



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

INGENIERIA EN SISTEMAS – INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

**LOCAYAL CDMX: HERRAMIENTA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES
DE LOCALIZACIÓN DE CENTROS DE ACOPIO Y ALBERGUES EN LA CIUDAD
DE MÉXICO**

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ING. ALEJANDRO MARTÍNEZ GARNICA

TUTORA

DRA. AIDA HUERTA BARRIENTOS

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE, 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

Índice de figuras	4
Índice de tablas	8
Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Capítulo 1 La problemática en la localización de albergues y centros de acopio en situación de sismo	13
1.1 Los sismos en territorio mexicano y Ciudad de México (CDMX).....	13
1.2 El problema por resolver.....	21
1.3 El objetivo general	23
1.4 Los objetivos específicos	23
1.5 La justificación de llevar a cabo la investigación	23
1.6 La estrategia de investigación.....	26
Capítulo 2 La revisión de la literatura y el marco teórico	28
2.1 Marco teórico	28
2.1.1 Sismicidad	28
2.1.2 Sismo	28
2.1.3 Albergues.....	29
2.1.4 Albergue de transición.....	35

2.1.5	Albergues colectivos.....	35
2.2	Países con las mejores prácticas en materia de sismos	36
2.3	Sistemas y modelos para la implementación de logística humanitaria.....	37
2.3.1	Logística humanitaria	37
2.4	Modelación multicriterio en la ayuda humanitaria	40
2.5	La logística humanitaria en el ámbito de la investigación.....	53
Capítulo 3 Una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la localización óptima de albergues y centros de acopio en el caso de la CDMX.....		62
3.1	Fuentes de datos.....	63
3.2	Limpieza de las bases de datos	63
3.3	Software	64
3.3.1	Mapinfo Pro TM	64
3.4	Mapeo	65
3.5	Análisis de distancia	66
3.6	Clusterización	69
Capítulo 4 Análisis de los resultados principales.....		73
Recomendaciones		77
Conclusiones generales.....		77
Bibliografía y referencias		79

Índice de figuras

Figura 1.	Localización geográfica de las placas tectónicas en México.	14
Figura 2.	Localización geográfica de la zonificación sísmica en la CDMX.....	15
Figura 3.	Ocurrencia de los sismos en México durante 2010-2017.....	17
Figura 4.	<i>Mapa</i> conceptual de la toma de decisiones al interior del Consejo Nacional de Protección Civil.....	18
Figura 5.	Localización geográfica de las estaciones del sistema de alerta sísmico mexicano.	19
Figura 6.	Muestra del caos vial y psicosis tras la ocurrencia del sismo del 19 de septiembre 2017 en la CDMX.	21
Figura 7.	Multitud de ciudadanos en torno al Ángel de la independencia tras el sismo del 19 de septiembre 2017 en la CDMX.	22
Figura 8.	Operación de albergues tras el sismo del 19 de septiembre 2017 en la CDMX.....	22
Figura 9.	Acciones a realizar durante las diferentes etapas de los refugios temporales. .	24
Figura 10.	Protocolo a seguir por la población antes, durante y después de un sismo.	24
Figura 11.	Mapa Interactivo desarrollado en Google Maps con albergues y centros de acopio.....	25
Figura 12.	Línea del tiempo que muestra la ocurrencia de eventos e instancias a partir del sismo de 1985 en la CDMX.	26
Figura 13.	Muestra de un albergue temporal establecido después del sismo ocurrido el 19 de septiembre del 2017 en la CDMX.	30

Figura 14. Muestra del derribo de un edificio como hechos ocurridos el 19 de septiembre del 2017 en la CDMX.....	31
Figura 15. Muestra de un centro de acopio en la CDMX.	32
Figura 16. Muestra de un edificio dañado durante el sismo del 19 de septiembre del 2017 en la CDMX.....	33
Figura 17. Edificio demolido debido a los daños estructurales después del sismo del 19 de septiembre del 2017 en la CDMX.	34
Figura 18. Edificio inhabitables después del sismo ocurrido el 19 de septiembre del 2017.....	35
Figura 19. Pilares para la adecuada implementación de la logística humanitaria.....	37
Figura 20. La logística: el elemento más costoso ante cualquier ayuda en desastres.	38
Figura 21. Documentos por área de investigación como resultado de la búsqueda en la base de datos <i>Scopus</i> utilizando la palabra clave <i>humanitarian logisitics</i>	55
Figura 22. Documentos por tipo como resultado de la búsqueda en la base de datos <i>Scopus</i> utilizando la palabra clave <i>humanitarian logisitics</i>	55
Figura 23. Documentos por ciudad o territorio como resultado de la búsqueda en la base de datos <i>Scopus</i> utilizando la palabra clave <i>humanitarian logisitics</i>	56
Figura 24. Documentos por nombre de revista como resultado de la búsqueda en la base de datos <i>Scopus</i> utilizando la palabra clave <i>humanitarian logisitics</i>	56
Figura 25. Red de interacciones entre palabras clave utilizando el software VOSviewer™, búsqueda en la base de datos <i>Scopus</i> utilizando la palabra clave <i>humanitarian logisitics</i>	57
Figura 26. Red de interacciones entre palabras clave utilizando el software VOSviewer™, línea del tiempo de la búsqueda en la base de datos <i>Scopus</i> utilizando la palabra clave <i>humanitarian logisitics</i>	58

Figura 27. Red de interacciones entre palabras clave utilizando el software VOSviewer™, mapa de calor de la búsqueda en la base de datos <i>Scopus</i> utilizando la palabra clave <i>humanitarian logisitics</i>	58
Figura 28. Red de interacciones entre logística humanitaria y optimización utilizando el software VOSviewer™, búsqueda en la base de datos <i>Scopus</i> utilizando la palabra clave <i>humanitarian logisitics</i>	59
Figura 29. Red de interacciones entre logística humanitaria e instalaciones utilizando el software VOSviewer™, búsqueda en la base de datos <i>Scopus</i> utilizando la palabra clave <i>humanitarian logisitics</i>	59
Figura 30. Red de interacciones entre logística humanitaria e instalaciones utilizando el software VOSviewer™, línea del tiempo de la búsqueda en la base de datos <i>Scopus</i> utilizando la palabra clave <i>humanitarian logisitics</i>	60
Figura 31. Red de interacciones entre logística humanitaria y optimización utilizando el software VOSviewer™, búsqueda en la base de datos <i>Scopus</i> utilizando la palabra clave <i>humanitarian logisitics</i>	60
Figura 32. Red de interacciones entre países utilizando el software VOSviewer™, búsqueda en la base de datos <i>Scopus</i> utilizando la palabra clave <i>humanitarian logisitics</i>	61
Figura 33. Red de interacciones entre autores utilizando el software VOSviewer™, búsqueda en la base de datos <i>Scopus</i> utilizando la palabra clave <i>humanitarian logisitics</i>	61
Figura 34. Diagrama general de los procesos de la metodología propuesta para el desarrollo de la herramienta LOCAYAL.	62
Figura 35. Localización geográfica de los puntos con la herramienta MapInfo Pro™.	64
Figura 36. Mapeo de las 16 alcaldías en la CDMX evaluadas para poner centros de acopio/albergues.	65

Figura 37.	Localización geográfica de los puntos candidatos a ser centros de acopio y/o albergues en la CDMX.	65
Figura 38.	Análisis de distancia entre los puntos candidatos a ser albergue con respecto a los centros de acopio.....	66
Figura 39.	Localización geográfica y mapeo de los 361 puntos totales.	67
Figura 40.	Localización geográfica y mapeo de los 108 albergues y 253 centros de acopio. 67	
Figura 41.	Localización geográfica y mapeo de los 108 albergues.	68
Figura 42.	Localización geográfica y mapeo de los 253 centros de acopio.....	68
Figura 43.	Localización geográfica y mapeo de la Zona Intensidad Alta.....	70
Figura 44.	Localización geográfica y mapeo de la Zona Intensidad Media.	71
Figura 45.	Localización geográfica y mapeo de la Zona Intensidad Baja.	72
Figura 46.	Código QR para acceso a la herramienta LOCAYAL.	73
Figura 47.	Centros de acopio y albergues en la plataforma de QGIS™, que forman parte de la herramienta LOCAYAL.	74
Figura 48.	Descripción mostrada al hacer clic en los puntos geográficos contenidos en la herramienta LOCAYAL.	74
Figura 49.	Selección tabular de capas y filtros de lo que se muestra en la la interfaz de la herramienta LOCAYAL.	75
Figura 50.	Direccionamiento web de la herramienta LOCAYAL.....	76
Figura 51.	Mapeo y selección tabular de capas y filtros de lo que se muestra en la interfaz de la herramienta LOCAYAL.	76

Índice de tablas

<i>Tabla 1.</i> Estadísticas de los sismos reportados por el SSN (Servicio Sismológico Nacional), 1990-2017.....	16
<i>Tabla 2.</i> Resumen de artículos científicos revisados en la revisión de la literatura científica.....	41

Resumen

En la Ciudad de México (en adelante denominada CDMX), se tiene un problema latente en temas de desastres naturales y específicamente en sismos. Esto se debe a que, en esta parte de América convergen 5 placas tectónicas así que, una forma de protegerse ante los embates de estos desastres es la prevención. Dicho lo anterior, el objetivo de esta tesis es diseñar e implementar una herramienta que apoye la toma de decisiones del gobierno y de la ciudadanía de la CDMX para la localización óptima de albergues y centros de acopio, así como para la asignación de la población a la que darán cobertura en una situación de sismo. En primer lugar, se realiza la revisión de la literatura acerca de las herramientas y metodologías de optimización para la localización óptima de albergues y asignación de la población existente para la logística humanitaria, multicriterio y localización de albergues. En segundo lugar, se selecciona un modelo matemático multicriterio que se adapta a las necesidades y limitantes que existen en la CDMX y que permite tener una localización óptima de albergues y centros de acopio para ser asignados a la mayor cantidad de población. Después, se diseña e implementa una herramienta de apoyo a la toma de decisiones del gobierno de la CDMX y la ciudadanía para la localización óptima de albergues y centros de acopio y se pone a disposición a través de una dirección URL. El presente trabajo apoyará a la ciudadanía habitante de la CDMX a tener una opción en caso de afectación posterior a una situación de sismo en el caso de requerir los servicios de un lugar donde establecerse temporalmente.

Abstract

In Mexico City (referred as CDMX), there is a problem regarding natural disasters and specifically earthquakes. This is because in this part of America 5 tectonic plates converge, so one way to protect against the onslaught of these disasters is prevention. The main objective of this thesis is to design and implement a tool that supports the decision-making of the government and the citizens of CDMX for the optimal location of shelters and storage centers, as well as for the allocation of the population to which will provide coverage in an earthquake situation. First, a review of the literature is carried out on the optimization tools and methodologies for the optimal location of shelters and allocation of the existing population for humanitarian logistics, multi-criteria and shelter location. Second, a multi-criteria mathematical model is selected that adapts to the needs and limitations that exist in CDMX and that allows for an optimal location of shelters and storage centers to be assigned to the largest number of people. Afterwards, a decision support tool for the CDMX government and citizens is designed and implemented for the optimal location of shelters and it is available through an URL address. The present work supports citizens after an earthquake situation.

Introducción

La CDMX, así como en todo el territorio nacional mexicano, es considerada una zona que sufre por tener gran cantidad de movimientos telúricos debido a que en ella reposan 5 placas tectónicas en constante acomodo. De acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional, durante el período 2015 - 2019 en promedio por año se registraron 21,982 sismos en todo el territorio nacional mexicano, siendo apenas el 0.2% mayores a 5 grados Richer (°R) de magnitud.

El sismo ocurrido el 19 de septiembre del 2017 cuya magnitud alcanzó los 7.1 °R, dejó más de 400 muertos en la CDMX, Morelos, Puebla, Edo de México y Guerrero. Dentro de las demarcaciones más afectadas por este sismo, podemos enlistar las siguientes alcaldías: Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Álvaro Obregón, Miguel Hidalgo, Gustavo A. Madero, Benito Juárez, Coyoacán, parte de Tlalpan y algunas zonas de Azcapotzalco.

Derivado de dicho acontecimiento sísmico, en la CDMX el esfuerzo por hacer eficiente el proceso de ayuda humanitaria cuando existen siniestros de este tipo tomó gran relevancia. Localizar los centros de acopio y albergues en lugares estratégicos podría ser de gran utilidad y traería beneficios de rápida reacción y de apoyo a la ciudadanía local. Es importante señalar que, más de la mitad de las alcaldías de la CDMX se encuentran dentro de las zonas con mayor riesgo sísmico, con un total de 67 colonias, de acuerdo con el estudio desarrollado por el Servicio Sismológico Nacional (SSN). Entendiendo que la CDMX se encuentra en una zona con alto índice de sismicidad hay que prever todo aquello que mitigue los daños que un sismo pueda ocasionar como por ejemplo el correcto desalojo de edificios, la caída de los mismos, la localización de albergues y centros de acopio en lugares estratégicos y que cumplan con las características mínimas requeridas para fungir como tal sin poner en riesgo la integridad física de las personas que se alojen allí. Desafortunadamente, no existe una herramienta que apoye la toma de decisiones en la localización óptima de lugares de resguardo como son los albergues y/o los centros de acopio cuya función sea la de asistir a la población considerando las zonas donde es más probable que existan afectaciones severas en situación de sismo en contexto de la CDMX.

Es en esta dirección, que el objetivo de la presente tesis es diseñar e implementar una herramienta que apoye la toma de decisiones del gobierno y de la ciudadanía de la CDMX para la localización óptima de albergues y centros de acopio, así como para la asignación de la población a la que darán cobertura en el caso de una situación de sismo. Consideramos que esta tesis contribuya para que, después de la ocurrencia de un sismo la ciudadanía que no corra peligro puede colaborar y ayudar haciendo, en puntos previamente seleccionados, centros de acopio y/o albergues que permitan ayudar a la población que más lo requiera en estos casos y garantizar lo más básico como lo son el alimento y un hogar provisional.

Esta tesis está conformada por cuatro capítulos, que se describen enseguida. En el Capítulo 1, se presenta la problemática en la localización de albergues y centros de acopio en situación de sismo, así como la justificación de llevar a cabo la presente investigación y quiénes se beneficiarían o perjudicarían en caso de llevarla a cabo.

En el Capítulo 2, se realiza la revisión de la literatura acerca de las herramientas de optimización y simulación para la localización óptima de albergues y asignación de la población existente. De la misma forma, se describe el marco teórico de referencia para la investigación.

En el Capítulo 3, se diseña e implementa una herramienta que apoya la toma de decisiones del gobierno y de la ciudadanía de la CDMX para la localización óptima de albergues y centros de acopio, así como para la asignación de la población a la que darán cobertura para el caso de una situación de sismo.

En el capítulo 4, se analizan los resultados principales de la presente investigación y se presenta la herramienta tecnológica utilizando un código QR que se puede escanear y consultar en el momento que se requiera. También, se indica una breve explicación acerca del uso correcto de dicha herramienta.

Al final se enuncian las conclusiones generales y las recomendaciones derivadas del análisis cuantitativo.

