sido desarrollada para responder cuando se presentan escenarios con entornos inseguros y versátiles, en donde se abarcan varias actividades como son la preparación, planificación, adquisición, transporte, almacenamiento, seguimiento y rastreo, aduanas y despacho de aduanas (Thomas y Fritz, 2006).

Existen varias ramas de la logística como lo es la logística humanitaria que apoya en casos de emergencia.

Se necesita de un sistema logístico para que las organizaciones y entidades relacionadas puedan llevar a cabo de manera ágil y eficiente la coordinación y movilización del personal, del equipo, del material y las actividades relacionadas con las actividades de evacuación, al igual que la reubicación de población afectada por el desastre.

La logística humanitaria regularmente atiende actividades de asistencia humanitaria a largo plazo y recuperación, mientras que la logística post-desastre hace referencia a aquellas actividades de atención de manera temprana y la recuperación es de corto plazo (Gradilla Hernández, 2015).

2.2.1 LOGÍSTICA HUMANITARIA

Existe una rama de la logística que se encarga de satisfacer la demanda de los afectados cuando ocurren eventos causados por cualquier tipo de desastre naturales como son los huracanes, sismos, incendios forestales, etc. se le denomina como logística humanitaria y tiene como objetivo brindar la atención inmediata a personas que han sido víctimas para así poder minimizar el sufrimiento de los damnificados y pérdidas humanas, para poder lograr la recuperación de la población afectada tratando de devolver a las condiciones anteriores, o posiblemente mejorándolas.

En algunas situaciones donde se presenta un desastre natural, la ayuda que existe es demasiada pero es imposible a veces llegar a brindar ayuda a la zona afectada. Es por eso que las personas afectadas deben coordinar para poder moverse en busca de ayuda humanitaria, por lo que se vuelve de vital importancia el donde ubicar centros de ayuda o refugios de tal manera que la mayoría de las personas tengan acceso.

En el contexto de apoyo humanitario, la facilidad que se tenga para poder llegar a centros de ayuda o ubicaciones (refugios) es de vital importancia para lograr el objetivo de salvar la mayor cantidad de vidas que se puedan. Cuando ocurre un desastre, las ubicaciones que están siendo habitadas, causan destrucción y daños en la infraestructura (casas, edificios, escuelas, etc.), los cuales provocan el sufrimiento de los residentes. Es por esto que inmediatamente después de presentarse la catástrofe se deben comenzar las operaciones de ayuda humanitaria para tratar de satisfacer las necesidades básicas de la población afectada, ubicando los centros de ayuda o refugios con la mayor accesibilidad posible, ya que es el lugar a donde llegará toda la ayuda, como son los alimentos, ropa y medicinas, para que toda la población tenga acceso a dicha atención; entonces es ahí donde la logística toma un papel fundamental para la toma de decisiones y lograr tener una respuesta efectiva para los afectados.

Thomas y Mizushima (2005), definen a la logística humanitaria como «el proceso de planificación, ejecución y control de manera eficiente del flujo de efectivo y el almacenamiento de materiales o mercancía, así como el manejo de la información desde el punto de origen al punto de destino, con el objetivo de satisfacer las necesidades de las personas que han sido afectadas por eventos adversos, ya sea naturales (terremotos o inundaciones) o sociales (guerras o ataques terroristas)».

En la tesis nos menciona Mata (2017) que la logística humanitaria se divide en cuatro etapas de acuerdo a los niveles de decisión, que en la literatura se definen como: mitigación, preparación, después de presentarse el desastre natural las siguientes etapas son respuesta y reconstrucción o recuperación, como se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1: Etapas de la logística humanitaria

Mitigación: Cozzolino (2012) nos dice que esta fase engloba todos los asuntos que están relacionados con las responsabilidades que el gobierno tiene con la sociedad, es decir se refiere a las leyes y los mecanismos que pueden reducir la vulnerabilidad y los riesgos de la sociedad, Las autoridades responsables deben conocer el plan de prevención y la población ha de estar informada de qué hacer en caso de que ocurra un desastre. En esta etapa no se involucra la participación de expertos en logística.

Preparación o prevención: El plan de prevención considera decisiones como la ubicación de refugios y centros de distribución, la definición de un inventario preposicionado y la especificación de rutas para evacuar a la población y transportar

suministros.

Esta etapa engloba todas las actividades que se realizan de forma anticipada a la ocurrencia del desastre natural, como son la planeación de las tareas que se van a realizar y de los recursos disponibles con los que se cuentan para poder darle respuesta al desastre; la principal actividad es buscar e identificar lugares que sean seguros para alojar a la población vulnerable, que ya estén establecidos para poder cubrir sus necesidades básicas (alimentación, salud y hospedaje) durante el desastre, para alojar a la población vulnerable (Cozzolino, 2012).

Respuesta: Esta etapa incluye todas aquellas actividades como son la búsqueda de víctimas y rescates, actividades de evacuación, la ubicación de los refugios, atención médica, etc.; que se realizan una vez que se presenta el desastre y que implican la implementación del plan de prevención con los ajustes necesarios dada la situación real.

Según Altay y Green III (2006), el proceso de toma de decisión durante la etapa de respuesta, es muy diferente a uno tradicional debido a los atributos de incertidumbre que se tiene, al ambiente cambiante, crítico e incontrolable, se dispone con poco tiempo para tomar alguna decisión, la información que tiene es escasa y en caso de tomar alguna decisión puede ocasionar daños que no pueden ser reversibles. Por eso Van Wassenhove (2006) nos hace mención que si se desea que la etapa de respuesta se lleve a cabo de forma exitosa, esta no puede ser improvisada.

Reconstrucción: Esta última etapa se inicia una vez que terminan las operaciones de ayuda, y su objetivo es asistir a los individuos para que se reintegren a sus actividades normales lo más pronto posible, entra en acción la última etapa la cual comprende actividades de reconstrucción como su nombre lo dice, se llevan a cabo todas las actividades que sean necesarias para tratar que la población afectada regrese a la situación en la que vivían antes de que pasará el desastre, de igual forma se necesita del suministro de productos de primera necesidad para satisfacer las necesidades básicas de la población damnificada.

Se encontro en Özdamar *et al.* (2004) que dentro de esta etapa las operaciones que se llevan a cabo de limpieza se puede dividir en dos fases. En la primera, se busca remover todos los escombros que obstruyan el paso en los caminos, todo esto con el objetivo de permitir el flujo de los vehículos. Esto debe realizarse durante las primeras 72 horas después que se presentó el desastre. En la segunda fase, se trata de transportar y reciclar los escombros, lo que puede tardar varios meses.

La logística es un tema primordial al momento de ocurrir un desastre para el área humanitaria, ya que apoya a la toma de una decisión antes (mitigación), durante (preparación o prevención) y después (respuesta y reconstrucción) de un desastre.

2.2.2 OPTIMIZACIÓN EN LA LOGÍSTICA HUMANITARIA

Los problemas de optimización tienen como objetivo obtener el valor mínimo o en su caso el máximo de una función variable según sea el caso, también demuestra la relación con otras variables que se encuentran presentes en las restricciones del problema que se esté tratando, en busca de responder preguntas como: ¿cuál es el objetivo que se desea maximizar o minimizar? y ¿Cuáles son las restricciones de mi problema? (Herrera *et al.*, 2008)

Hablando de la logística humanitaria, existen diferentes actividades que se pueden realizar dependiendo de la emergencia y la situación que se presente debido al desastre natural.

Algunas de ellas son:

- La adecuada administración de los inventarios: una de las actividades fundamentales durante la etapa de respuesta es el realizar el pre-posicionamiento de los suministros de ayuda para así poder satisfacer las necesidades básicas de los afectados, productos como lo es el agua, medicinas, tiendas de campaña y otros artículos importantes, todo con el fin de satisfacer las necesidades de

forma inmediata de las personas que han sido afectados Van Wyk *et al.* (2011). Autores que han trabajado con este tema de inventarios son (Balcik y Beamon, 2008) y (Ozbay y Ozguven, 2007).

- El transporte y su distribución: son dos de los asuntos de vital importancia en el tema de la logística humanitaria, ya que estas dos actividades hacen llegar los productos que necesitan las víctimas para poder satisfacer sus necesidades ante algún desastre. Generalmente, se ha trabajado minimizando el tiempo de respuesta a la emergencia. Autores que han trabajado con este tema es (Mata, 2017) y (Defryn *et al.*, 2016).
- La localización de instalaciones: para poder brindar una respuesta de manera adecuada, es importante determinar las ubicaciones de los refugios en zonas seguras y que tengan fácil acceso, ya que en dicha instalación llegarán todos los suministros de ayuda necesarios, además que también alojaran a los afectados para que puedan ser atendidos de manera rápida.

2.3 PROBLEMA DE LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES

Un problema importante y que ha sido muy estudiado dentro de la logística es el FLP por sus siglas en inglés *Facility Location Problems* que consiste en dónde ubicar físicamente de manera eficiente un conjunto de facilidades, de forma que sea accesible para poder satisfacer la demanda de un grupo de personas que han sido afectadas por un desastre natural y puedan sobrellevar los efectos del desastre, todo esto sujeto a una serie de restricciones como costos, distancias, demandas, etc., para seleccionar un conjunto óptimo de facilidades para instalar en los sitios candidatos, de modo de optimizar alguna función objetivo Hale y Moberg (2003).

El término facilidad puede incluir entidades como hospitales, industrias, colegios, puertos, en este caso serán refugios. El problema de localización de instalaciones ha sido muy estudiado, y cuenta con diversas aplicaciones. Estos modelos son aplicados a casos de estudio específicos, según sea su estructura (objetivos, restricciones y variables).

Según Hernández González (2012) los problemas de localización de ubicaciones se pueden dividir en relación a:

- Lo que se quiere localizar: ya sea en problemas de localización y problemas de distribución de espacio.
- Las características que tienen las nuevas instalaciones: en problemas de localización sencillos que son de una instalación o de múltiple que engloba varias instalaciones, la localización de un punto o de una área, donde el número de nuevas instalaciones es una variable de decisión o ya está dado y donde la localización se conoce como dependiente o independiente de las otras localizaciones.
- Las características que tienen las instalaciones existentes: en problemas de localización dinámica o estática, probabilística o determinística.
- La interacción de las diversas instalaciones: en problemas cuantitativos y cualitativos.
- El espacio: en problemas unidimensionales o multidimensionales discretos o continuos, restringidos o no restringidos.
- La función objetivo: en problemas cuantitativos o cualitativos y, dentro de los primeros, problemas donde se minimizan funciones de costo y tiempo o se minimizan funciones de tipo minimax (se incluye costo fijo).

Entonces nos menciona Hernández González (2012), que no podemos encontrar un modelo que sea apropiado para todos los problemas. Por lo que, los modelos

pueden ser trabajados con distintos objetivos, al igual que pueden provocar diferentes soluciones para el mismo caso en estudio.

2.4 ACCESIBILIDAD

Cuando las personas que han sido afectadas quieren trasladarse de un punto a otro, una de las principales dificultades que se presentan son las distancias que se recorren para poder llegar a un lugar seguro, todo esto sin tomar en cuenta los caminos dañados, el tráfico de personas desesperadas por buscar ayuda, una solución para estas dificultades presentadas es enfocarse en la accesibilidad.

Encontramos en Mata (2017) que Scheurer y Curtis (2007) nos dice que, depende del autor y el contexto, se pueden encontrar diversas definiciones del enfoque de accesibilidad en las que se encuentran:

- Geurs y Van Wee (2004): «El grado en el cual el sistema de uso del transporte terrestre permite a los individuos o bienes llegar a actividades o destinos por medio de una combinación de modos de transporte, en donde también se consideran indicadores basados en actividad, en infraestructura y en utilidad».
- Bhat *et al.* (2000): «Una medida de facilidad de un individuo de perseguir una actividad de un tipo deseado, en una ubicación deseada, de un modo deseado y en un momento determinado».
- Bertolini *et al.* (2005): «La cantidad y diversidad de lugares que pueden ser alcanzados dentro de un tiempo y un costo establecidos de recorrido».

Entonces se entiende que la accesibilidad es la facilidad con la que podemos alcanzar un destino deseado teniendo un número de oportunidades disponibles y una intrínseca impedancia a los recursos utilizados para trasladarse desde el origen en

donde se encuentra hasta el destino que se desea alcanzar (Bocarejo S y Oviedo H, 2012).

En Ibarra-Rojas *et al.* (2018) se analizaron seis indicadores para medir la accesibilidad de forma general:

- el número de zonas con acceso a las oportunidades de movilidad delimitado,
- el número de zonas cubierta por la ruta,
- el costo del viaje,
- la distancia a la oportunidad más cercana,
- el número de oportunidades,
- y la desagregación geográfica.

En general, en las medidas de accesibilidad el número de oportunidades, la cobertura, las distancias y la desagregación geográfica son muy importantes, por ejemplo, el número de oportunidades y la distancia que tengas para salvaguardar tu vida llegando a la instalación más cercana que se encuentre abierta. En este enfoque se busca cubrir a la mayor población afectada para que las personas puedan llegar al destino deseado con el menor esfuerzo posible.

2.5 LITERATURA RELACIONADA

El problema de localización (FLP por sus siglas en inglés *Facility Location Problems*) consiste en determinar cuál es el sitio más adecuado para poder habilitar algún tipo de edificio y que se cubra la demanda generada por los clientes, como se mencionó anteriormente en este caso serán refugios pero pueden ser cualquier tipo de instalación, por ejemplo: centros de distribución, oficinas, tiendas, etc., algunos

autores que muestran un panorama general de esta tendencia son Melo *et al.* (2009), Andersson *et al.* (2010) y Miranda *et al.* (2009).

En esta publicación realizada por Araneda *et al.* (2005), se muestra la importancia de la decisión en el problema de localización en el diseño de la cadena de suministro, los autores se dieron a la tarea de revisar algunos modelos clásicos de localización como lo son *P-Center* y *P-Mediana* además, de revisar dos modelos de localización en donde se permite incorporar otras decisiones de la cadena de suministro, como: *Multi-product capacitated plant and warehouse location* y *warehouse location-routing*. Para poder aplicar los modelos que revisaron a un caso en estudio de estudio y saber cuál es el resultado óptimo.

El problema de localización es de vital importancia en la logística humanitaria, ejemplo de esto son: Dalal *et al.* (2007), en esta investigación se realizó un modelo de optimización aplicable al caso de desastres provocados por ciclones en la India. En el modelo se define donde se deben de situar los albergues de tal manera que todos los habitantes que han sido afectados por los ciclones puedan recorrer la menor distancia posible desde la zona afectada donde se encuentran hasta el albergue al que fueron asignados. Así mismo, Balcik y Beamon (2008) abordó el problema de dónde localizar los centros de distribución que abastecerán a los albergues y la cantidad de suministros que cada centro debe almacenar para cubrir las necesidades de la población que ha sido afectada. En este trabajo se analizaron diferentes escenarios, lo que les permitió considerar los diferentes niveles de daño que puede causar un desastre natural y así establecer donde habría que situar el albergue y cuanto suministro surtir a cada albergue. De igual forma Iniestra *et al.* (2012), diseñaron un modelo bi-criterio para la ubicación de albergues, como parte de un plan de evacuación en caso de inundaciones. El cual consistió en dos partes, la primera fue formular un modelo de programación lineal con dos criterios, todos los costos necesarios para atender a la población y el tiempo para desalojar a los individuos de la zona afectada y la segunda consistió en un análisis de la zona de apoyo.

Del mismo modo López Ramírez propuso una planeación logística para la provisión de alojamiento, en la atención de desastres por inundaciones, el departamento del Atlántico. Diseñó un modelo matemático que permite tener una visión global del comportamiento esperado del suministro de artículos para alojamiento en momentos de desastres, el cual permite identificar las variables o parámetros para desarrollar un plan de atención no improvisado. También Reyes Rubiano *et al.* (2015), realizó tres propuestas del problema de localización de instalaciones y ruteo de personal especializado en logística humanitaria post-desastre. En el cuál se diseñaron tres modelos matemáticos: el primero un modelo jerárquico, en segundo un modelo de asignación y ruteo, y el tercero un modelo locationallocation-routing, el cuál determina la localización de los albergues y del punto de distribución. Además Luján González (2015), propuso mejoras en la cadena de suministro de las instituciones que brindan auxilio para la distribución de recursos en zonas de desastres naturales hidrometeorológicos en Nuevo León. Mediante la recopilación de datos históricos, la comparación y el análisis de planes de acción de otros países. En esta propuesta se encuentra que se deben de localizar tres centros: el centro de acopio, de distribución intermedio y de distribución maestro.