Capítulo 1 **La problemática en la localización de albergues y centros de acopio en situación de sismo**

1.1 Los sismos en territorio mexicano y Ciudad de México (CDMX)

Los múltiples terremotos que han sacudido a nuestro país desde aquel fatídico 19 de septiembre de 1985 han orillado a realizar una serie de acciones que permitan tener el menor número de pérdidas humanas. Antes de aquella fecha no se contaba con ningún tipo de organismo que previera las acciones que se deberían seguir antes, durante y después de un sismo lo que derivó en una total desorganización y desinformación por la falta de un plan de contingencia para responder a los desastres.

De acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional (SSN), en la CDMX se registran de manera diaria un promedio de poco más de 40 sismos al día (Dato obtenido de Forbes 2017, sumando el número total de sismos comprendidos entre enero 2016 a agosto del 2017). Esto podría parecer un crecimiento importante comparándolo con los inicios de la década de los 90's en donde se registraban un promedio de dos sismos diarios.

Hay una explicación que puede tornarse un tanto obvia, siendo que el número de instrumentos y la tecnología de la época era inferior a la que contamos hoy en día y no se podían detectar sismos que ocurrían en estados altamente sísmicos como lo son Chiapas y Oaxaca. Debemos entender y estar conscientes que el país se encuentra localizado sobre 5 placas tectónicas en constante movimiento (Norte América, Cocos, Pacífico, Rivera y del Caribe) (ver Figura 1).



Figura 1. Localización geográfica de las placas tectónicas en México.

Fuente: Servicio Sismológico Nacional, CDMX, (2017). Recuperado de http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX_rep_esp_20170919_Puebla-Morelos_M71.pdf

Desde el sismo ocurrido en el año 1985 y debido a los daños materiales y las pérdidas humanas que se debieron a este hecho, desde el gobierno se crearon distintas instancias que permitirían dar información a la población acerca del cómo actuar antes, durante y después de un siniestro natural. Algunas de estas dependencias fueron las siguientes: El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Protección Civil y el Sistema Sismológico Nacional (SSN), las cuales actualmente tienen como función monitorear los desastres naturales que a nivel nacional ocurran y apoyar en estas situaciones de emergencia.

En el año 2018, se dio a conocer por parte del Sistema Sismológico Nacional (SSN) un Atlas de riesgos en la CDMX denominado *Atlas de riesgo – Sísmico* que cuenta con una base de datos sobre geología, para conocer hundimientos, actividad sísmica, inestabilidad de laderas, entre otros; hidrológico, con los riesgos de inundación; información sobre incendios forestales, datos de edificios de gobierno, hospitales públicos; escenarios sobre posibles fallas del Emisor Poniente, Central y Gran Canal y los edificios colapsados el pasado 19 de septiembre 2018 (ver Figura 2).

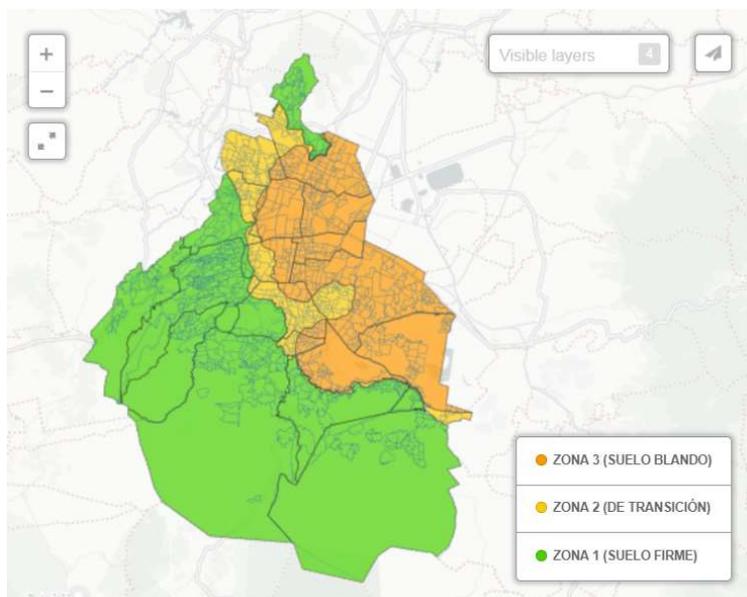


Figura 2. Localización geográfica de la zonificación sísmica en la CDMX.

Fuente: Secretaria de Protección Civil, CDMX, (2017). Recuperado de http://www.atlas.cdmx.gob.mx/zonificacion_sismica.html

Las llamadas zonas ceros de la CDMX tienen cuatro cuadrantes y sólo se ha estudiado uno, ya que realizar el análisis total requiere de más de 18 millones de pesos. Sin embargo, se detalló que la zona más susceptible a los sismos es donde se asentaba el Lago de Texcoco, ya que las características de sus suelos provocan que las ondas sísmicas se transmitan, generando los movimientos de mayor duración, lo que genera más daños.

En la Tabla 1, se indica la cantidad de sismos que han ocurrido desde 1990 a 2017. Podemos resumir que en los últimos 8 años han ocurrido un total de 7 sismos con una magnitud superior a los 7 °R.

Tabla 1.*Estadísticas de los sismos reportados por el SSN (Servicio Sismológico Nacional), 1990-2017.*

AÑO	TOTAL DE SISMOS	MAGNITUD							
		No calculable*	0 - 2.9	3 - 3.9	4 - 4.9	5 - 5.9	6 - 6.9	7 - 7.9	8 - 8.9
1990	796	1	12	247	510	24	2	0	0
1991	728	4	2	183	509	29	1	0	0
1992	614	1	4	184	398	27	0	0	0
1993	916	1	47	274	548	40	5	1	0
1994	622	0	20	192	383	24	3	0	0
1995	678	0	17	188	438	26	6	2	1
1996	789	0	8	203	543	32	2	1	0
1997	1019	13	44	388	533	34	6	1	0
1998	1024	2	11	453	532	21	5	0	0
1999	1099	1	12	542	527	11	4	2	0
2000	1052	9	28	463	531	18	2	1	0
2001	1344	9	8	704	585	32	6	0	0
2002	1688	0	4	880	760	40	4	0	0
2003	1323	0	5	728	568	18	3	1	0
2004	1346	0	2	669	639	33	3	0	0
2005	1210	0	1	678	514	17	0	0	0
2006	1355	0	0	792	544	19	0	0	0
2007	1528	0	1	728	764	33	2	0	0
2008	1955	0	4	1154	780	15	2	0	0
2009	2302	0	5	1648	611	37	1	0	0
2010	3462	0	23	2454	954	27	3	1	0
2011	4272	0	44	3357	839	27	5	0	0
2012	5244	1	21	4106	1054	50	10	2	0
2013	5360	0	56	4221	1046	33	4	0	0

AÑO	TOTAL DE SISMOS	MAGNITUD							
		No calculable*	0 - 2.9	3 - 3.9	4 - 4.9	5 - 5.9	6 - 6.9	7 - 7.9	8 - 8.9
2014	7607	1	237	6365	953	43	7	1	0
2015	10947	1	251	9056	1606	30	3	0	0
2016	15281	0	514	13289	1438	34	6	0	0
2017	26123	0	507	21451	4055	105	2	2	1

Fuente: Servicio sismológico Nacional, CDMX, 2018. Recuperado de <http://www2.ssn.unam.mx:8080/estadisticas/>

En la Figura 3, se indica el número de sismos que se han suscitado en México a partir del año 2010.

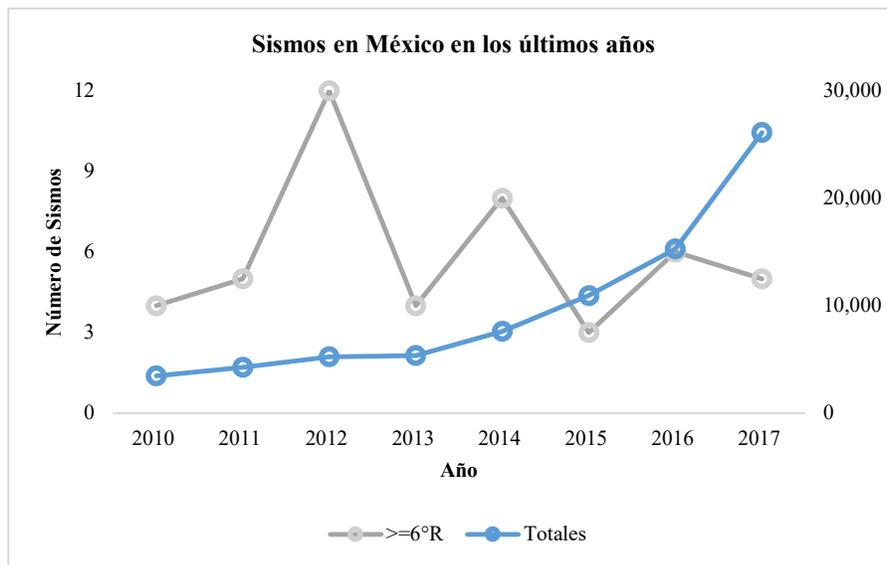


Figura 3. Ocurrencia de los sismos en México durante 2010-2017.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Podemos observar que el número total de sismos ha presentado un incremento exponencial, en contraste con los sismos mayores o iguales a 6 °R que no han sido tantos; sin embargo, el poder de destrucción ha sido mayor.

Las acciones tales como la creación del Sistema Nacional de Protección Civil tan sólo un año después de los acontecimientos (6 de mayo de 1986) y cuya función principal es la de coordinar a los estados, organizaciones civiles y el Gobierno federal para actuar antes, durante y después de un desastre natural (ver Figura 4). De igual manera, otra de sus funciones es la de comunicar de manera rápida y veraz información entre las entidades gubernamentales sobre personas desaparecidas y estructuras colapsadas o con daños. Más tarde, la Universidad Nacional Autónoma de México participó en los esfuerzos para impulsar los estudios concernientes a diversos temas relacionados con la reducción de desastres en México. De esta manera, las tres iniciativas concurrieron en la creación, el 19 de septiembre de 1988, del CENAPRED. Su inauguración fue el 11 de mayo de 1990.

El CENAPRED tiene por objeto estudiar, desarrollar, aplicar y coordinar tecnologías para la prevención y mitigación de desastres y sus efectos, promover la capacitación profesional y técnica sobre la materia, en áreas como Riesgos Químicos, Hidrometeorológicos, Sísmicos, Estructurales, etc.; así como apoyar la difusión de medidas de preparación y autoprotección de la población ante la contingencia de un desastre.

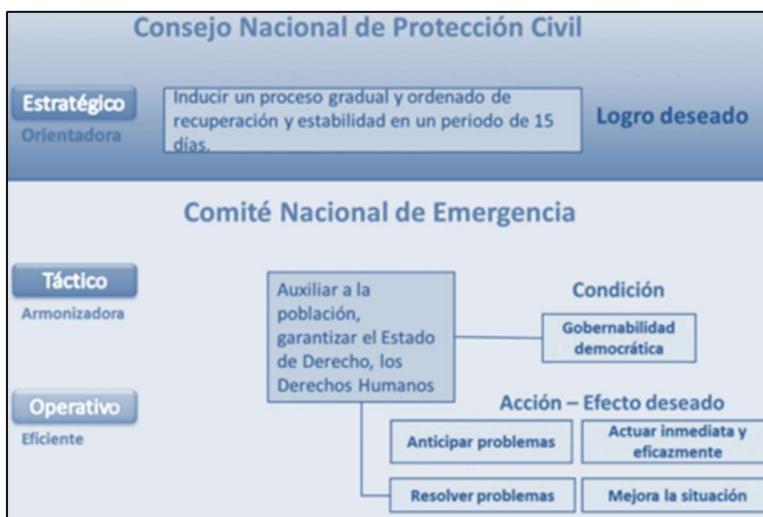


Figura 4. Mapa conceptual de la toma de decisiones al interior del Consejo Nacional de Protección Civil.

Fuente: Sistema Nacional de Protección Civil (1ra. Edición 2011). Recuperado de https://www.paho.org/disasters/newsletter/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=documents-9&alias=122-plan-sismo-mexico-122&Itemid=432&lang=es

Poco tiempo después se conformó el Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX) inicialmente por el Sistema de Alerta Sísmica para la CDMX (SAS), que se encuentra en operación desde 1991 y el Sistema de Alerta Sísmica para la Ciudad de Oaxaca (SASO) que brinda servicio desde 2003. Adicionalmente, el SASMEX está en etapa de ampliación de su cobertura en otras regiones de peligro sísmico que eventualmente pudieran afectar a ciudades vulnerables tales como la CDMX.

En 1989 se inició el desarrollo del Sistema de Alerta Sísmica de la CDMX (SAS), a cargo del Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A. C. (CIRES). SAS originalmente inició con 12 estaciones sismo-sensoras cubriendo de forma parcial un segmento de la Costa de Guerrero (ver Figura 5).

SAS es considerado como pionero en brindar el servicio de difusión de alertas públicas automáticamente, esto gracias al apoyo de la Asociación de Radiodifusores del Valle de México, A.C. (ARVM). Históricamente en la CDMX, debido a la gran distancia hasta la costa de Guerrero, el SAS ha proporcionado avisos de Alerta con un tiempo de oportunidad de aproximadamente 100 segundos.



Figura 5. Localización geográfica de las estaciones del sistema de alerta sísmica mexicano.

Fuente: Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, CDMX (2018). Recuperado de http://www.cires.org.mx/sasmex_es.php

Existen políticas generales para el establecimiento de los refugios para garantizar que funcionen adecuadamente en una situación de emergencia. Tenemos el caso de la arquitecta María Lizet Peña Reguerin, en su escrito sobre albergues escrito en la ciudad de La paz, Bolivia, quien, dentro de su escrito, propone algunas consideraciones y recomendaciones en contingencia:

- El mejor refugio que puede encontrarse es el domicilio de familiares y amigos cercanos, alejados de la zona de peligro.
- Debe mantenerse unidas a las familias.
- Debe cuidarse al máximo posible la intimidad de la familia ubicada en un refugio temporal.
- Los refugios temporales masivos solo serán utilizados cuando no se disponga de otras alternativas.

Requisitos para establecer un refugio temporal.

- Deben estar alejados de las zonas de peligro.
- Deben tener un grado de vulnerabilidad bajo.
- Debe contar con espacios para ofrecer los servicios básicos.
- Debe situarse en lugares accesibles.
- Debe contar con un sistema de comunicación.
- Debe contar con agua potable suficiente.
- Debe contar con servicios sanitarios.
- Tendrá espacio para dormitorio (aproximadamente 4 m² por persona).
- Ofrecerá 2,500 calorías por día, por persona (como mínimo).
- Dispondrá de 18 litros diarios por persona (como mínimo).

- Retretes, al menos 1 retrete por cada 40 personas.
- Estancias separadas para enfermos, (deberá tener cuidado con enfermedades contagiosas).
- Contará, de ser posible, con áreas de recreo.
- Contará también con zonas de estacionamiento.