Para tratar problemas complejos que no pueden ser resueltos mediante métodos exactos en un tiempo computacional razonable, se utilizan los algoritmos aproximados. En la literatura existen trabajos sobre logística humanitaria que utilizan heurísticos para obtener soluciones rápidas, por ejemplo, Celis (2017) proponen un heurístico con la finalidad de resolver el problema de localización y asignación en caso de inundación de manera que se minimicen los tiempos de traslado desde los puntos de demanda hasta los albergues. También Sánchez *et al.* proponen una heurística para determinar la ubicación estratégica de los almacenes de logística humanitaria para personas afectadas en Perú; pero igual encontramos en Escobar y Linfati (2012), algoritmos metaheurísticos que son basados en recorridos de forma simulada con espacios de búsqueda granular para el problema de localización y ruteo tomando en cuenta restricciones de capacidad.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

En este capítulo se propone un modelo matemático para el problema de localización que ha sido aplicado al área de logística humanitaria. Se muestran los supuestos a dicha formulación así como los conjuntos, variables, y parámetros del modelo, al igual que se explica ampliamente todas las medidas de accesibilidad que implica la función objetivo y cada una de las restricciones que se tienen.

Se optimizan las seis medidas de accesibilidad para que las personas que han sido afectadas por un desastre y no estén siendo atendidas puedan desplazarse en busca de suministros o tratar de salvaguardar sus vidas.

La accesibilidad, en este caso se toman seis indicadores de forma general encontrados en Ibarra-Rojas *et al.* (2018) que son: la movilidad de ir de un lugar a otro, zonas que estén siendo cubiertas, la distancia a la oportunidad más cercana, el número de oportunidades, y la desagregación geográfica.

De acuerdo a la revisión de literatura, ya se habla de accesibilidad desde el artículo publicado en Current *et al.* (1994); sin embargo, no ha sido tratado en logística humanitaria.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Dado un conjunto de zonas afectadas que demandan ayuda humanitaria, se determinará un conjunto de posibles refugios (localizaciones) tomando en cuenta los indicadores de accesibilidad para poder llegar a estas. Los supuestos que tenemos para definir el problema son:

- Existe suficiente ayuda para brindar a los afectados.
- Ya existen los edificios de los refugios (localizaciones).
- Los refugios tienen una capacidad ilimitada.
- Debido a que la aplicación de este proyecto es en la etapa de respuesta, las zonas que han sido afectadas y los caminos disponibles son conocidos.

También se tendrán determinados zona cubierta, desatendida y número de oportunidades:

- Una zona afectada se considera que ha sido cubierta indirectamente, y por lo tanto atendida, si está dentro del radio de cobertura de un refugio (localización) que si fue abierta.
- Una zona afectada está siendo desatendida si no está dentro del radio de cobertura de un refugio que este abierto.
- Número de oportunidades que tiene la víctima para salvaguardar su vida dentro del radio de desplazamiento de un punto desatendido.

De acuerdo a la descripción anterior, las zonas afectadas se representan mediante el conjunto J , para una zona determinada $j \in J$ se considera un conjunto $A(j)$ que representa las zonas cubiertas a las cuales las personas pueden acudir en busca de ayuda, es decir, que están dentro del radio de desplazamiento (movilidad). Los posibles refugios se representa por I , donde conjunto $N(i)$ representa los refugios abiertos, si abro la localización i .

Mediante la figura 3.1 se explicarán los términos mencionados. Los posibles refugios estan representados por un cuadro son $p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7, p8, p9$ y $p10$ si han sido abiertas apareceran en un cuadro color verde como es $p5$ y $p10$ y si no fueron habilitadas apareceran de color negro, los refugios que se abrieron tendrán un radio de cobertura, el cuál las zonas afectadas si estan dentro de este radio apareceran en color azul si se estan cubriendo de manera directa. Por su parte los círculos azules son las zonas afectadas 2, 4, 10, 15 y 16 está siendo cubierto por la localización $p5$; el 1 y 5 es atendida por el refugio $p10$; mientras que las zonas afectadas 1, 2, 5, 10 y 16 tienen dos oportunidades de llegar a un refugio, representado por la raya en color rojo. Es decir, $N(p5) = 2, 4, 10, 15$ y 16 y $N(p10) = 1$ y 5 .

Por otro lado, las zonas 3 y 19 están siendo desatendidas sin embargo, se considera el radio de acceso (movilidad o desplazamiento) para cada una de esas zonas afectadas, que se indica con el círculo color rojo. Para el caso de las zonas afectadas 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 18 y 20 las personas pueden ir al $p10$; Por lo tanto, $A(p5) = 3, 19$ y $A(p10) = 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 18$ y 20 .

3.2 MEDIDAS DE ACCESIBILIDAD

Las medidas de accesibilidad que se utilizarán para optimizar cuenta con los siguientes elementos:

- Tiempo: entre las zonas afectadas y el refugio (localización), pues las personas

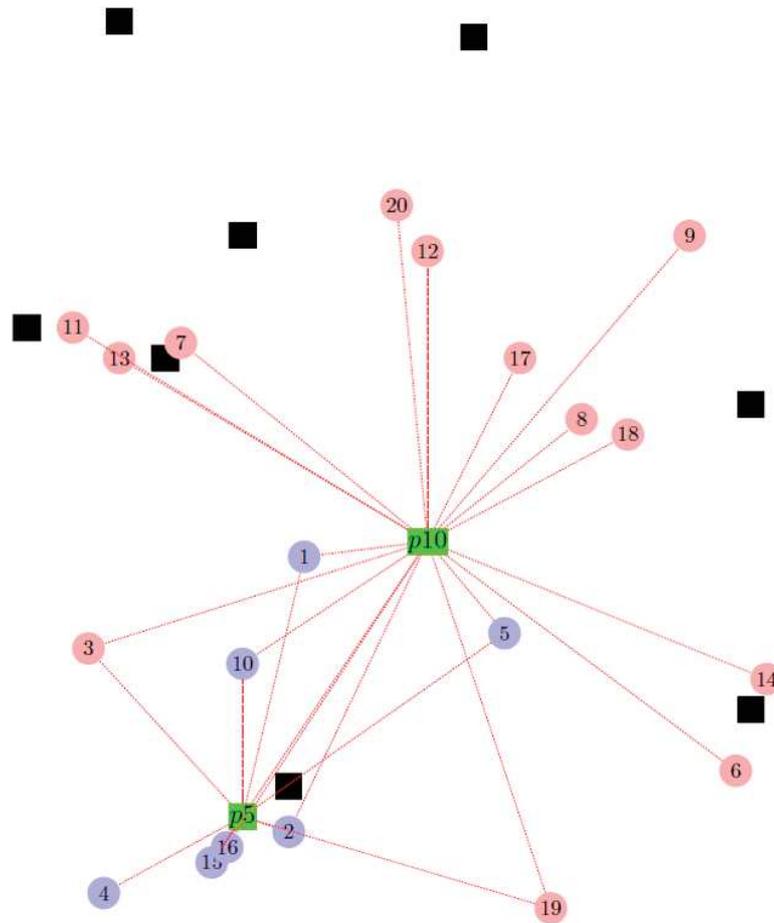


Figura 3.1: Problema que ejemplifica los radios de cobertura y de desplazamiento

que están en zonas afectadas desatendidas preferirán acercarse a la localización más cercana a ellas.

- Cobertura:

- Número de oportunidades: la medida de accesibilidad maximiza el número de oportunidades que tendrán las personas que se encuentran en zonas afectadas para poder llegar a una localización.

- Distancia a oportunidad más cercana: ésta se mide para las zonas desatendidas hacia una localización que esté lo más cercana posible.

- Indicador de dispersión: para evitar aglomeraciones de zonas afectadas alrededor de las localizaciones abiertas.

Entonces, el problema de localización con medidas de accesibilidad determina las óptimas localizaciones de los refugios, a continuación presentamos la formulación matemática.

3.3 FORMULACIÓN MATEMÁTICA

Se definen conjuntos, variables y parámetros, para posteriormente presentar el modelo describiendo la función objetivo y sus restricciones.

3.4 CONJUNTOS

I : Posibles localizaciones de los refugios.

J : Puntos afectados o zonas afectadas.

$N(i)$: Conjunto de zonas cubiertas, si se abre el refugio i .

$A(j)$: Conjunto de refugios i (localizaciones) a las que puedo llegar (movilidad) desde la zona j .

3.5 VARIABLES

$$z_i = \begin{cases} 1, & \text{si se abre el refugio } i. \\ 0, & \text{si no.} \end{cases} \quad (3.1)$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{si la zona afectada } j \text{ está siendo cubierta por algún refugio} \\ & i \text{ abierto;} \\ 0, & \text{si no.} \end{cases} \quad (3.2)$$

$$v_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si la zona afectada } j \text{ no está siendo cubierta y el refugio } i \text{ es} \\ & \text{el más cercano con } z_i = 1 \text{ (abierto);} \\ 0, & \text{si no.} \end{cases} \quad (3.3)$$

o_i : cantidad de oportunidades que tienen las víctimas de zonas afectadas para poder llegar al refugio abierto i .

s : indicador basado en la dispersión de las zonas no cubiertas.