Teóricamente, todos los estados y ciudades, urbanizadas o no, deben contemplar al menos los elementos enlistados anteriormente para garantizar salubridad y bienestar a quienes hagan uso de ellos. Todo esto según diversas dependencias de gobierno tales como: la Subsecretaría de prevención y promoción de la salud, el Sistema Nacional de Protección Civil y los programas para la protección a la población en caso de desastres naturales.

1.2 El problema por resolver

La falta de coordinación y comunicación debido al caos y la psicosis que se genera tras un sismo es otro factor que afecta las vías de comunicaciones terrestres e inclusive las telecomunicaciones (ver Figura 6 y Figura 7). Esto se transforma en una *parálisis vial* que impide que los servicios de emergencia lleguen de manera oportuna a atender un llamado.



Figura 6. Muestra del caos vial y psicosis tras la ocurrencia del sismo del 19 de septiembre 2017 en la CDMX.

Fuente: El Universal, CDMX (2018). [Fotografía] Recuperado de <http://www.lavozdemichoacan.com.mx/pais/dramatico-terremoto-sacude-la-ciudad-de-mexico/attachment/terremoto-10/>

Al no contar con espacios previamente determinados que sean eficientes debido al problema de comunicación antes descrito, se provoca que los afectados no puedan ser atendidos y alojados y que se localicen cerca de las zonas de máximo riesgo.



Figura 7. Multitud de ciudadanos en torno al Ángel de la independencia tras el sismo del 19 de septiembre 2017 en la CDMX.

Fuente: El Universal, CDMX (2018). [Fotografía] Recuperado de <http://www.lavozdemichoacan.com.mx/pais/dramatico-terremoto-sacude-la-ciudad-de-mexico/attachment/terremoto-10>

Derivado de lo anterior surge la necesidad de localizar con base en criterios de optimización zonas o lugares de resguardo cuya función sea la de asistir a la población como albergues y/o centros de acopio tomando en cuenta las zonas donde es más probable que exista población afectada en situación de sismo (ver Figura 8).



Figura 8. Operación de albergues tras el sismo del 19 de septiembre 2017 en la CDMX.

Fuente: CuartoOscuro.com, CDMX (2018). [Fotografía] Recuperado de <http://amqueretaro.com/el-pais/mexico/2017/09/09/centro-de-acopio-cruz-roja-mexicana-sismo-temblor-8-2-grados>

1.3 El objetivo general

Diseñar e implementar una herramienta que apoye la toma de decisiones del gobierno y de la ciudadanía de la CDMX para la localización óptima de albergues y centros de acopio, así como para la asignación de la población a la que darán cobertura en una situación de sismo.

1.4 Los objetivos específicos

- Realizar la revisión de la literatura acerca de las herramientas y metodologías de optimización para la localización óptima de albergues y asignación de la población existente para la logística humanitaria, multicriterio y localización de albergues.
- Seleccionar un modelo matemático multicriterio que se adapte a las necesidades y limitantes que existen en la CDMX y que permita tener una localización óptima de albergues y centros de acopio para ser asignados a la mayor cantidad de población.
- Diseñar e implementar una herramienta tecnológica de apoyo a la toma de decisiones del gobierno y la ciudadanía de la CDMX para la localización óptima de albergues y centros de acopio.
- Poner a disposición del usuario la herramienta a través de un código QR que contenga una URL (Uniform Resource Locator).

1.5 La justificación de llevar a cabo la investigación

Los esfuerzos por mantener actualizadas cada una de las instituciones e instrumentos encargados de mitigar las pérdidas humanas en desastres naturales y en específico ante un sismo son muy grandes y constantes, sin embargo hay medidas que se pueden adoptar para que después de un sismo la ciudadanía que no corra peligro, pueda colaborar y ayudar haciendo, en puntos previamente seleccionados, centros de acopio y/o albergues que permitan ayudar a la población más necesitada y garantizar la ayuda tal como el alimento y un hogar provisional (ver Figura 9 y Figura 10).

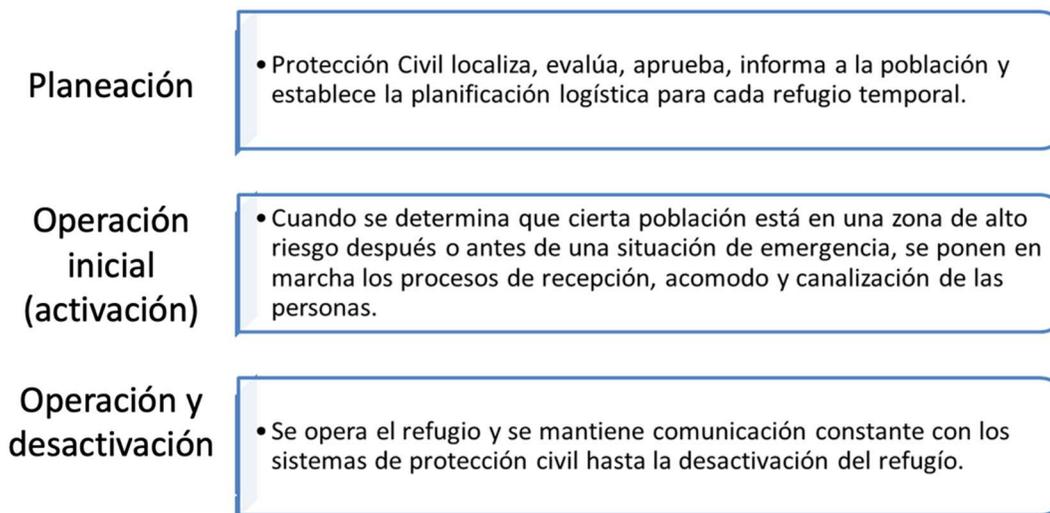


Figura 9. Acciones a realizar durante las diferentes etapas de los refugios.

Fuente: Elaboración propia, adaptada del protocolo emitido por Protección Civil (2018).

Protocolos a seguir por la población antes, durante y después de un sismo

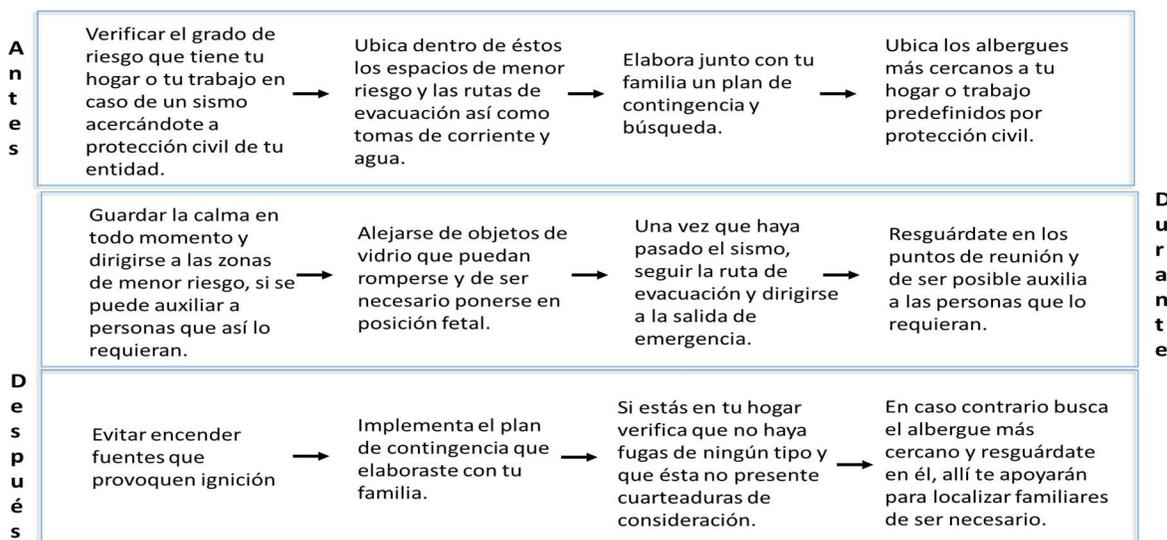


Figura 10. Protocolo a seguir por la población antes, durante y después de un sismo.

Fuente: Elaboración propia, basada del protocolo emitido por Protección Civil (2018).

Después del sismo del 19 de septiembre del 2017, se realizaron varios esfuerzos por mantener a la población informada sobre los lugares a los que podrían asistir en caso de necesitarlo, tales como hospitales, albergues y centros de acopio. A continuación, en la Figura 11, se puede apreciar un mapa en donde se encontraban los hospitales y centros de acopio.



Figura 11. Mapa Interactivo desarrollado en Google Maps con albergues y centros de acopio.

Fuente: Google Maps, CDMX (2017). Recuperado de https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=13B_gbt3e5RWk_6xQoQ15xxhGOFs&ll=18.4810426914736%2C-97.48055053127155&z=6

El gobierno federal estimó la erogación por reconstrucción de los daños causados por el sismo del 19 de septiembre en 39 mil millones de pesos (mdp) destinados a: 153,000 viviendas, 13,000 escuelas y 1,225 inmuebles históricos. En la Figura 12, se muestra la línea del tiempo con los acontecimientos más importantes desde el sismo del 1985 que azotó, entre otras ciudades, la CDMX.

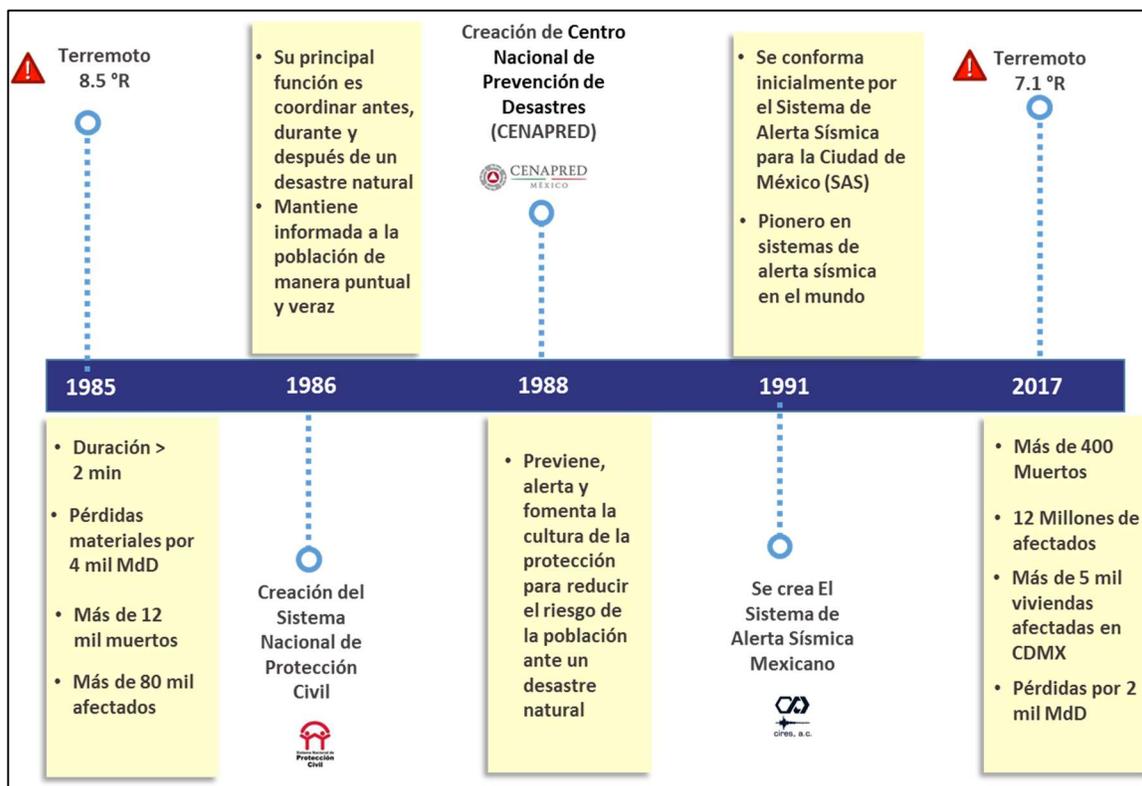


Figura 12. Línea del tiempo que muestra la ocurrencia de eventos e instancias a partir del sismo de 1985 en la CDMX.

Fuente: Elaboración propia, extraída del protocolo emitido por Protección Civil (2018).

1.6 La estrategia de investigación

Para llevar a cabo la revisión de la literatura acerca de las herramientas de optimización y simulación para la localización óptima de albergues y asignación de la población existente, se utilizará la metodología propuesta por Lawrence A. Machi y Brenda T. McEvoy en su texto titulado *The Literature Review*, 2009.

Para determinar la localización óptima de albergues y centros de acopio y asignar a la mayor cantidad de la población a dichos puntos, esto a través de un modelo multicriterio que tome diversos factores que afectan a la toma de decisiones de cuál es el lugar más conveniente en donde podemos localizar un albergue o centro de acopio. Algunos de los factores son las zonas y qué tan propensas al daño son (esto, por ejemplo, por el tipo de suelo en el que están asentadas las estructuras), el número de población que en ellas hay, entre otras.

Para diseñar e implementar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la localización óptima de albergues y centros de acopio en el caso de la CDMX, se utilizará el software MapInfo™.

Capítulo 2 **La revisión de la literatura y el marco teórico**

2.1 Marco teórico

2.1.1 Sismicidad

Actualmente existe vasta información relacionada con los sismos, acerca de qué los ocasiona, sobre los sitios geográficos en donde existe mayor sismicidad (fallas geológicas), acerca del cómo se debe actuar antes durante y posterior a un sismo, entre otras cosas. Sin embargo y como es bien sabido, los sismos no se pueden predecir; no sabemos en qué momento puede haber un choque entre las placas que están por debajo de la corteza terrestre y provoque un sismo.

Es por esto que la mejor manera de evitar que los daños sean de gran magnitud es la prevención, además de que la población esté enterada de cómo hay que actuar posterior a un sismo cuando, en la mayoría de los casos, se entra en pánico e impera la incertidumbre. Una de las medidas preventivas que se emplea y que ha resultado de gran utilidad es la instalación y puesta en marcha de los albergues o también conocidos como refugios temporales.

Hablando particularmente del Valle de México, las ondas sísmicas se amplifican de manera sustancial debido al tipo de terreno en el que está asentada la ciudad: un antiguo lago.

2.1.2 Sismo

De acuerdo con Arturo Iglesias Mendoza, investigador del Departamento de Sismología del Instituto de Geofísica de la UNAM, un sismo se emplea para describir el efecto de un movimiento súbito de la corteza terrestre que genera ondas elásticas, las cuales se propagan a grandes distancias. Su estudio tiene distintos motivos, el principal es su alto potencial de destrucción y afectación a la población.

Desde inicios del siglo XX, en 1910 para ser más precisos, el geofísico Harry Fielding Reid propuso la Teoría del Rebote Elástico, la cual explica cómo se genera una falla y en consecuencia un temblor. Gracias a tal teoría se consolidó la sismología como una ciencia.

2.1.3 Albergues

De acuerdo con el manual de refugios temporales del Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (CENAPRECED), el término de refugio temporal se refiere a la instalación física habilitada para brindar temporalmente protección y bienestar a las personas que no tienen posibilidades inmediatas de acceso a una habitación segura en caso de un riesgo inminente, una emergencia, siniestro o desastre.