3.6 PARÁMETROS

M : número positivo apropiadamente grande.

w_1 : peso asignado a cada elemento de la medida de acceso.

t_{ij} : distancia necesaria para ir desde el refugio i a la zona afectada j .

n : número de refugios abiertos.

3.7 RESTRICCIONES

$$\sum_{i \in I} z_i \leq n \quad (3.4)$$

$$\sum_{i: j \in N(i)} z_i \leq M y_j \quad \forall j \quad (3.5)$$

$$y_j \leq \sum_{i: j \in N(i)} z_i \quad \forall j \quad (3.6)$$

$$v_{ij} \leq z_i \quad \forall i, \forall j \quad (3.7)$$

$$\sum_i v_{ij} = (1 - y_j) \quad \forall j \quad (3.8)$$

$$a a_j = y_j + \sum_{i \in A(j)} v_{ij} \quad \forall j \quad (3.9)$$

$$a t_j \leq \frac{\sum_{i \in A(j)} \frac{z_i}{t_{ij}}}{\sum_{i \in A(j)} \frac{1}{t_{ij}}} + y_j \quad \forall j \quad (3.10)$$

$$a n_j = \sum_{i \in I} v_{ij} t_{ij} \quad \forall j \quad (3.11)$$

$$ao_j \leq \sum_{i \in A(j)} z_i \quad \forall j \quad (3.12)$$

$$ao_j \leq |A_{(j)}|(1 - y_j) \quad \forall j \quad (3.13)$$

$$as \leq t_{jj'} + M_2(y_j + y_{j'}) \quad \forall j, \forall j' \neq j \quad (3.14)$$

$$(3.15)$$

Función objetivo: La función objetivo 3.16 maximiza la suma de las zonas que están siendo cubiertas y su dispersión, para así poder ver que tanta accesibilidad se tiene para llegar a un refugio, saber con cuántas oportunidades cuentan y de ellas cuál es la más cercana y la óptima.

$$Max \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} (w_1 aa_j + w_2 y_j + w_3 at_{ij} + w_4 an_j + w_5 ao_j) + w_6 a_s \quad (3.16)$$

La restricción 3.4 indica el número de posibles refugios, 3.5 si la zona afectada J ha sido cubierta por algún posible refugio y la ecuación 3.6 complementa si el refugio fue abierto entonces la 3.7 y 3.8 nos indican cuales refugios son los más cercanos a la zona afectada, 3.9 en el caso de que el posible refugio más cercano no esté abierto, se revisa cuales están en el radio de movilidad para llegar 3.10 a la localización que si ha sido abierta, en caso contrario tomará el valor de 0 y la 3.11 nos indica la distancia a la oportunidad más cercana, 3.12 y 3.13 estas son para la cantidad de oportunidades que tiene la víctima para de llegar a una localización abierta, por último la 3.14 evita aglomeraciones de zonas afectadas.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

En este capítulo se incluye la experimentación de la formulación matemática propuesta para varios tamaños de instancias.

Se muestra la experimentación del modelo que se trabajó variando las ponderaciones de los elementos que integran las medidas de accesibilidad y realizando una comparación contra el problema de máxima cobertura donde se muestran los resultados de cada uno de los indicadores tanto en el problema de máxima cobertura como en el que se propone en este trabajo.

4.1 EXPERIMENTACIÓN

La implementación se realizó utilizando el optimizador GAMS (*General Algebraic Modeling System*)/CPLEX versión 12.6.3 en una computadora con memoria RAM de 8.00 GB y procesador Intel 1.70 GHz. En el cuál, primero se tomaron instancias pequeñas para poder visualizar de qué manera se comportan las medidas de accesibilidad y si el modelo funcionaba de forma correcta.

Se generaron casos de prueba como se puede ver en la tabla 4.1, en donde se diseñaron diferentes tipos de instancias, dependiendo del número de zonas afectadas J , el número de posibles refugios I y el número total de los refugios que serán abier-

tos. Para estas instancias se trabajó en una cuadrícula de tamaño 60x60, generando las coordenadas de manera aleatoria para todos los puntos, los valores utilizados para radios de cobertura (r_c) y radios de accesibilidad (r_a) fueron los propuestos por Ibarra-Rojas *et al.* (2018) son de 12 y 30, respectivamente. Se ejecutó el programa y tardó pocos segundos para cada caso.

Se realizó una suma ponderada en la función objetivo donde para cada indicador de accesibilidad, se tomaron los pesos propuestos por Ibarra-Rojas *et al.* (2018) $w_1=1000$, $w_2=250$, $w_3=100$, $w_4=-1$, $w_5=10$ y $w_6=0.01$, al momento de comparar los pesos de los elementos que componen las medidas de accesibilidad se observaron cambios significativos contra solo darle importancia a la parte de cobertura. Así como Church y ReVelle (1974) y Pirkul y Schilling (1991) que son autores que han trabajado con el problema de máxima cobertura por sus siglas en inglés MCLP (*The Maximal Covering Location Problem*).

Las instancias tipo 1 corresponden a solo tomar en cuenta la parte de cobertura y la tipo 2 corresponde a todas las medidas de accesibilidad propuestas.

En la tabla 4.2 podemos analizar los resultados de la comparación que se realizó de los dos escenarios, donde el primero se trabajó solo tomando en cuenta el problema de máxima cobertura y en el segundo escenario se realizó tomando en cuenta todas las medidas de accesibilidad propuestas. Se denomina zona cubierta cuando el refugio es abierto $z=1$ y cubre directamente a las zonas que están dentro de este radio de cobertura r_c , para algunas zonas que se quedaron fuera tienen la oportunidad dependiendo el radio de desplazamiento r_a de poder moverse a un refugio que si este abierto nombradas zonas accesibles pero muchas veces sucederá que alguna zona afecta J se quede sin ningún tipo de ayuda, estas serán zonas desatendidas.

A continuación en las figuras encontraremos círculos color rosas que son las zonas que han sido afectadas, las que cuentan con una línea punteada color roja son las que tienen oportunidad de poder desplazarse, en cuanto a las posibles localizaciones, las que no fueron abiertas son los cuadros color negro y las que su valor fue $z=1$

Instancias	Tamaño de la cuadrícula	$ I $	n	$ J $	r_c	r_a
A1	60x60	10	2	20	12	30
A2	60x60	10	2	20	12	30
B1	60x60	15	2	30	12	30
B2	60x60	15	2	30	12	30
C1	60x60	20	3	40	12	30
C2	60x60	20	3	40	12	30
D1	60x60	30	4	60	12	30
D2	60x60	30	4	60	12	30
E1	60X60	35	5	80	12	30
E2	60X60	35	5	80	12	30

Tabla 4.1: Datos utilizados en la primera experimentación del problema de localización tomando en cuenta medidas de acceso

Instancias	Zonas cubiertas	Zonas accesibles	Zonas desatendidas
A1	8	10	2
A2	7	13	0
B1	16	9	5
B2	12	16	2
C1	25	10	5
C2	23	16	1
D1	40	15	5
D2	38	22	0
E1	58	20	2
E2	57	23	0

Tabla 4.2: Resultados de la experimentación preliminar del problema de localización

(abiertas) son los cuadros coloreados en verde, cada refugio abierto a su alrededor tiene círculos azul cielo, que estos significan que la zona ha sido cubierta de manera directa

Para la instancia A1 y A2 los datos utilizados se encuentran en la 4.1 en donde el número de posibles ubicaciones de los refugios es de 10, de los cuales solamente 2 se abrirán teniendo un total de 20 zonas afectadas demandando ayuda, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.2 en donde podemos observar que usando solo el indicador de cobertura nos cubre directamente 8 zonas afectadas, en donde 10 zonas quedan siendo accesibles para poder moverse en busca de ayuda y 2 zonas sin ser atendidas; en comparación utilizando todas las medidas de acceso propuestas en este trabajo (escenario A2) se tiene como resultados 7 zonas afectadas cubiertas directamente, 13 zonas quedan siendo accesibles y en este caso en particular todas las zonas que han sido afectadas cuentan con algún tipo de ayuda las podemos identificar estas dos instancias en la figura 4.1.

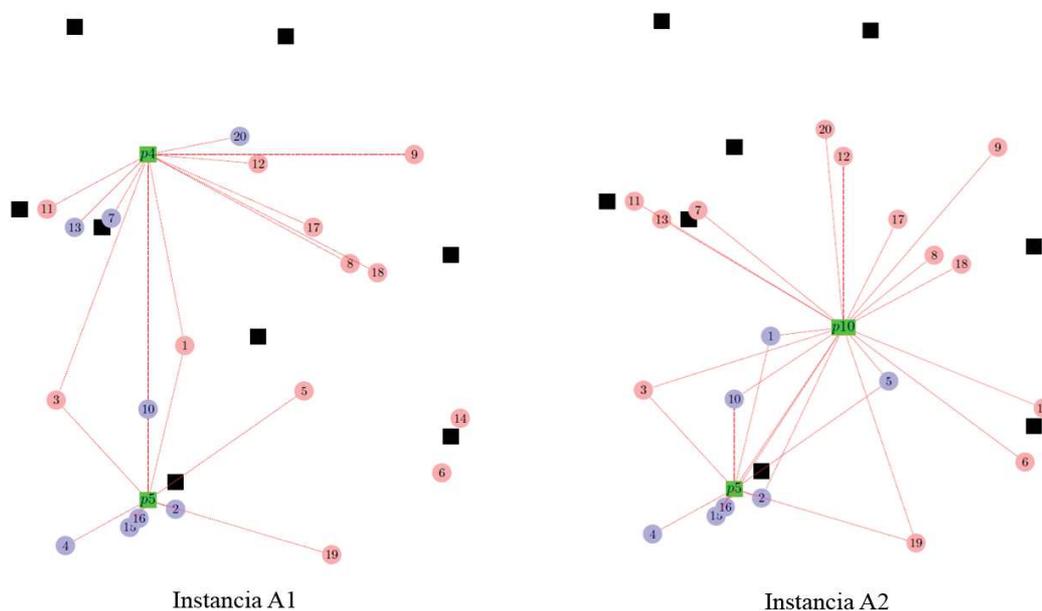


Figura 4.1: Instancia A1 tomando en cuenta solo cobertura e instancia A2 donde se trabaja con todas las medidas de acceso

Así mismo para las instancias B1 y B2, se muestran los datos utilizados en la tabla 4.1 donde se tienen 30 zonas que han sido afectadas y 15 posibles localizaciones para los refugios pero solo 2 serán abiertos, teniendo como resultados 4.2 que el escenario B1 en donde solo se toma en cuenta la cobertura, cubre 16 zonas afectadas de forma directa dejando con oportunidad de moverse a 9 zonas y 5 zonas sin ningún tipo de atención; trabajando con todos los indicadores ya mencionados de medidas de acceso, el escenario B2 cubre 12 zonas afectadas, 16 quedan siendo accesibles y 2 sin ser atendidas, podemos ver la representación gráfica para las instancias en la figura 4.2.

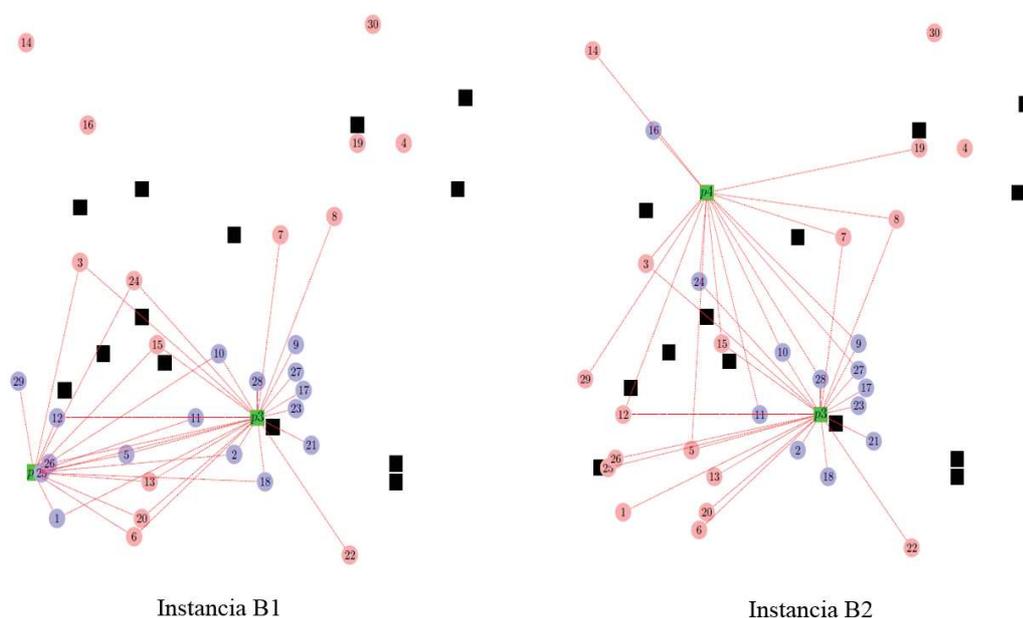


Figura 4.2: Instancia B1 tomando solo el indicador de cobertura

De igual forma sucede con las instancias C1 y C2 donde los datos utilizados están en la tabla 4.1 y se pueden observar de manera gráfica en la figura 4.3, se tiene 20 posibles localizaciones en donde solo se pueden abrir 3 para poder brindarle ayuda a las 40 zonas afectadas, obteniendo como resultados en la tabla 4.2 que el escenario C1 donde solo se toma en cuenta la parte de cobertura, atiende de forma directa 25 zonas, 10 son accesibles y 5 quedan desatendidas; tomando en cuenta todas las medidas de acceso en el escenario C2 cubre 23 zonas afectadas, dejando con alguna

oportunidad a 16 zonas y sin ningún tipo de ayuda a tan solo una zona afectada.

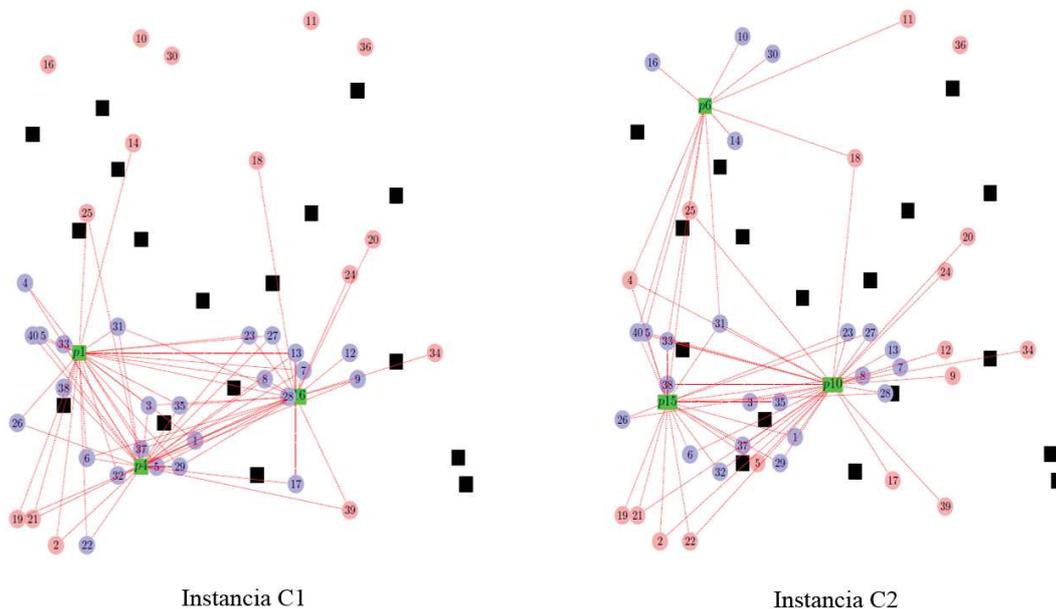


Figura 4.3: Instancia C1 tomando solo el indicador de cobertura

Para las instancias D1 y D2 los datos que se utilizaron están de igual forma en la tabla 4.1 en donde se tomaron 30 posibles ubicaciones de los refugios, abriendo tan solo 4 refugios y un total de 60 zonas afectadas. Los resultados se encuentran en la tabla 4.2 para el escenario D1 que es el que solo toma en cuenta la cobertura, atiende directamente 40 zonas, 15 zonas son accesibles y 5 quedan sin ayuda; para el escenario D2 en donde se tomo en cuenta las medidas de acceso, cubrió 38 zonas y 22 zonas quedaron siendo accesibles podemos verlo gráficamente en la figura 4.4.

Por último, las instancias E1 y E2 los resultados utilizados se encuentran en la tabla 4.1 y los resultados en la tabla 4.2, en donde el escenario E1 se trabajo solo con cobertura, dándole acceso de forma directa a 58 zonas afectadas, dejando a 20 zonas para poder moverse en busca de ayuda y 2 sin ser atendidas; los resultados para las instancias E1 y E2 se pueden ver gráficamente en la figura 4.5, cuando se usaron todas las medidas propuestas con la instancia E2, se cubre de forma directa a 57 zonas y 23 quedan con la oportunidad de poder moverse.