2.1.3.1 Clasificación de albergues

Según su etapa de implementación (tiempo de atención)

- Albergues colectivos de emergencia

Tienen como objetivo brindar a las personas afectadas por el impacto o potencial impacto de un evento adverso, un lugar seguro, durante un período máximo de 72 horas, período en el cual se analiza la magnitud del evento antes de pasar a la etapa de cierre del albergue o albergue temporal. Pueden ser salones de usos múltiples, iglesias, instalaciones deportivas, escuelas, otros. En este tipo de albergue los servicios serán básicos acorde a los recursos con que cuentan localmente, hasta que pueda fluir la ayuda humanitaria de otros lugares.

- Albergues temporales

En México, el término de albergue temporal se refiere a la instalación física habilitada para brindar temporalmente protección y bienestar a las personas que no tienen posibilidades inmediatas de acceso a una habitación segura en caso de un riesgo inminente, una emergencia, siniestro o desastre. *(Definición extraída del Manual de atención a la salud ante desastres, emitida por la Secretaría de Prevención y Promoción de la Salud).*

Su propósito es brindar a las personas afectadas por el impacto de algún siniestro, condiciones seguras, durante un período mayor de 72 horas y menor a 30 días. Pueden ser los mismos edificios de un albergue colectivo de emergencia, pero con una mejor organización e implementación de los servicios básicos para que proporcione las condiciones adecuadas.

2.1.3.2 Criterios para la selección y clasificación de albergues

A continuación, se presenta una clasificación de albergues y una breve explicación de estos extraída de la CONRED (Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres) de Guatemala en su plan nacional CONRED de octubre 2009.

Albergues colectivos de emergencia y temporales

1. Disponibilidad de infraestructura. Contar con el espacio adecuado para el número de personas que requieran hacer uso del albergue y que garantice la seguridad y el resguardo para los mismos durante el tiempo que dure la contingencia (ver Figura 13).



Figura 13. Muestra de un albergue temporal establecido después del sismo ocurrido el 19 de septiembre del 2017 en la CDMX.

Fuente: Anónimo (2017).

2. La naturaleza del evento. De acuerdo con el tipo de siniestro suscitado es el tipo de albergue que se colocará y se adecuará para la atención de los damnificados (ver Figura 14). En el caso particular de esta investigación nos centraremos en aquellos desastres causados por sismos.



Figura 14. Muestra del derribo de un edificio como hechos ocurridos el 19 de septiembre del 2017 en la CDMX.

Fuente: Foto tomada por Pedro Pardo (2017).

3. Disponibilidad de alimentos. Contar con los alimentos necesarios y con los nutrientes que los afectados requieren durante la emergencia es fundamental en la planeación y a la hora de implementar un albergue temporal. Es importante mencionar que, la mayor parte de los alimentos y bebidas son donados, principalmente. Las donaciones corren por parte de la población y es importante comunicarles (a través de los medios masivos como lo son la televisión, el radio y redes sociales) lo que es requerido ante la contingencia (ver Figura 15).



Figura 15. Muestra de un centro de acopio en la CDMX.

Fuente: Foto Cuartooscuro (2017).

4. Disponibilidad de recursos económicos. Es una de los aspectos de mayor importancia y está en función de dos factores: El número de personas y la cantidad de días que estará habilitado el albergue. Cabe destacar que existen donaciones por parte de los civiles, sin embargo, el mayor presupuesto corre por parte del gobierno.

Albergue Temporal

1. Cuando las condiciones que genere el evento sigan vigentes después de las 72 horas.
2. Los lugares de habitación tengan daños permanentes o requieran un tiempo mayor para su rehabilitación.

Durante un sismo es muy común que las edificaciones sufran daños estructurales (ver Figura 16) y en cuyo caso las autoridades correspondientes tendrán que evaluarlo para que las personas no corran peligro alguno y sea seguro para ellos, en caso contrario, las mismas autoridades tendrán la facultad de decidir si un espacio no es habitable ya que se pone en riesgo la integridad física de las personas que vivan allí.



Figura 16. Muestra de un edificio dañado durante el sismo del 19 de septiembre del 2017 en la CDMX.

Fuente: Foto Jorge Carballo (2017).

Por lo general, los daños estructurales en las construcciones pueden llevar meses o incluso años antes de que puedan ser habilitadas de nueva cuenta para que las personas puedan hacer uso de ellas. En muchos de los casos lo más recomendable es tirar la construcción para que, en el mismo lugar, se pueda levantar otra estructura (ver Figura 17).



Figura 17. Edificio demolido debido a los daños estructurales después del sismo del 19 de septiembre del 2017 en la CDMX.

Fuente: Foto Cuartooscuro (2017).

Cuando las condiciones de riesgo permanezcan vigentes y pongan en peligro la vida de las personas. Si el lugar en que viven las personas no es apropiado para ser habitado porque se pondría en riesgo la integridad de las mismas (Ver Figura 18), se debe de canalizar a un albergue o reacomodarlos en una vivienda temporal.



Figura 18. Edificios inhabitables después del sismo ocurrido el 19 de septiembre del 2017.

Fuente: Foto: EL observador (2017).

2.1.4 Albergue de transición

El albergue es aquel que se utiliza únicamente si las personas albergadas deben permanecer allí más de dos meses.

Estos albergues pueden ser fácilmente desmontados y transportados a la ubicación donde la vivienda permanente será construida.

2.1.5 Albergues colectivos

Los Albergues Colectivos de Emergencia y Temporales pueden tener las diferentes variables:

1) Por tipo de edificio o instalación se dividen en:

- a) Autoalbergue.
- b) Edificios ya existentes (escuelas, iglesias, salones comunales, gimnasios, viviendas sustitutas.
- c) Construcciones específicas para albergues.

2) Por la privacidad que el albergue proporciona a la familia se dividen en:

- a) Colectivos.
- b) Multifamiliares.
- c) Unifamiliares.

2.2 Países con las mejores prácticas en materia de sismos

Japón, Chile y Estados Unidos y concretamente San Francisco, son de los países y ciudades que están a la vanguardia en materia de prevención de sismos y todo lo que a esto se refiere. Esto lo consiguen con edificaciones que mitigan las fuerzas del sismo y los hacen más resistentes a ellos. Carlos Valdés González, director general del Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), en 2017, declaró después de los sismos suscitados en la CDMX que países como Japón están a la vanguardia en materia de sismos tanto en organización como en la implementación de ciertas medidas preventivas que ayuden a atender mejor las crisis que ocurren después de ocurrido una catástrofe natural como lo es un sismo.

Por otra parte, Elías Miguel Moreno Brizuela quien fungiera como secretario de protección civil del entonces gobierno del distrito federal, así como José Luis Hernández Dehesa, un experto en protección civil y gestión integral del riesgo, señalaron que Japón tiene una de las mejores respuestas ante una situación de sismo. A continuación, se enlistan algunas de las prácticas de aquel país:

- Destina parte de su presupuesto para labores de prevención, mitigación y reconstrucción.
- Tienen una mentalidad la cual se basa en que sale mucho más económico invertir en prevención que en reconstrucción.
- Minuciosidad en la reconstrucción de inmuebles sismo-resistentes.

Este reportaje se publicó originalmente en la Edición Especial: Reconstrucción de Obras, correspondiente a diciembre de 2017

2.3 Sistemas y modelos para la implementación de logística humanitaria

2.3.1 Logística humanitaria

Se define a la logística humanitaria como el proceso de planificación, implementación y control efectivo y eficiente de los flujos de productos, materiales e información desde los donantes hasta las personas o sector afectados, con el fin de satisfacer las necesidades de supervivencia (ver Figura 19).



Figura 19. Pilares para la adecuada implementación de la logística humanitaria.

Fuente: Elaboración propia (2020).

La logística es el elemento más importante en cualquier esfuerzo de ayuda ante un desastre y el que hace la diferencia entre una operación exitosa o fallida. Además, es la parte más costosa de cualquier ayuda ante desastres, se estima alrededor del 80% del costo total de la ayuda (Van Wassenhove, 2006).

Dentro de la logística humanitaria encontramos la asignación de albergues en caso de así requerirlo y dependiendo del estado de emergencia que sea declarado.

La logística humanitaria, en cuanto a operación se refiere, es mucho más complicada que la logística que se emplea en el ámbito comercial, además de que el objetivo principal de esta última es el lucro para así seguir operando.

Otro aspecto por el cual la logística humanitaria es más compleja, además de que se requiere responder inmediatamente a situaciones no esperadas en el flujo de demanda, es porque no se cuenta con una certeza de cuánto, dónde y cómo se va a ofrecer la ayuda (ver Figura 20).

Es aquí donde la prevención toma vital importancia y mejor aun cuando se planean los puntos estratégicos y con el menor riesgo, además de contemplar diversos puntos alternos por si alguno llega a quedar descartado por los daños que pudo haber sufrido durante o después del sismo. Ese, entre otros, son los propósitos de esta tesis, proponer puntos específicos que puedan fungir como albergues y centros de acopios considerando varias alternativas, aunado a que sean con el menor costo posible al usar estructuras y edificaciones ya existentes y que no requieren de un tratamiento mayor que el de acondicionarlos para que puedan cumplir su objetivo el cual es salvaguardar la vida de las personas que se ven orilladas a dejar sus hogares por los daños que ocasiona un sismo en estos.

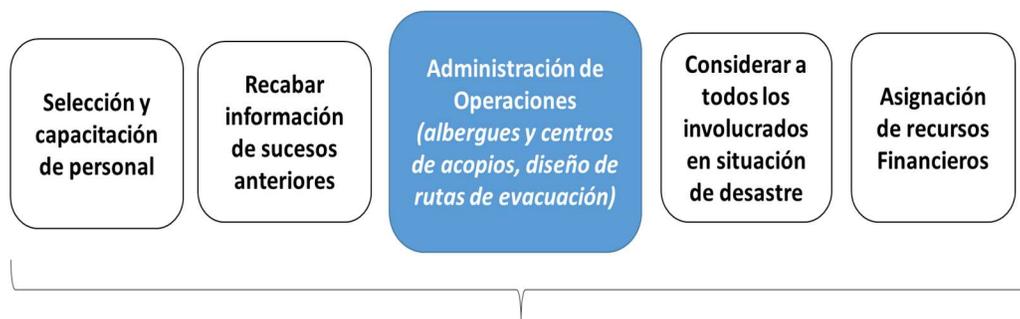


Figura 20. La logística: el elemento más costoso ante cualquier ayuda en caso de desastres.

Fuente: Elaboración propia (2020).

Adicional a los dos puntos anteriores, hay que agregar la complejidad de las donaciones, y con esto nos referimos a que hay que tener únicamente la reserva necesaria según la capacidad del albergue para no saturar ni las vías, ni la bodega que servirá como almacén.

Es muy importante destacar que la logística humanitaria incluye a la agilidad como parte constitutiva e interna y no sólo como una oportunidad para mejorar y responder mejor ante una emergencia.

Siempre se debe estar lo más preparado posible y anticiparnos a los escenarios a los que nos podríamos enfrentar. Según los autores R. Tomasini y L. Van Wassenhove (2009), la estrategia de preparación para una catástrofe incluye:

- Selección y capacitación de las personas que se harán cargo de planear, coordinar e intervenir en caso de desastre.
- Almacenar, codificar y utilizar la información sobre eventos anteriores para mejorar las estrategias de prevención y ayuda.
- Administración de operaciones (actividades de logística, centros de acopio, centros de atención sanitaria, albergues, diseño de las rutas de distribución de los recursos y de las vías de evacuación, etc.).
- Asignación de recursos financieros para las operaciones.
- Concertar alianzas con distintas entidades o stakeholders (gobierno, instituciones privadas, ONG, la propia comunidad, comunidades vecinas, etc.) para coordinarán ayuda en caso de siniestro.

Es en la fase de ayuda, posterior al desastre, donde la cadena de suministro enfrenta la demanda incierta, carencia en las fuentes de suministro y complejidad en la red de transporte.

Durante la ejecución, es decir, en la fase de ayuda luego de la ocurrencia del desastre, el *supply chain management* o gestión de la cadena de suministro enfrenta una demanda incierta, falta de fuentes de suministro y de dificultades en la red de transporte.

Este punto, referente al transporte de productos, que va hacia la zona afectada debe tener en consideración la rapidez de los flujos y garantizar la higiene, calidad y conformidad de los productos y materiales enviados.

Finalmente, cabe mencionar que la logística aplicada a desastres es un campo que implica altos desafíos, mucha experiencia, conocimientos y una dosis perfecta de improvisación planificada, con lo que esta combinación de palabras implica. *Desastres Naturales: Logística Humanitaria (Marcos Panaggio, Sep 2017)*

2.4 Modelación multicriterio en la ayuda humanitaria

En el artículo realizado por Walter J. Gutjahr, Pamela C. Nolz b en el año 2015, se hace una revisión a la literatura reciente sobre la aplicación de la optimización multicriterio para la gestión de desastres naturales, epidemias u otras formas de crisis humanitarias.

La comunidad científica, especialmente la comunidad de investigación de operaciones ha aceptado el desafío de apoyar estas actividades mediante el desarrollo de modelos, métodos y técnicas pertinentes, como lo demuestra el aumento del número de artículos de investigación sobre logística humanitaria en los últimos años. Huang, Smilowitz y Balcik (2012) afirman que la ayuda humanitaria se complica por la presencia de objetivos múltiples más allá de la minimización de costos, y Holguín-Veras, Pérez, Jaller, Van Wassenhove y Aros-Vera (2013) sugieren que, mientras que en el caso comercial (logístico), la minimización del costo logístico es la motivación principal, en el caso humanitario entran en juego otros factores, especialmente los impactos en el sufrimiento humano.

La ayuda humanitaria es asistencia material o logística proporcionada con fines humanitarios, generalmente en respuesta a crisis humanitarias, incluidos desastres naturales y desastres provocados por el hombre (Humanitaria Ayuda, 2015).

La optimización en la ayuda humanitaria y la gestión de operaciones de desastres ha sido abordada por varias encuestas, comenzando con la revisión clásica de Altay y Green (2006). Se han realizado encuestas relacionadas y más recientes en Caunhye, Nie y Pokharel (2012), Galindo y Batta (2013), Hoyos, Morales y Akhavan-Tabatabaei (2015), Kunz y Reiner (2012), Liberatore, Pizarro, de Blas, Ortuño y Vitoriano (2013), Ortuño *et al.* (2013), Özdamar y Ertem (2015) y Simpson y Hancock (2009).

Sin embargo, ninguna de estas encuestas se centra en modelos de optimización multicriterio, aunque algunos de ellos, como Caunhye *et al.* (2012), enfatizan la importancia de tales modelos. Ortuño y col. (2013) mencionan la toma de decisiones multicriterios en un párrafo especial y dan algunas referencias, pero no indagan en ellas.

La ayuda humanitaria implica la inversión de dinero, ya sea recibido de fondos públicos o de donantes privados, y cualquier inversión real conlleva costos de oportunidad con respecto a operaciones humanitarias alternativas que no pueden financiarse simultáneamente. Por lo tanto, el criterio de costo tampoco puede ser descuidado.