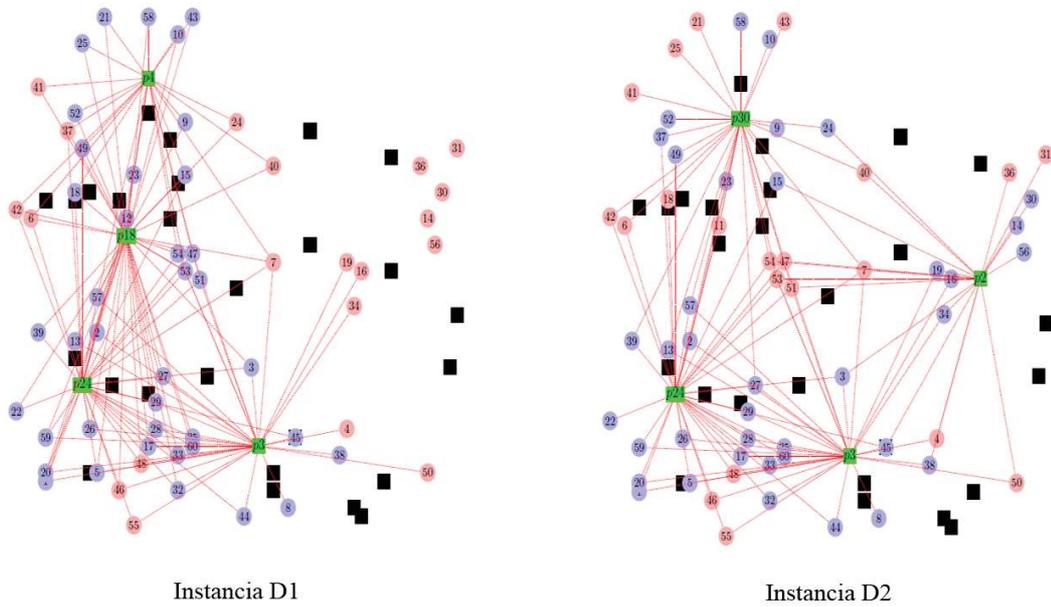


Figura 4.4: Instancia D1 tomando solo el indicador de cobertura

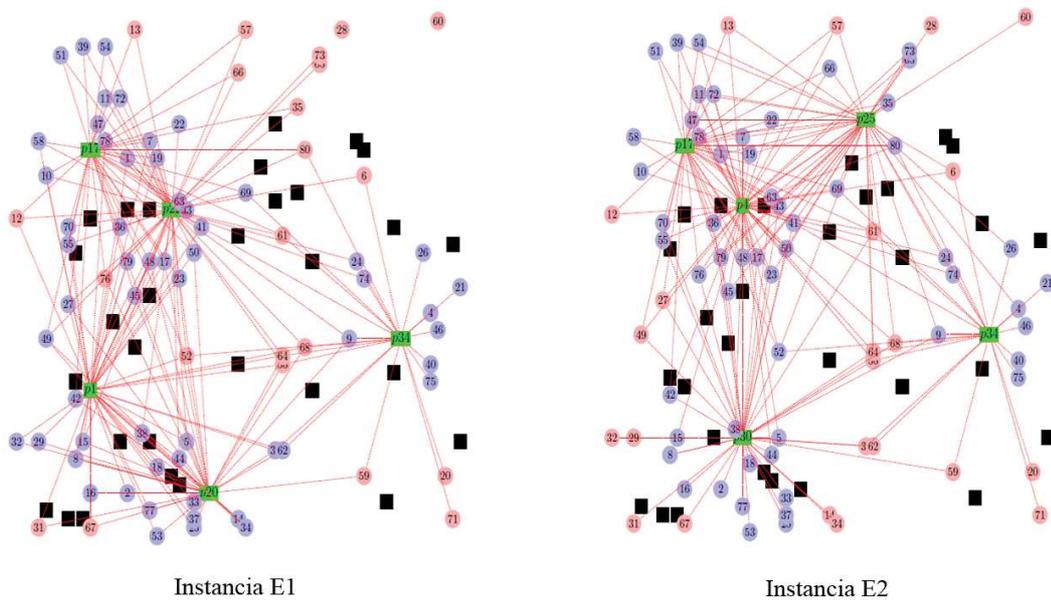


Figura 4.5: Instancia E1 tomando solo el indicador de cobertura

Como se aprecia en los resultados previos, a pesar de que en casi todos los casos usando las medidas de accesibilidad propuestas es igual o menor el número de zonas que se cubren directamente, al optimizar dichos indicadores de accesibilidad se puede llegar a la mayor cantidad de población afectada de una manera más eficiente, evitando que gran cantidad de puntos o zonas afectadas se queden aislados como cuando solo se tomó en cuenta la cobertura.

Se realizó una segunda experimentación con la misma formulación matemática presentada en la sección anterior pero variando los tamaños de las cuadrículas, al igual que los dos radios que se utilizaron, en la siguiente grafica 4.3 se pueden observar los datos

En la tabla 4.4 podemos observar que al hacer más grandes los tamaños de la cuadrícula se necesita aumentar el radio de acceso, para que un mayor número de personas tengan más oportunidades.

Como se explicó en la experimentación pasada el modelo que solo toma en cuenta la parte de cobertura casi siempre será mayor o igual comparándolo con el modelo propuesto como podemos analizar en la figura 4.6, en donde las barras color rojas se experimentó solo tomando en cuenta la parte de cobertura y en las de color azul se tomaron en cuenta las medidas de acceso; a simple vista se observa la diferencia pero muchas personas se quedan sin ningún tipo de oportunidad, es por eso que se también se realizó un comparativo de las oportunidades que ofrece cada modelo en esta segunda experimentación.

El número de oportunidades que tiene una persona que ha sido afectada de poder poner a salvo su vida llegando a un refugio aumento de manera significativa, analizando el grafico 4.7 se observa de color rojo son las oportunidades que se tienen si solo se toma en cuenta la parte de la cobertura y a simple vista se ve el aumento en las barras de color azul, si se toman en cuenta todas las medidas de acceso propuestas, por ejemplo comparando las instancias la f1 con su parte de cobertura tiene un total de 9 oportunidades pero comparándolo con las medidas de accesibilidad propuestas

Instancias	Tamaño de la cuadrícula	$ I $	n	$ J $	r_c	r_a
F1	60x60	5	2	15	8	20
F2	60x60	5	2	15	8	30
G1	60x60	5	2	16	8	20
G2	60x60	5	2	16	8	30
H1	60x60	5	2	18	8	20
H2	60x60	5	2	18	8	30
I1	60x60	5	2	19	8	20
I2	60x60	5	2	19	8	30
J1	120x120	10	5	60	8	20
J2	120x120	10	5	60	8	30
K1	120x120	10	5	61	8	20
K2	120x120	10	5	61	8	30
L1	240x240	20	12	120	8	20
L2	240x240	20	12	120	8	30
M1	240x240	20	12	121	8	20
M2	240x240	20	12	121	8	30

Tabla 4.3: Datos utilizados en la segunda experimentación del problema de localización tomando en cuenta medidas de acceso

Instancias	Zonas cubiertas	Zonas accesibles	Zonas desatendidas
F1	3	7	5
F2	3	12	0
G1	2	10	4
G2	2	14	0
H1	5	9	4
H2	6	10	2
I1	4	9	6
I2	4	15	0
J1	5	26	29
J2	5	42	13
K1	3	25	33
K2	3	48	10
L1	9	36	75
L2	8	64	48
M1	5	32	84
M2	4	66	51

Tabla 4.4: Resultados de la experimentación preliminar del problema de localización

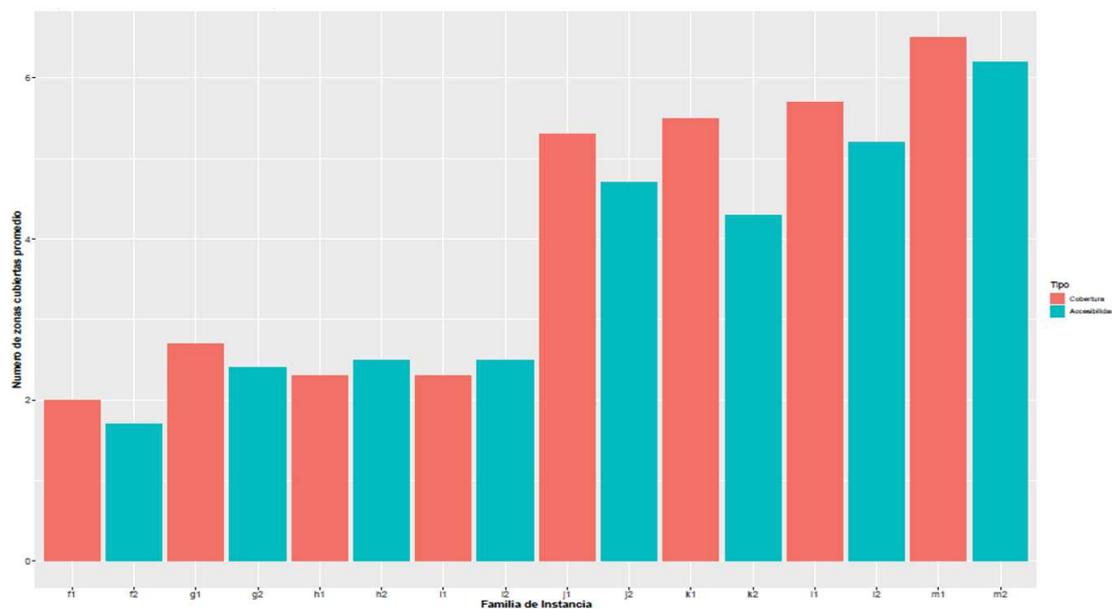


Figura 4.6: Comparativa entre zonas cubiertas directamente

se aumenta 7 oportunidades teniendo un total de 16 oportunidades; para la instancia g1 se tiene 11 oportunidades y g2 tiene 19, teniendo una diferencia considerable de 8 oportunidades; así mismo para las instancias h1 la cual cuenta con 12 oportunidades y h2 con 20, teniendo una diferencia de 8 oportunidades; las instancias i1 cuenta con 13 oportunidades a comparación de i2 que tiene 22 oportunidades de salvaguardar su vida; la instancia j1 cuenta con 28 oportunidades al realizar la comparación con la j2 se tiene una diferencia muy notable, ya que la instancia j2 cuenta con 56 oportunidades; la instancia k1 tiene un total de 29 oportunidades y la k2 de 55 oportunidades teniendo una diferencia de 26 oportunidades; la instancia l1 tiene 37 oportunidades y l2 cuenta con 71 oportunidades y por último la instancia m1 cuenta con 38 oportunidades al compararla con m2 se dobla la cifra teniendo un total de 76 oportunidades, todo esto con el fin de que las personas que han sido víctimas de un desastre puedan tener más posibilidades y no solo ellas, este modelo se puede adaptar a cualquier otro tipo de localizaciones, ya sea de centros de distribución, edificios, oficinas, etc.

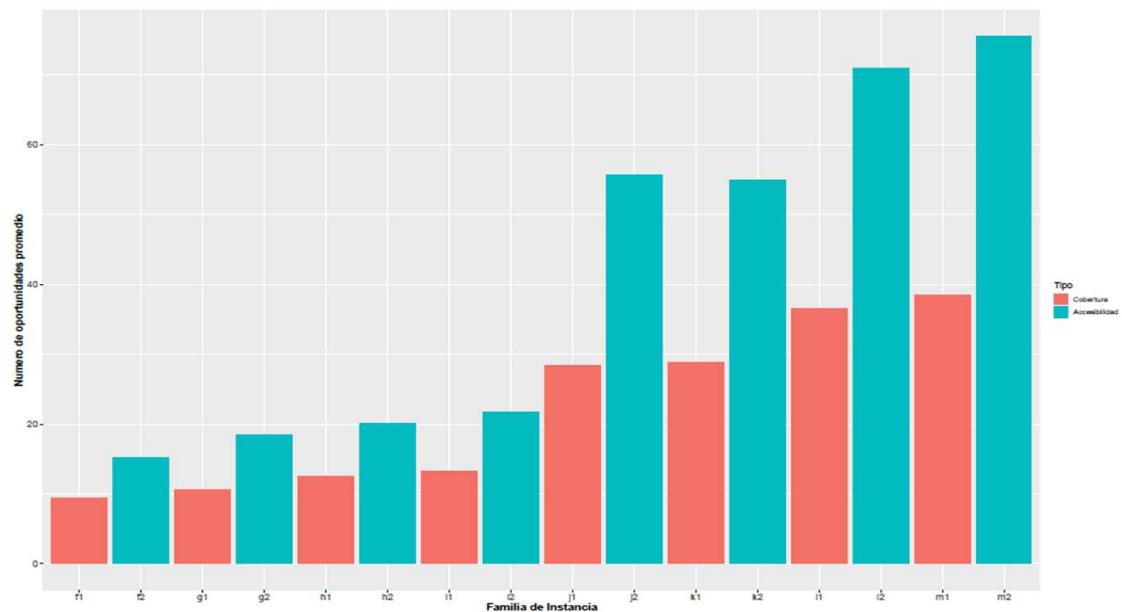


Figura 4.7: Comparación entre el número de oportunidades que tienen las familias

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Este trabajo de investigación está enfocado en efectuar una localización de ubicaciones de refugios aplicando diferentes medidas de accesibilidad que son consideradas como la distancia, acceso, cobertura, desagregación espacial y número de oportunidades.

Ante la presencia de un desastre natural la velocidad en la que se proporcione una respuesta a los problemas que se presentan es un factor fundamental, por lo que la solución que se brinde debe estar planeada de forma correcta y debe ser efectiva, ya que una decisión que se tome mal podría dañar a muchas personas.

La metodología se desarrolla a partir de que el desastre natural ya está presente la propuesta de solución que se ofrece es para poder enfrentarlo de manera correcta, el objetivo será cubrir la mayor población posible que ha sido afectada por el desastre y que dichas personas que han sido las afectadas puedan llegar a los refugios con el menor esfuerzo y teniendo mayores oportunidades.

Para atacar este problema se presentó una modelación matemática basada en el problema de localización de ubicaciones, adaptando medidas de acceso encontradas en Ibarra-Rojas *et al.* (2018), la cual permitió adaptar las características del problema y ofrecer la mejor manera de resolverlo.

A pesar de que la accesibilidad es definida de forma diferente en los distintos autores encontrados en la literatura, varía dependiendo del contexto que se presente, la mayoría de los autores consideran la cobertura como factor más relevante, seguido por número de oportunidades y desagregación espacial.

En este proyecto se buscó que se pueda atender a la mayor cantidad de la población que ha sido afectada con una mayor movilidad.

Cuando hablamos de mejorar la accesibilidad consiste en garantizar más oportunidades para la población afectada, de esa forma podrá obtener servicios o satisfacer las demandas sin tener que depender tanto de la movilidad.

En este caso, para el modelo propuesto se llevó a cabo una experimentación preliminar, donde se trabajó con ejemplos de instancias pequeñas para visualizar como se comportaban las medidas de accesibilidad y posteriormente aumentando los tamaños de las instancias, para así poder realizar la comparación contra el problema de máxima cobertura, teniendo como resultados que eran igual o menor el número de zonas que se cubren directamente, al optimizar dichos indicadores de accesibilidad se pudo llegar a la mayor cantidad de población afectada que fue posible de una manera más eficiente, evitando que gran cantidad de puntos o zonas afectadas se queden aislados como cuando solo se tomó en cuenta la cobertura.

Después del análisis de los resultados podemos concluir que tomar en consideración los indicadores propuestos como lo son: la accesibilidad, el número de oportunidades, la mejor oportunidad, la cobertura, las distancias y la desagregación geográfica, en lugar de solo centrarnos en la cobertura mejoran las posibilidades para las personas que no están siendo atendidas de manera directa, ya que cuentan con mayores posibilidades de poder llegar a un refugio y salvaguardar su vida.

En este enfoque se busca cubrir a la mayor población afectada para que las personas puedan llegar al destino deseado con el menor esfuerzo posible.

5.1 CONTRIBUCIÓN CIENTÍFICA

La contribución consiste en haber adaptado al modelo de localización las diferentes medidas de acceso encontradas en literatura. En donde se incluyen la cobertura que tiene un refugio al abrirse, el núm. de oportunidades que tienen las zonas afectadas y cuál de ellas es la más cercana para poder pedir ayuda, radio de accesibilidad para las zonas que se han quedado fuera de la cobertura, distancias y la desagregación espacial.