Tabla 2.

Resumen de artículos científicos revisados en la revisión de la literatura científica.

TEMA	AÑO	AUTOR	NOMBRE DEL ESCRITO	BASES
Multicriterio	2019	Ashish Trivedi, Amol Singh	Shelter planning for uncertain seismic hazards using multicriteria decision approach: A case of Nepal earthquake	Este documento explora el problema de ubicación y reubicación de los refugios temporales en situaciones de daños inciertos en contextos de ayuda humanitaria. El artículo propone un marco de apoyo a la decisión multicriterio basado en conjuntos difusos, analíticos, proceso de jerarquía, técnica para la preferencia de orden por similitud a la solución ideal, y programación de metas ponderadas para abordar el problema de la planificación de refugios temporales. El artículo formula un modelo de ubicación-reubicación multiobjetivo que considera múltiples objetivos de riesgo, número de emplazamientos, demanda insatisfecha, idoneidad cualitativa de las ubicaciones, demanda insatisfecha y naturaleza de la propiedad de la tierra. La robustez y el rendimiento del modelo propuesto se ilustra utilizando un estudio de caso real del terremoto de 2015 en Nepal. El marco puede beneficiar a gobiernos y agencias humanitarias en situaciones de alta sismicidad y áreas para la planificación adecuada de refugios bajo incertidumbres de daños.
Localización	2019	Eren Ozbaya, Özlem Çavus, Bahar Y. Kara	Shelter site location under multi-hazard scenarios	Este estudio localiza un refugio a la población afectada en casos de desastres secundarios después del terremoto principal, a través de un modelo de programación estocástico de tres etapas con números enteros mixtos.

TEMA	AÑO	AUTOR	NOMBRE DEL ESCRITO	BASES
				<p>En cada etapa, ante la incertidumbre de estas, que es el número de víctimas que buscan refugio, se establecen refugios y, una vez resuelta la incertidumbre, se asigna la población afectada al conjunto establecido de refugios. La suposición sobre la asignación de víctimas más cercana a los sitios de refugio implica que las decisiones de asignación se finalicen inmediatamente después de las decisiones de ubicación, por lo tanto, las decisiones de ubicación y asignación se pueden considerar simultáneamente y, cuando las víctimas son asignadas a los sitios de refugio establecidos más cercanos, la capacidad del sitio puede excederse.</p> <p>Para gestionar el riesgo heredado, la incertidumbre de la demanda y las capacidades, el valor en riesgo condicional se utiliza para modelar el riesgo involucrado en la asignación de víctimas a los refugios establecidos. Se presentan resultados computacionales en el conjunto de datos de Estambul para enfatizar la necesidad de considerar desastres secundarios, junto con una solución heurística metodología para mejorar las calidades y tiempos de la solución.</p>
Localización	2019	O.J. Ibarra-Rojas, L. Ozuna, D. Lopez-Piñon	The maximal covering location problem with accessibility indicators	<p>La cobertura máxima para los problemas de ubicación se basa comúnmente en la capacidad de los refugiados para llegar a las instalaciones o en la capacidad de las instalaciones para atender a los refugiados dentro de un área (o radio) razonable o en un tiempo de servicio limitado. En este estudio, asumimos que las instalaciones tienen un área de servicio limitada, mientras que las personas con centroides de demanda tienen un grado de movilidad que abarca una distancia de viaje para buscar su demanda. Basado en el último supuesto, definimos una ubicación de cobertura máxima, problema que optimiza una medida de accesibilidad. Esta es una suma ponderada de indicadores de accesibilidad basada en la cobertura de centroides de demanda, el número de centroides de demanda con acceso a oportunidades dentro de su radio de movilidad, número y ubicación de oportunidades, función de costo de viaje y desagregación espacial. Nosotros formulamos nuestro problema de optimización mediante un programa lineal de enteros mixtos; una etapa experimental en instancias generadas aleatoriamente muestra que un solucionador comercial es capaz de obtener soluciones casi óptimas en tiempos de cálculo razonables para instancias</p>

TEMA	AÑO	AUTOR	NOMBRE DEL ESCRITO	BASES
				grandes. Además, utilizamos datos de una población económicamente desfavorecida en una región de México para realizar un análisis de sensibilidad para diferentes radios de servicio y movilidad. Finalmente, implementamos el método lineal Best-Worst para obtener el valor de los parámetros de ponderaciones que representan las preferencias subjetivas para diferentes indicadores de accesibilidad.
Localización	2019	Jamil Hallak, Melik Koyuncu, Pinar Miç	Determining shelter locations in conflict areas by multiobjective modeling: A case study in northern Syria	La crisis en Siria estalló el 15 de marzo de 2011. Millones de personas abandonaron el país y muchas fueron desplazadas. En particular, los desplazados internos (PDI) enfrentan dificultades en términos de vivienda, salud, alimentación y otras necesidades. A la luz de esto, el presente estudio se centró en determinar la ubicación de los refugios en Idleb, Siria. Finalmente, utilizamos datos reales del área, que se obtuvieron de los beneficiarios directos, y desarrollamos un modelo de programación de metas ponderadas de entero mixto basado en el contexto humanitario. El modelo incluyó la maximización de las demandas cubiertas, dinero por trabajo, refugios escalables, agua portátil y saneamiento e instalaciones de higiene (WASH); cubriendo a personas que cumplen con criterios humanitarios vulnerables (personas con discapacidad, niños que asisten a la escuela, mujeres embarazadas / lactantes y personas con enfermedades crónicas); y minimizar los costos considerando las capacidades y limitaciones de los refugios ubicados. GIS (información geográfica sistemas) también se empleó en el análisis. El modelo desarrollado se resolvió mediante un paquete de optimización, y obtuvimos una solución global al problema. Además, se realizaron análisis de sensibilidad para profundizar la investigación. Los responsables de la toma de decisiones pueden utilizar los resultados del modelo y los análisis de sensibilidad para lograr soluciones de compromiso en desastres similares en otros contextos.
Localización	2019	Yijun Shi, Guofang Zhai, Lihua Xu, Quan Zhu and Jinyang Deng	Planning Emergency Shelters for Urban Disasters: A Multi-Level Location–Allocation Modeling Approach	En los últimos años, las ciudades se ven amenazadas por diversos peligros naturales. La planificación anticipada de refugios de emergencia es un enfoque eficaz para reducir los daños causados por desastres y garantizar la seguridad de los residentes. Por lo tanto, proporcionar el diseño óptimo de los refugios de emergencia urbanos es una importante etapa de gestión de desastres y un acto de logística humanitaria. Para estudiar el óptimo diseño de refugios de emergencia en

TEMA	AÑO	AUTOR	NOMBRE DEL ESCRITO	BASES
				<p>pequeñas ciudades montañosas, este documento construye ubicaciones de varios niveles y modelos para diferentes grados de refugios de emergencia para minimizar los costos de viaje y construcción</p> <p>y maximizar la tasa de cobertura. Específicamente, se determina el servicio real de refugios de emergencia utilizando el software del Sistema de Información Geográfica (GIS) y los modelos de Diagrama de Voronoi ponderado (WVD) bajo la limitación de la capacidad del sitio, y el diseño del espacio se ajusta mediante la combinación del terreno urbano con el puesto de construcción. En este documento, la sede del condado de Jianchuan, en la provincia de Yunnan, China, se consideró como un estudio de caso para ilustrar los modelos de refugios de emergencia en los que se verifica la viabilidad de los modelos presentados. Los métodos y modelos de investigación propuestos han proporcionado una base teórica y un punto de referencia para la disposición óptima de los refugios de emergencia en otras pequeñas ciudades de montaña.</p>
Multicriterio	2018	Jia Yua, Chuanrong Zhang, Jiahong Wena, Weidong Li, Rui Liud and Hui Xua	Integrating multi-agent evacuation simulation and multi-criteria evaluation for spatial allocation of urban emergency shelters	<p>La evacuación oportuna y segura de los residentes a zonas urbanas cercanas, así como los refugios de emergencia son de gran importancia durante eventos de desastre. Sin embargo, la evacuación y asignación de refugios rara vez se examinan en su conjunto, aunque por lo general son tareas estrechamente relacionadas en la gestión de desastres. Este estudio propone un nuevo método que integra técnicas de sistema multiagente y evaluación multicriterio para la asignación espacial de urbanismo para refugios de emergencia. Comparado con la emergencia tradicional y métodos de asignación de refugio, el método propuesto destaca la importancia de las simulaciones dinámicas de evacuación de emergencia para análisis de idoneidad de asignación espacial. Tres tipos de agentes que participan en los procedimientos de evacuación y refugio están diseñados: Agentes gubernamentales, agentes de refugios y agentes residentes.</p> <p>Las evacuaciones de emergencia se simulan en función de las interacciones de estos agentes para encontrar problemas potenciales, por ejemplo, procesos de evacuación que consumen mucho tiempo y congestión de carreteras. Un caso de estudio en el distrito de Jing'an, Shanghai, China se llevó</p>

TEMA	AÑO	AUTOR	NOMBRE DEL ESCRITO	BASES
				a cabo para demostrar la viabilidad del método propuesto. Después de las tres rondas de simulación y optimización, los nuevos refugios fueron espacialmente asignados y un plan detallado recomendado de refugios y se generaron instalaciones relacionadas. La asignación espacial optimizada de los refugios puede ayudar a los residentes locales a ser evacuados más rápidamente y de forma segura.
Localización	2018	Ömer Burak Kınaya, Bahar Yetis Kara, Francisco Saldanha-da-Gama, Isabel Correia	Modeling the shelter site location problem using chance constraints: A case study for Istanbul	En este trabajo, desarrollamos y probamos un nuevo marco de modelado para el problema de ubicación del sitio de refugio bajo demanda incertidumbre. En particular, proponemos un modelo de programación probabilística max-min que incluye dos tipos de restricciones probabilísticas: una relativa a la tasa de utilización de los refugios seleccionados y el otro sobre la capacidad de esos refugios. Al invocar el teorema del límite central podemos obtener un modelo de optimización con un solo conjunto de restricciones no lineales que, no obstante, se pueden aproximar usando una familia de funciones lineales por partes. Este último, a su vez, puede modelarse matemáticamente utilizando variables enteras. Finalmente, se obtiene un modelo aproximado, que es un modelo entero mixto de programación lineal que puede ser abordado por un solucionador estándar. Usando la reformulación propuesta, podemos resolver instancias del problema utilizando datos asociados con el distrito de Kartal en Estambul, Turquía. También consideramos una instancia a gran escala del problema haciendo uso de datos para el conjunto Lado de Anatolia de Estambul. Los resultados proveen evidencia clara de que capturar la incertidumbre en el problema de la ubicación del sitio del refugio por medio de restricciones probabilísticas puede conducir a soluciones que son muy diferentes de las obtenidas cuando uno determinista se considera en contraparte. Además, es posible observar que las probabilidades implícitas en las restricciones probabilísticas tienen una clara influencia en los resultados, lo que respalda la afirmación de que un marco de modelado de programación probabilística, si un tomador de decisiones lo ajusta adecuadamente, puede generar una diferencia cuando se trata de encontrar buenas soluciones al problema.

TEMA	AÑO	AUTOR	NOMBRE DEL ESCRITO	BASES
Localización	2018	Shan Bao-yan, Wang Kang-ping	Optimal Location of Urban Seismic Shelter for Evacuation Based on Network Analysis of GIS	Basado en la imagen de teledetección del área de la pieza en Jinan, para obtener los datos espaciales y los datos de atributos de la zona residencial, la zona de elusión y dispersión y la carretera redes del área de estudio, se adoptó la interpretación combinada con la encuesta real. Al utilizar ArcGIS10.3, en primer lugar, el análisis del búfer espacial se ha realizado en función de los puntos de riesgo, y luego se realizó el análisis de superposición hecho con el resultado del análisis de tampón y la elusión y dispersión por zona. Así podríamos obtener la elusión y dispersiones efectivas, eliminando el punto de peligro afectado. En segundo lugar, basado en la red de carreteras y zona efectiva de elusión y dispersión de entradas, se dividió el área de servicio de elusión y dispersión. Finalmente, las funciones de minimizar la impedancia y minimizar las instalaciones de análisis de red de ArcGIS, se aplicó para estudiar las relaciones entra las zonas de elusión y dispersión y áreas residenciales para que sepamos que todos los residentes del área podrían ir al refugio de emergencia más cercano.
Localización	2018	Wei Chen, Guofang Zhai , Chongqiang Ren, Yijun Shi and Jianxin Zhang	Urban Resources Selection and Allocation for Emergency Shelters: In a Multi-Hazard Environment	Este estudio explora cómo los refugios de emergencia pueden adaptarse a un entorno de peligros múltiples por el sistema de información geográfica (SIG) y toma Guangzhou como un caso de análisis. La idoneidad de los recursos urbanos generales se evaluó primero con el objetivo de seleccionar los recursos adecuados y lugares seguros para refugios de emergencia en el contexto de múltiples desastres. Luego, analizando la escala y distribución espacial de las áreas y poblaciones afectadas bajo diferentes tipos de desastres y escenarios, se predijo la demanda de diferentes tipos de refugios. Por último, teniendo en cuenta la cobertura de las personas afectadas, se asignaron albergues de acuerdo a diferentes condiciones en los distritos. Se espera que este trabajo sirva de referencia para la construcción de refugios de emergencia y ayudar a formar operaciones de emergencia para mitigar el impacto de los peligros. Los problemas identificados en el estudio necesita ser estudiados más a fondo en ciudades de mediana o pequeña escala.