5.2 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El problema presentado tomo la forma general del problema de localización de ubicaciones, en cuanto a que se encuentra en la etapa de respuesta se conocen caminos dañados, zonas afectadas, posibles localizaciones, etc., no se tiene en consideración características como costos, demandas, rutas o centros de distribución, que serían interesantes incluirlas como otras variantes para el problema que pueden acoplarse a diferentes situaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- ALTAY, N. y W. G. GREEN III (2006), «OR/MS research in disaster operations management», *European journal of operational research*, **175**(1), págs. 475–493.
- ANDERSSON, H., A. HOFF, M. CHRISTIANSEN, G. HASLE y A. LØKKETANGEN (2010), «Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing», *Computers & Operations Research*, **37**(9), págs. 1515–1536.
- ARANEDA, R. H., R. J. M. SUAZO *et al.* (2005), «La decisión de localización en la cadena de suministro», *Revista Ingeniería Industrial*, (1), págs. 57–67.
- ARMENTEROS KINDELAN, A. (2018), «Vulnerabilidad ante desastres naturales. Propuestas de reconstrucción», .
- BALCIK, B. y B. M. BEAMON (2008), «Facility location in humanitarian relief», *International Journal of Logistics*, **11**(2), págs. 101–121.
- BALLOU, H. (2004), «Logística, Administración de la Cadena de Suministro», .
- BERTOLINI, L., F. LE CLERCQ y L. KAPOEN (2005), «Sustainable accessibility: a conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two test-applications in the Netherlands and a reflection on the way forward», *Transport policy*, **12**(3), págs. 207–220.
- BHAT, C., S. HANDY, K. KOCKELMAN, H. MAHMASSANI, Q. CHEN, L. WESTON *et al.* (2000), «Development of an urban accessibility index: Literature review», *Informe técnico*, University of Texas at Austin. Center for Transportation Research.

- BOCAREJO S, J. P. y D. R. OVIEDO H (2012), «Transport accessibility and social inequities: a tool for identification of mobility needs and evaluation of transport investments», *Journal of Transport Geography*, **24**, págs. 142–154.
- CELIS, L. X. M. (2017), *Localización de instalaciones y Asignación de recursos mediante un algoritmo heurístico, para la atención post-desastre, en caso de inundación o remoción de masa*, Tesis Doctoral, Universidad Industrial de Santander.
- CHURCH, R. y C. REVELLE (1974), «The maximal covering location problem», en *Papers of the Regional Science Association*, tomo 32, Springer, págs. 101–118.
- COORDINACIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL, C. N. D. P. D. D. (2001), «Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana», en *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana*.
- COZZOLINO, A. (2012), *Humanitarian logistics: cross-sector cooperation in disaster relief management*, Springer Science & Business Media.
- CURRENT, J. R., D. A. SCHILLING *et al.* (1994), «The median tour and maximal covering tour problems: Formulations and heuristics», *European Journal of Operational Research*, **73**(1), págs. 114–126.
- DALAL, J., P. K. MOHAPATRA y G. C. MITRA (2007), «Locating cyclone shelters: a case», *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, **16**(2), págs. 235–244.
- DE NICOLÁS, L., A. ARTETXE, A. JAUREGI y S. LÓPEZ (2000), «Intervención psicológica en situaciones de emergencia y desastres», *Victoria: Ed. Gobierno Vasco*, págs. 23–7.
- DE SOCIEDADES DE LA CRUZ ROJA Y DE LA MEDIA LUNA ROJA, F. I. (2014), «Guía para la elaboración de planes de respuesta a desastres y de contingencia», *Federación Internacional de sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja*.

- DEFRYN, C., K. SÖRENSEN y T. CORNELISSENS (2016), «The selective vehicle routing problem in a collaborative environment», *European Journal of Operational Research*, **250**(2), págs. 400–411.
- ESCOBAR, J. W. y R. LINFATI (2012), «Un algoritmo metaheurístico basado en recocido simulado con espacio de búsqueda granular para el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad», *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, **11**(21), págs. 139–150.
- GEURS, K. T. y B. VAN WEE (2004), «Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions», *Journal of Transport geography*, **12**(2), págs. 127–140.
- GRADILLA HERNÁNDEZ, L. (2015), «Consideraciones para la gestión para la gestión de la logística humanitaria postdesastre», *Publicación técnica*, (433).
- HALE, T. S. y C. R. MOBERG (2003), «Location science research: a review», *Annals of operations research*, **123**(1-4), págs. 21–35.
- HERNÁNDEZ GONZÁLEZ, N. M. (2012), *Modelación de un problema de localización e inventario para una cadena de suministros*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- HERRERA, E. J. E., I. C. NAVARRETE, M. M. VIDAL, R. P. FLORES y C. A. U. JIMÉNEZ (2008), *Cálculo diferencial e integral I*, Reverte.
- IBARRA-ROJAS, O., L. HERNANDEZ y L. OZUNA (2018), «The Accessibility Vehicle Routing Problem», *Journal of Cleaner Production*.
- INIESTRA, J. G., P. E. A. LÓPEZ y R. E. COLÓN (2012), «Un modelo bi-criterio para la ubicación de albergues, como parte de un plan de evacuación en caso de inundaciones», *Revista Ingeniería Industrial*, **11**(2).
- LÓPEZ RAMÍREZ, J. (), «Propuesta de planeación logística para la provisión de alojamiento, en la atención de desastres por inundaciones, que pueda ser utilizada en el departamento del Atlántico», .

- LUJÁN GONZÁLEZ, V. A. (2015), *Logística humanitaria: distribución de recursos en situaciones de desastres hidrometeorológicos en Nuevo León*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- MATA, M. S. (2017), *Distribución de ayuda humanitaria con accesibilidad como medida de desempeño*, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, UANL.
- MELO, M. T., S. NICKEL y F. SALDANHA-DA-GAMA (2009), «Facility location and supply chain management—A review», *European journal of operational research*, **196**(2), págs. 401–412.
- MIRANDA, P. A., R. A. GARRIDO y J. A. CERONI (2009), «e-Work based collaborative optimization approach for strategic logistic network design problem», *Computers & Industrial Engineering*, **57**(1), págs. 3–13.
- OZBAY, K. y E. E. OZGUVEN (2007), «Stochastic humanitarian inventory control model for disaster planning», *Transportation Research Record*, **2022**(1), págs. 63–75.
- ÖZDAMAR, L., E. EKINCI y B. KÜÇÜKYAZICI (2004), «Emergency logistics planning in natural disasters», *Annals of operations research*, **129**(1-4), págs. 217–245.
- PIRKUL, H. y D. A. SCHILLING (1991), «The maximal covering location problem with capacities on total workload», *Management Science*, **37**(2), págs. 233–248.
- REYES RUBIANO, L. S. *et al.* (2015), *Localización de instalaciones y ruteo de personal especializado en logística humanitaria post-desastre-caso inundaciones*, Tesis de Maestría, Universidad de La Sabana.
- SÁNCHEZ, C. C., J. V. FLOREZ, L. A. CASAS y V. S. OSHIRO (), «Localización de almacenes y distribución de ayuda humanitaria para atención de damnificados en caso de desastre natural», .

- SCHEURER, J. y C. CURTIS (2007), «Accessibility measures: Overview and practical applications», *Department of Urban and Regional Planning, Curtin University*, **52**.
- THOMAS, A. y L. FRITZ (2006), «Disaster relief, inc», *Harvard business review*, **84**(11), pág. 114.
- THOMAS, A. y M. MIZUSHIMA (2005), «Logistics training: necessity or luxury», *Forced Migration Review*, **22**(22), págs. 60–61.
- TOMASINI, R., L. VAN WASSENHOVE y L. VAN WASSENHOVE (2009), *Humanitarian logistics*, Springer.
- VAN WASSENHOVE, L. N. (2006), «Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear», *Journal of the Operational research Society*, **57**(5), págs. 475–489.
- VAN WYK, E., W. BEAN y V. S. S. YADAVALLI (2011), «Modelling of uncertainty in minimising the cost of inventory for disaster relief», *South African Journal of Industrial Engineering*, **22**(1), págs. 1–12.
- VILLALIBRE CALDERÓN, C. (2013), «Concepto de urgencia, emergencia, catástrofe y desastre: revisión histórica y bibliográfica», .

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Giselle Alejandra Naranjo Vázquez

Candidato para obtener el grado de
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE EMERGENCIA CONSIDERANDO
MEDIDAS DE ACCESIBILIDAD

Nací el 28 de agosto de 1992 en la ciudad de Cárdenas, Tabasco, México. Mis padres son Juan Miguel Ángel Naranjo Domínguez e Imelda Vázquez Hernández. Estudie Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco en el estado de Tabasco, del 2010 al 2015. A partir del 2016 comencé la maestría en Logística y Cadena de Suministro en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.