TEMA	AÑO	AUTOR	NOMBRE DEL ESCRITO	BASES
Ayuda humanitaria	2018	Shaolong Hu, Zhijie Sasha Dong	Supplier selection and pre-positioning strategy in humanitarian relief	<p>Este documento propone la importancia de la selección de proveedores en la ayuda humanitaria y la integra en la estrategia de preposicionamiento. Estos proveedores tienen sus propios inventarios físicos para las actividades comerciales habituales, y se supone que las agencias de socorro pueden utilizar dichos inventarios para responder a desastres, proporcionando una compensación.</p> <p>Los criterios de selección de proveedores incluyen descuentos en los precios ofrecidos por los proveedores según la cantidad del pedido y tiempo de entrega requerido, así como inventario físico. Al considerar los riesgos de interrupción, este documento presenta un modelo de programación estocástica de dos etapas para producir planes que incluyen la ubicación e inventario de las instalaciones, la selección de proveedores y la distribución de suministros de auxilio.</p>
Localización	2018	A. Esposito Amideo, M. P. Scaparraa, K. Kotiadis	Optimising shelter location and evacuation routing operations: The critical issues	<p>La apertura de refugios y la evacuación de poblaciones vulnerables son operaciones cruciales para la respuesta a desastres y es una de las cuatro fases de la Gestión de Operaciones de Desastre (DOM).</p> <p>El objetivo de este documento es identificar los desafíos actuales en el diseño de modelos de optimización realistas y aplicables en el contexto de la ubicación del refugio y la ruta de evacuación, con el objetivo final de esbozar una hoja de ruta para futuras investigaciones en esta área de actualidad. Se proporciona un análisis crítico de los modelos combinados más recientes, incluidas las opiniones de los autores de los artículos existentes. El análisis destaca numerosas lagunas, las oportunidades de investigación, como la necesidad de futuros modelos de optimización para involucrar a las partes interesadas, incluyen evacuado, así como el comportamiento del sistema, estar orientado a la aplicación en lugar teórico o impulsado por modelos interdisciplinarios.</p>
Cadena de suministro en desastres	2016	Navid Sahebjamnia, S. Ali Torabi, S. Afshin Mansouri	A hybrid decision support system for managing humanitarian relief chains	Las decisiones con respecto a la ubicación, asignación y distribución de los artículos de socorro se encuentran entre las principales preocupaciones de los administradores de la cadena de socorro humanitario (HRC) en respuesta a

TEMA	AÑO	AUTOR	NOMBRE DEL ESCRITO	BASES
				<p>desastres a gran escala sin previo aviso, como los terremotos. En este papel, se desarrolla un sistema de soporte de decisiones híbrido (HDSS) que consta de un simulador, un motor de inferencia basado en reglas y un sistema basado en el conocimiento (KBS) para configurar un HRC de tres niveles. La cobertura, el costo total y el tiempo de respuesta constituyen un análisis de compensación explícito entre la rentabilidad y la capacidad de respuesta del HRC diseñado. En el primer paso, el simulador calcula las medidas de rendimiento de las diferentes configuraciones del HRC bajo una serie de escenarios de desastres generados. Luego, el motor de inferencia basado en reglas intenta construir la mejor configuración del HRC, incluidas las ubicaciones de las instalaciones, la asignación de artículos de socorro y el plan de distribución del escenario bajo investigación en función de las medidas de desempeño calculadas.</p> <p>Finalmente, la mejor configuración para cada escenario se almacena en la KBS como el conocimiento extraído del análisis anterior. De esta manera, los gerentes de HRC pueden recuperar la configuración de HRC más apropiada de acuerdo con el escenario pos-desastre realizado de manera eficaz y oportuna. Los resultados de un estudio de caso real en Teherán demuestran que el HDSS desarrollado es una herramienta eficaz para la configuración rápida de HRC utilizando datos estocásticos.</p>
Logística humanitaria	2016	Shiva Zokaeae, Ali Bozorgi-Amiri, Seyed Jafar Sadjadi	A robust optimization model for humanitarian relief chain design under uncertainty	<p>En este documento, se considera un modelo de cadena de socorro de tres niveles que consiste en proveedores, centros de distribución de socorro y áreas afectadas. Se aborda la incertidumbre asociada con la demanda, la oferta y todos los parámetros de costos, empleando una optimización robusta, donde los parámetros inciertos son independientes y variables aleatorias acotadas. Si bien el modelo propuesto intenta minimizar los costos totales de la cadena de ayuda, maximiza implícitamente el nivel de satisfacción de las personas en las áreas afectadas mediante la aplicación de una sanción a la escasez de productos de socorro. Además, un conjunto de datos derivado de un estudio de caso de desastre real en el área de Alborz, que es vulnerable a terremotos, se aplica para probar la eficiencia del modelo de cadena de alivio robusto propuesto en comparación con su forma determinista. El estudio analiza el grado en que cada parámetro incierto afecta la solución del modelo de la cadena</p>

TEMA	AÑO	AUTOR	NOMBRE DEL ESCRITO	BASES
				de alivio y, en consecuencia, ayuda al tomador de decisiones a ajustar los valores de los parámetros con mayor precisión.
Logística humanitaria	2016	Anna Nagurney, Emilio Alvarez Flores, Ceren Soyulu	A Generalized Nash Equilibrium network model for post-disaster humanitarian relief	Desarrollamos un modelo de red de equilibrio de Nash generalizado para asistencia humanitaria post-desastre. La ayuda de organizaciones no gubernamentales (ONG) obtienen utilidad de brindar ayuda y suministros a las víctimas de desastre en puntos de demanda en un contexto de cadena de suministro mientras compiten entre sí por los fondos financieros proporcionados por donaciones. Las limitaciones compartidas consisten en los límites inferior y superior para la demanda de artículos de socorro en los puntos de demanda para reducir la convergencia o la congestión del material. Este problema de teoría de juegos se reformula como un problema de optimización y ejemplos numéricos y un estudio de caso teórico sobre Huracán Katrina dado.
Localización	2016	Rajali Maharjana, Shinya Hanaoka	Warehouse location determination for humanitarian relief distribution in Nepal	Se ha demostrado que el uso del almacén para almacenar artículos de socorro de emergencia mejora la capacidad de respuesta, la eficiencia y eficacia de la cadena de suministro humanitario al tiempo que se reducen los costos incurridos en el proceso. Impulsado por los mismos objetivos, este estudio determina el número óptimo y la ubicación de los almacenes que se colocarán en diferentes partes de Nepal para un socorro humanitario. El estudio utiliza una versión modificada del problema de ubicación de cobertura máxima que introduce limitaciones adicionales que reflejan el escenario real de Nepal. El problema se resuelve usando un algoritmo simplex con rama y límite aplicados al entero relajado. La novedad de este estudio radica en la introducción de índices de desarrollo, restricciones de accesibilidad al transporte y seguridad ante desastres para reflejar las características socioeconómicas, geo-climáticas y topográficas de Nepal respectivamente. Se eligen tres escenarios en función de la distancia de cobertura. Los resultados muestran el número y las ubicaciones espaciales de almacenes para cada escenario, así como sus coberturas máximas y mínimas
Multicriterio	2015	Walter J. Gutjahr, Pamela C. Nolz	Multicriteria optimization in humanitarian aid	La comunidad de OR / MS ha reaccionado desarrollando métodos cuantitativos para apoyar la ayuda humanitaria, que se han consolidado en las áreas de gestión de operaciones de desastre y

TEMA	AÑO	AUTOR	NOMBRE DEL ESCRITO	BASES
				logística humanitaria. Una rama de la literatura de crecimiento especialmente rápido en estas áreas utiliza métodos de optimización multicriterio, lo cual es natural en vista de la ubicuidad de múltiples objetivos en desastres. El artículo revisa la literatura reciente sobre la aplicación de la optimización multicriterio a la gestión de desastres naturales, epidemias u otras formas de crisis humanitarias. Se discuten y examinan criterios y enfoques de toma de decisiones multicriterio aplicados en este campo.
Localización de albergues	2014	Firat Kılıç, Bahar Yeti, Karaa, Burçin Bozkaya	Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey	En este estudio, proponemos una metodología basada en programación lineal de enteros mixtos para seleccionar la ubicación de sitios de refugio temporal. El modelo matemático maximiza el peso mínimo de las áreas de refugio abiertas. Al decidir la ubicación de las áreas de refugio, la población asignada apunta a cada área de refugio abierta y controla la utilización de áreas de refugio abiertas. Validamos el modelo matemático generando un caso, utilizando datos reales para Kartal, Estambul, Turquía. Además, realizamos un análisis de sensibilidad sobre los parámetros del modelo matemático mencionado y discutir nuestros hallazgos.
Localización	2013	Chung-Cheng Lu, Jih-Biing Sheu	Robust vertex p-center model for locating urgent relief distribution centers	Este trabajo ubica los centros de distribución de ayuda urgente (URDC) en un conjunto dado de sitios candidatos utilizando un modelo robusto de vértice p-center (RVPC). Este modelo aborda tiempos de viaje inciertos, representados mediante intervalos o rangos fijos en lugar de distribuciones de probabilidad, entre URDC y áreas afectadas. El objetivo de localizar un número predeterminado (p) de URDC es minimizar la desviación del peor caso en tiempo máximo de viaje desde la solución óptima. Para reducir la complejidad de resolver el problema RVPC, este trabajo propone una propiedad que facilita la identificación del peor escenario para un determinado conjunto de ubicaciones URDC. Dado que el problema es NP-hard, se desarrolla un marco heurístico para obtener de forma eficiente soluciones robustas. Los resultados experimentales muestran que la heurística propuesta es eficaz y eficiente en la obtención de soluciones robustas de interés. Este trabajo examina el impacto del grado de incertidumbre de los datos sobre las medidas de desempeño seleccionadas y el equilibrio entre la calidad y la solidez de la solución.

TEMA	AÑO	AUTOR	NOMBRE DEL ESCRITO	BASES
				Además, este trabajo demuestra la aplicabilidad del modelo propuesto a desastres naturales basado en una instancia del mundo real. El resultado es comparado con el obtenido por un modelo estocástico de dos etapas basado en escenarios. Este trabajo contribuye significativamente para el creciente cuerpo de literatura que aplica enfoques de optimización robustos para emergencia logística.
Modelo de mapeo	2013	Andrew T. Crooks, Sarah Wise	GIS and agent-based models for humanitarian assistance	Los desastres naturales como terremotos y tsunamis ocurren en todo el mundo, alterando el paisaje físico y, a menudo, perturbando gravemente la vida cotidiana de las personas. Recientemente, la atención de los investigadores se ha centrado en utilizar multitudes de voluntarios para ayudar a mapear la infraestructura dañada y la devastación causada por desastres, como los de Haití y Pakistán. Estos datos son de gran utilidad, ya que nos permiten evaluar daños y por lo tanto ayudar a la distribución de socorro, pero nos dice poco acerca de cómo la gente en esas áreas reacciona ante la devastación. Este documento demuestra un prototipo de modelo basado en agentes espacialmente explícito, creado utilizando información geográfica de fuentes colaborativas y otras fuentes de datos disponibles públicamente, que pueden utilizarse para estudiar las secuelas de un evento catastrófico. El caso específico modelado aquí es el terremoto de Haití en enero de 2010. Los datos de fuentes colaborativas se utilizan para construir las poblaciones iniciales de personas afectadas por el evento, para construir su entorno y para establecer sus necesidades en función de los daños a los edificios. Nosotros exploramos cómo reacciona la gente a la distribución de ayuda, así como a los rumores relacionados con la disponibilidad de ayuda y su propagación a través de la población.
Localización	2012	João Coutinho-Rodrigues, Lino Tralhão, Luís Alçada-Almeida	Solving a location-routing problem with a multiobjective approach: the design of urban evacuation plans	Incendios, terremotos, inundaciones, actos de terrorismo, accidentes nucleares y otras catástrofes que puedan ocurrir en (o afectan) áreas urbanas, constituyen una preocupación importante para los servicios de emergencia y rescate, así como los departamentos de asistencia médica. Este documento presenta un enfoque multiobjetivo para identificar las rutas de evacuación y la ubicación de los refugios para la planificación de la evacuación urbana. Seis objetivos, incluidos los riesgos asociados a los caminos y la ubicación

TEMA	AÑO	AUTOR	NOMBRE DEL ESCRITO	BASES
				de los refugios, la longitud de los caminos de evacuación y el tiempo de evacuación final de los refugios. Por ejemplo, hospitales, se consideraron en un modelo de programación lineal de enteros mixtos. El enfoque se probó para una situación de incendio simulada en el centro histórico urbano de una antigua Ciudad europea (Coimbra, Portugal). El enfoque de modelado también puede apoyar otras situaciones de emergencia para lo cual los planes de evacuación son pertinentes. Las soluciones generadas se comparan en el espacio objetivo mediante diversas técnicas gráficas y representadas mediante gráficos codificados por colores en un Sistema de Información Geográfica (GIS) donde se muestran las rutas de evacuación, las instalaciones de rescate y las respectivas asignaciones de edificios.
Asistencia Humanitaria	2011	JENNIFER ALIX-GARCIA, ANNE BARTLETT, DAVID SAAH	Displaced Populations, Humanitarian Assistance and Hosts: A Framework for Analyzing Impacts on Semi-urban Households	Este documento presenta un marco para comprender los impactos de la guerra civil, las poblaciones desplazadas y asistencia a las poblaciones en zonas semiurbanas. Nuestro modelo muestra que en condiciones de conflicto donde las poblaciones fluyen de las zonas rurales a las urbanas y la ayuda alimentaria sigue, los cambios en los mercados de alimentos, vivienda y trabajo dan lugar a cambios en los precios locales que potencialmente empobrecerán a los consumidores pero brindarán oportunidades de ingresos para los propietarios y proveedores de bienes no comerciables, y que es probable que la dinámica de los precios induzca un cambio significativo en el uso de la tierra. Combinamos datos de satélite, precios, entrega de ayuda y afluencia de población con entrevistas cualitativas de Nyala, Darfur. Los datos confirman las hipótesis y el documento analiza posibles respuestas de política.
Logística humanitaria	2010	Aharon Ben-Tal, Byung Do Chung, Supreet Reddy Mandala, Tao Yao	Robust optimization for emergency logistics planning: Risk mitigation in humanitarian relief supply chains	Este trabajo propone una metodología para generar un plan logístico robusto que pueda mitigar demanda e incertidumbre en las cadenas de suministro de ayuda humanitaria. Más específicamente, aplicamos optimización robusta (RO) para asignar dinámicamente respuesta de emergencia y evacuación. Problemas de flujo de tráfico con incertidumbre de la demanda dependiente del tiempo. Este artículo estudia una célula Modelo de transmisión (CTM) basado en el modelo de asignación de tráfico dinámico óptimo del sistema. Adoptamos un criterio mínimo-máximo y aplicamos una extensión del método RO ajustado a problemas de optimización dinámica, una contraparte robusta y ajustable con precisión (AARC). Los

TEMA	AÑO	AUTOR	NOMBRE DEL ESCRITO	BASES
				experimentos de simulación muestran que la solución AARC proporciona excelentes resultados en comparación con la solución determinista y la programación estocástica basada en muestreo solución. Conocimientos generales de RO y transporte que pueden tener una aplicabilidad más amplia en cadenas de suministro de ayuda humanitaria.
Localización	2001	Tung X. Bui, Siva R. Sankaran	Design considerations for a virtual information center for humanitarian assistancerdisaster relief using workflow modeling	Existen innumerables circunstancias humanas y organizativas en las que la información que fluye libremente es esencial para la toma de decisiones. En un sistema cerrado con escaneo de límites limitado, el manejo de la información es una tarea bastante manejable. Sin embargo, donde las fuentes de datos son de gran volumen abarcan una gran área geográfica y abarcan una gama de entidades organizativas, la recopilación y fusión de información puede ser abrumadora. Este documento analiza el flujo de trabajo típico en un escenario de desastre y discute el diseño para un centro de información virtual (VIC) que pueda coordinar y procesar de manera eficiente y efectiva un gran número de solicitudes de información para los equipos de recuperación, gestión y preparación para desastres. El diseño propuesto es de dominio independiente, utiliza un enfoque centrado en la red y se puede exportar fácilmente a muchos otros gobiernos y organizaciones. La versión prototipo del sistema utiliza el modelo orientado a objetos para conectarse a múltiples bases de datos en Internet y tiene todas las características esenciales que se pueden clonar fácilmente para ampliar el alcance del sistema.

Fuente: Elaboración propia (2020).

2.5 La logística humanitaria en el ámbito de la investigación

En los últimos años la investigación en el ámbito de la logística y la cadena de suministro ha crecido exponencialmente en el rubro empresarial, sin embargo, también lo ha hecho la logística humanitaria, aunque esta última a una menor escala.

En la investigación científica, tanto de la logística humanitaria como de otras áreas, es importante, que el tema en el que se está investigando tenga relevancia y esté vigente en el mundo de la investigación.

Para todo lo anterior, se han desarrollado diversas herramientas como apoyo a los investigadores que indican de una manera muy visual distintas estadísticas del tema a investigar para hacerlo más sencillo y práctico para los investigadores.

Una de estas herramientas y la cual se usará en esta tesis para darnos un panorama del estado actual de la investigación en temas como la logística humanitaria, optimización y multicriterio es la base de datos Scopus.

Scopus se lanzó en el año 2004 y es una base de datos de cita y escritos científicos redactada por expertos en muy diversas áreas de la investigación. Esta herramienta cuenta con más 25 mil títulos, con más de 5 mil editores internacionales. El objetivo principal de Scopus es proporcionar una descripción general más completa de la investigación mundial en temas tales como: tecnología, medicina, ciencias sociales, artes y humanidades.

De la búsqueda en Scopus utilizando la palabra clave *Humanitarian logistics* arrojó como resultado 847 documentos.

A continuación, la Figura 21 muestra la distribución de los resultados de la búsqueda que se tiene en las distintas áreas de investigación.

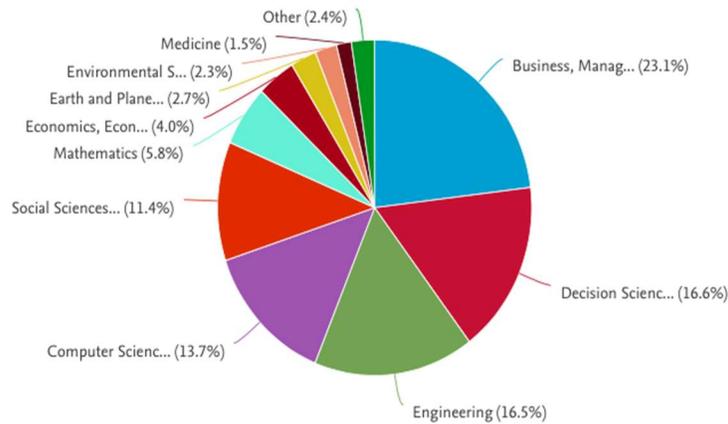


Figura 21. Documentos por área de investigación como resultado de la búsqueda en la base de datos *Scopus* utilizando la palabra clave *humanitarian logistics*.

Fuente: Información obtenida de la base de datos *Scopus* (2020).

De acuerdo con la Figura 21, el área de ingeniería es la tercera área de aplicación de la logística humanitaria.

En relación con el tipo de documento (ver Figura 22), predomina la publicación de artículos científicos en esta área.

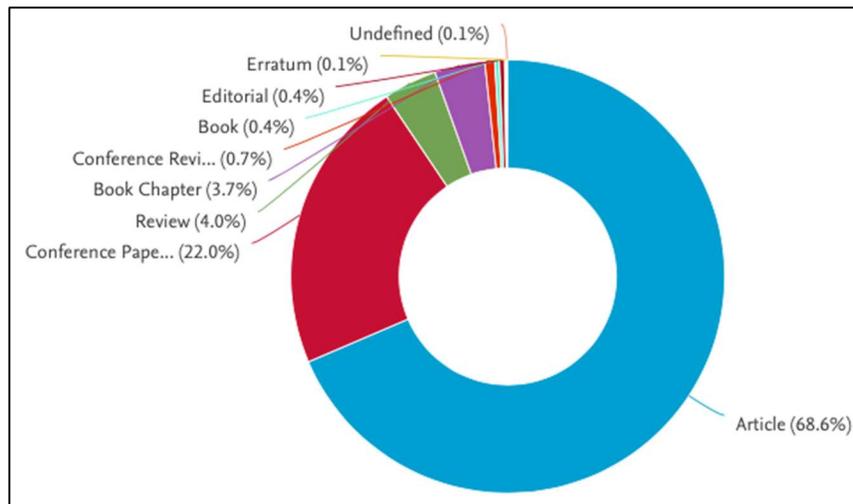


Figura 22. Documentos por tipo como resultado de la búsqueda en la base de datos *Scopus* utilizando la palabra clave *humanitarian logistics*.

Fuente: Información obtenida de la base de datos *Scopus* (2020).

Otro corte de información que nos presenta la base de datos *Scopus* es por país de origen de los autores, en donde Estados Unidos es el preponderante (ver Figura 23).

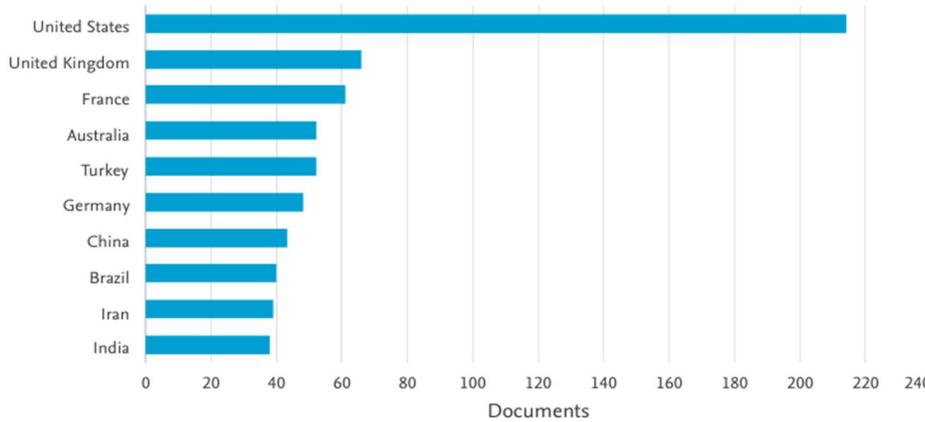


Figura 23. Documentos por ciudad o territorio como resultado de la búsqueda en la base de datos *Scopus* utilizando la palabra clave *humanitarian logistics*.

Fuente: Información obtenida de la base de datos Scopus (2020).

Un análisis interesante es acerca de la fuente de publicación, en donde se puede observar cómo el mayor número de documentos encontrados en la búsqueda son de revistas de logística humanitaria y gestión de la cadena de suministro (ver Figura 24).

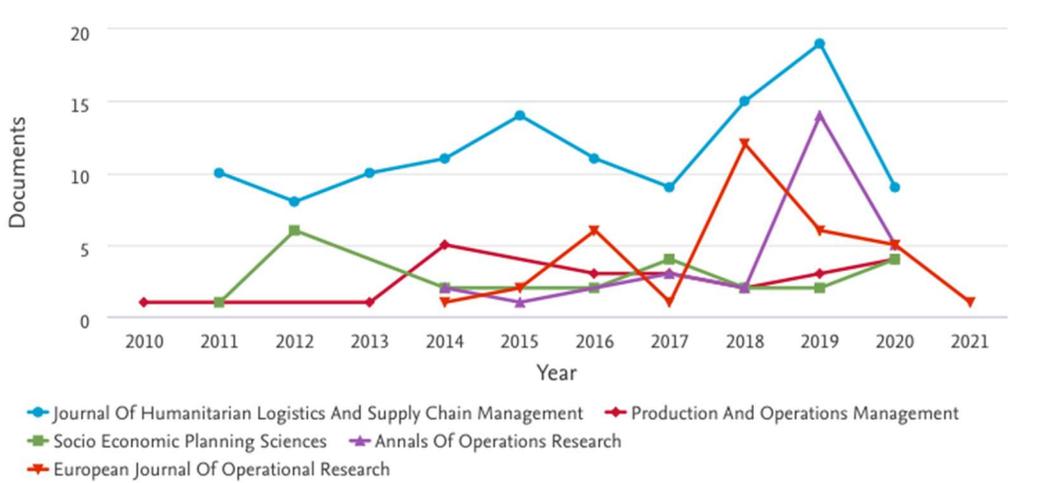


Figura 24. Documentos por nombre de revista como resultado de la búsqueda en la base de datos *Scopus* utilizando la palabra clave *humanitarian logistics*.

Fuente: Información obtenida de la base de datos Scopus (2020).

Adicionalmente, se llevó a cabo el análisis de la información obtenida de la base de datos Scopus con el software VOSviewer™ (Van Eck and Waltman, 2009). Es importante señalar que, la herramienta VOSviewer™ fue desarrollada en la *Center for Science and Technology Studies* perteneciente a la Universidad de Leiden en los Países Bajos.

Desde el punto de vista técnico, la herramienta VOSviewer™ está desarrollada en lenguaje Java y es utilizada para el análisis de redes de coautoría, redes de citas, redes de co-ocurrencia de palabras clave y redes de co-citas de autores, revistas y documentos. Como lo sugiere Jin & Ji (2018), la herramienta VOSviewer™ facilita el análisis de la información de publicaciones científicas y permite identificar de forma rápida áreas de oportunidad, así como tendencias. Los resultados obtenidos de la búsqueda en la base de datos Scopus y analizados con la herramienta VOSviewer™ se presentan enseguida (ver Figura 25- Figura 33).

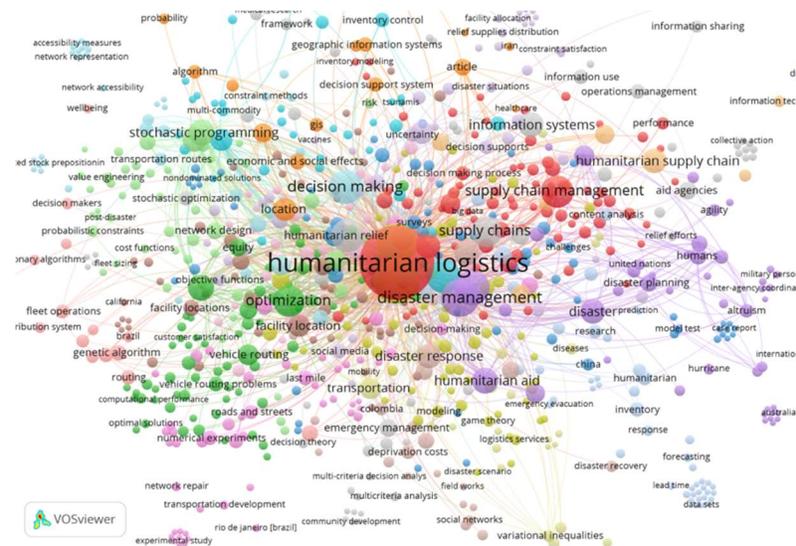


Figura 25. Red de interacciones entre palabras clave utilizando el software VOSviewer™, búsqueda en la base de datos Scopus utilizando la palabra clave *humanitarian logistics*.

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de la base de datos Scopus (2020).

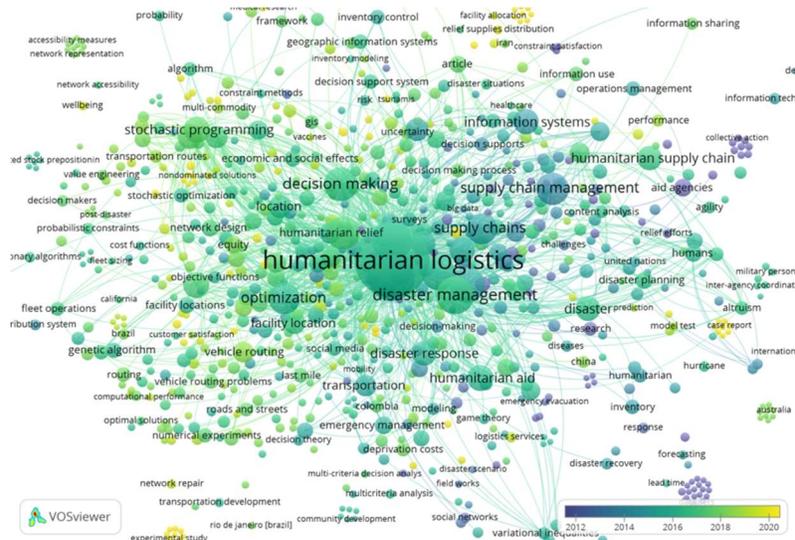


Figura 26. Red de interacciones entre palabras clave utilizando el software VOSviewer™, línea del tiempo de la búsqueda en la base de datos Scopus utilizando la palabra clave *humanitarian logistics*.

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de la base de datos Scopus (2020).

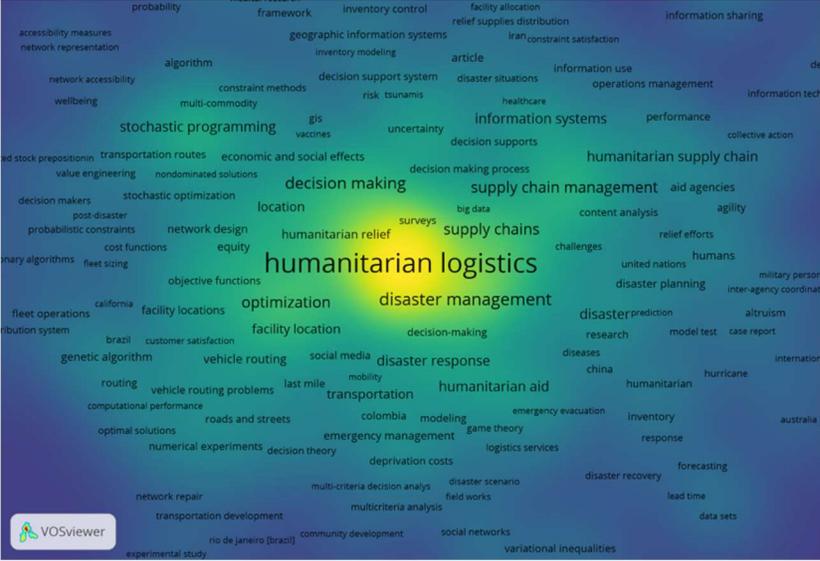


Figura 27. Red de interacciones entre palabras clave utilizando el software VOSviewer™, mapa de calor de la búsqueda en la base de datos Scopus utilizando la palabra clave *humanitarian logistics*.

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de la base de datos Scopus (2020).

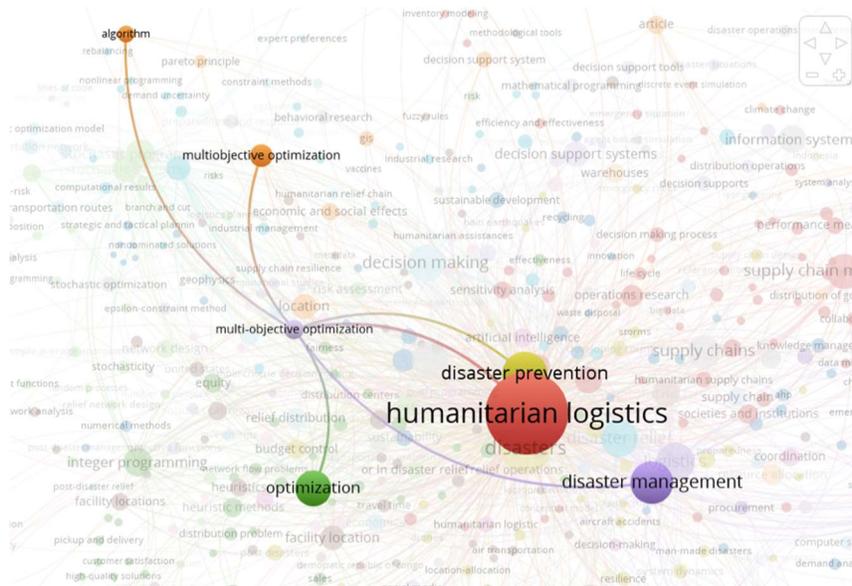


Figura 28. Red de interacciones entre logística humanitaria y optimización utilizando el software VOSviewer™, búsqueda en la base de datos *Scopus* utilizando la palabra clave *humanitarian logistics*.

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de la base de datos Scopus (2020).

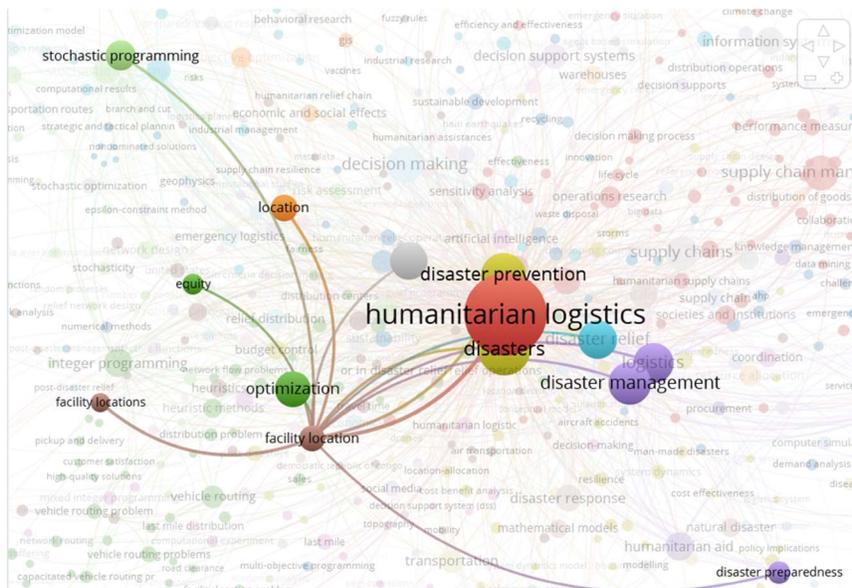


Figura 29. Red de interacciones entre logística humanitaria e instalaciones utilizando el software VOSviewer™, búsqueda en la base de datos *Scopus* utilizando la palabra clave *humanitarian logistics*.

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de la base de datos Scopus (2020).

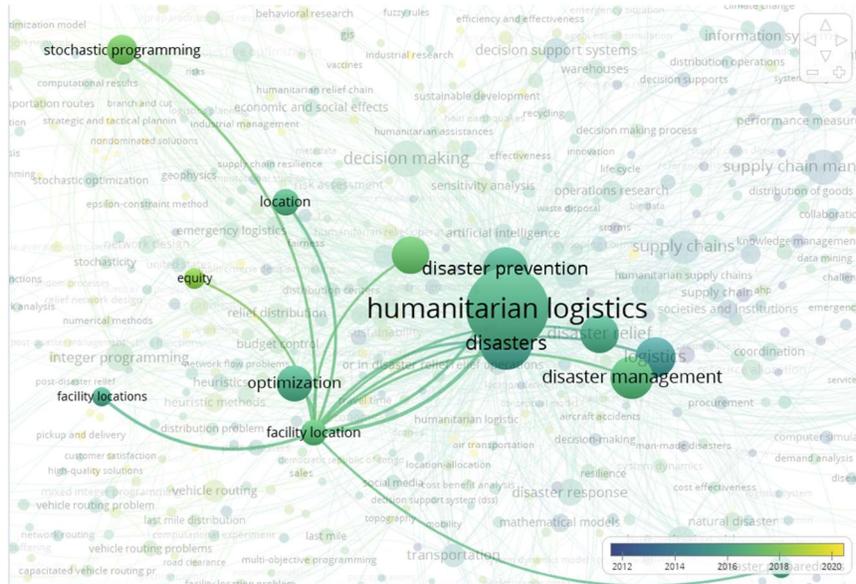


Figura 30. Red de interacciones entre logística humanitaria e instalaciones utilizando el software VOSviewer™, línea del tiempo de la búsqueda en la base de datos *Scopus* utilizando la palabra clave *humanitarian logistics*.

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de la base de datos Scopus (2020).

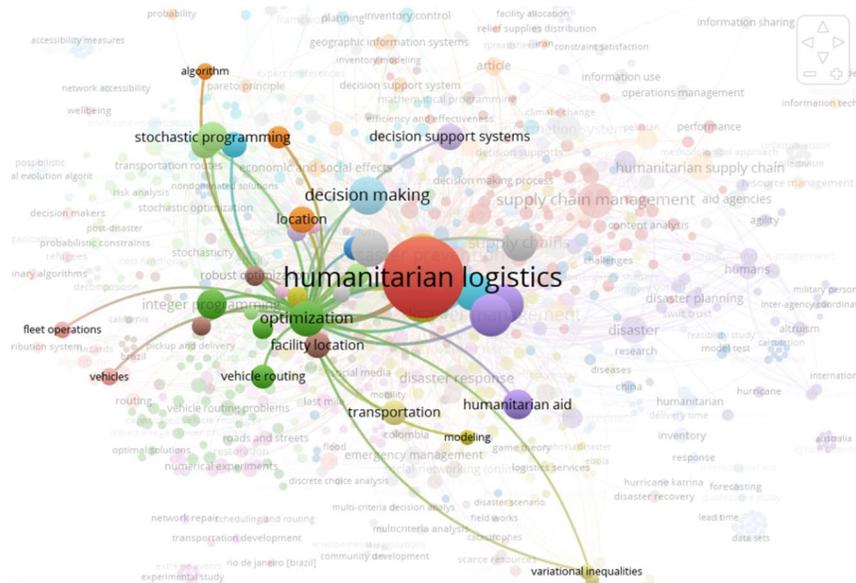


Figura 31. Red de interacciones entre logística humanitaria y optimización utilizando el software VOSviewer™, búsqueda en la base de datos *Scopus* utilizando la palabra clave *humanitarian logistics*.

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de la base de datos Scopus (2020).

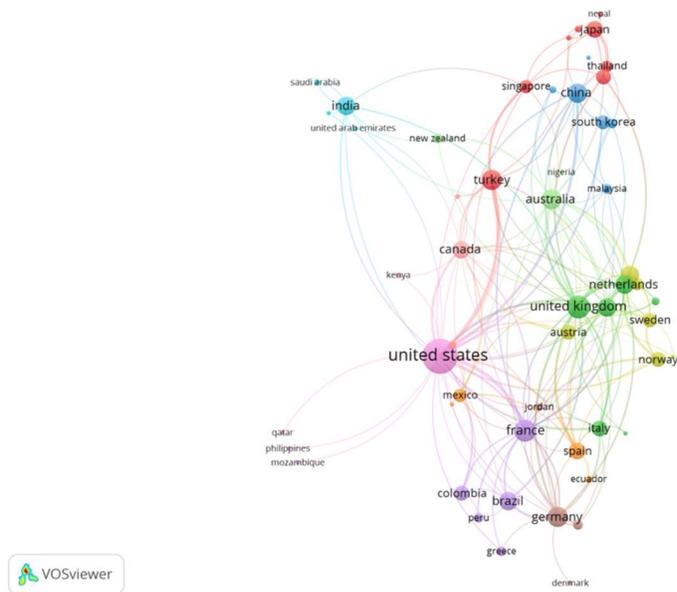


Figura 32. Red de interacciones entre países utilizando el software VOSviewer™, búsqueda en la base de datos *Scopus* utilizando la palabra clave *humanitarian logistics*.

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de la base de datos Scopus (2020).

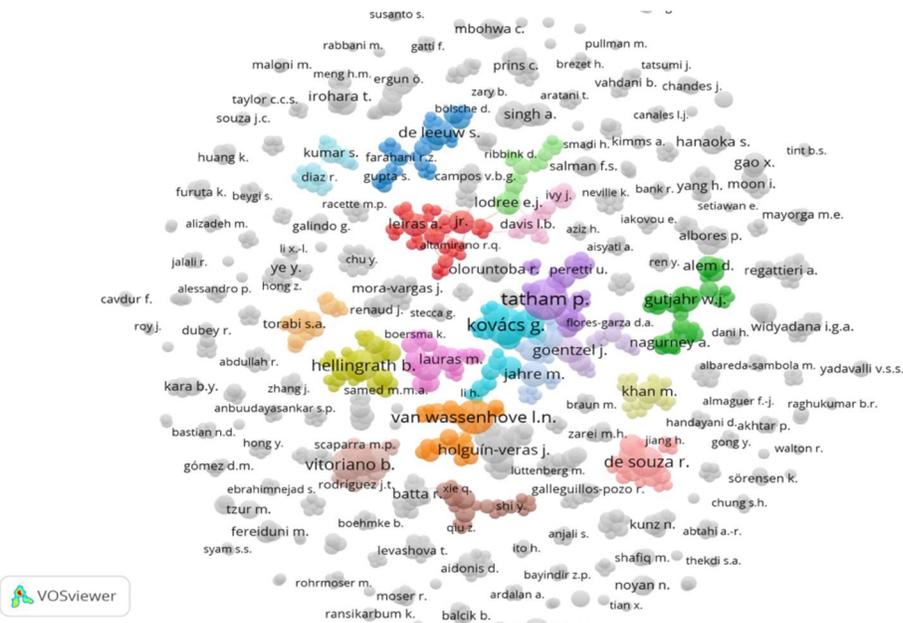


Figura 33. Red de interacciones entre autores utilizando el software VOSviewer™, búsqueda en la base de datos *Scopus* utilizando la palabra clave *humanitarian logistics*.

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de la base de datos Scopus (2020).

Capítulo 3 Una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la localización óptima de albergues y centros de acopio en el caso de la CDMX.

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para el desarrollo de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la localización óptima de albergues y centros de acopio que permitirá obtener los puntos sugeridos para establecer un albergue en caso de sismo en la CDMX.

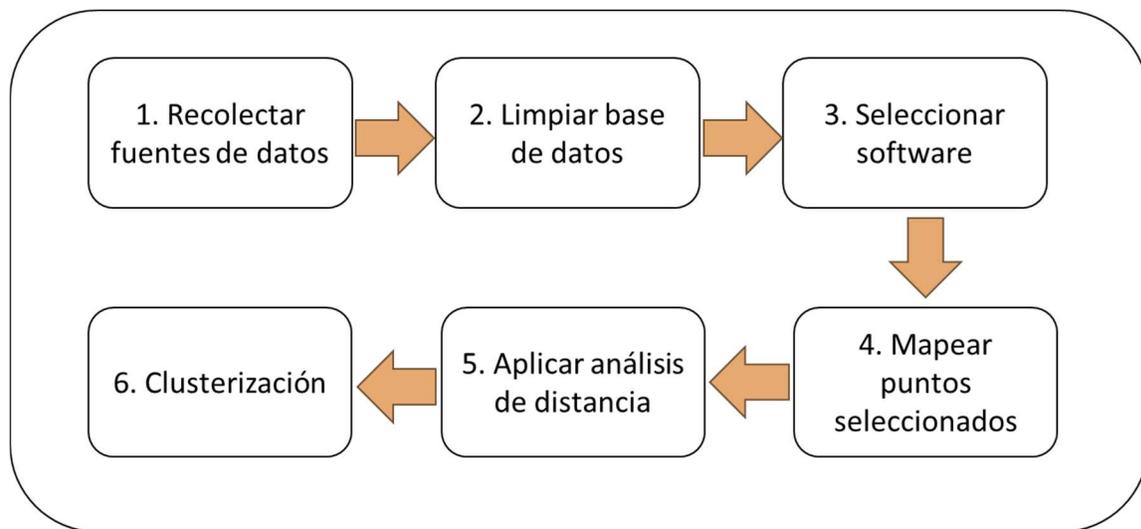


Figura 34. Diagrama general de los procesos de la metodología propuesta para el desarrollo de la herramienta LOCAYAL.

Fuente: Elaboración propia (2020).

En primer lugar, se definen las fuentes de datos que se ocuparon, y se procede con la limpieza de los datos y la depuración que permitirá hacer más manejable la base de datos. Se describe el software de procesamiento de datos georeferenciados empleado para mapear los puntos con coordenadas y con el cual se hace posteriormente el análisis de distancia y el análisis de los criterios empleados para obtener los puntos óptimos a través de una clusterización. También, se hace mención de las herramientas tecnológicas (de georeferencia y de Internet) utilizadas para diseñar la herramienta tecnológica de apoyo a la toma de decisiones que consiste en una

URL, la cual, a través de una conexión a Internet, los usuarios podrán hacer uso en situaciones de sismo (ver Figura 34).

3.1 Fuentes de datos.

La selección de los datos se tomó a partir de la información contenida en el censo del INEGI 2010 y el *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas* (DENUE) , tomando en cuenta las mismas proyecciones que la entidad sugiere para cada año y hasta un nuevo censo. El DENUE ofrece los datos de identificación, ubicación, actividad económica y tamaño de más de 5 millones de unidades económicas activas en el territorio nacional, actualizados fundamentalmente en el segmento de los establecimientos grandes, cuyas características se describen en un documento metodológico. Para fines de esta investigación se consideraron las siguientes proyecciones, al ser amplias y poder albergar un número considerable de personas y/o víveres y que ya se han ocupado en otros siniestros. Las unidades económicas empleadas fueron:

- Salud.
- Educación.
- Entretenimiento (principalmente estadios).

Se extrajo del censo de INEGI 2010 la población de la CDMX a nivel manzana con características tales como población total y número de viviendas y se colocó en un mapa de la CDMX.

3.2 Limpieza de las bases de datos

Se les colocó una etiqueta a las unidades económicas seleccionadas, quedando de la siguiente manera:

- Salud (Hospitales) y Entretenimiento (Estadios) como **Centros de Acopio (en adelante CA)**.
- Educación (Escuelas de nivel básico y medio superior) como **albergues**.

El uso de estas unidades como punto de partida para esta investigación tiene, entre otros beneficios, la disposición de la infraestructura principal y hacer una inversión monetaria menor al únicamente ocupar infraestructura como camas, baños y otros aditamentos primordiales para el buen funcionamiento ya sea de un albergue y/o CA cuya lista se ha descrito en capítulos anteriores de la presente investigación.

3.3 Software

3.3.1 Mapinfo Pro™

MapInfo Pro™ es un software especializado en inteligencia geográfica que proporciona potentes capacidades de mapeo y análisis, a través del uso de mapas digitales. MapInfo Pro™ ayuda a los analistas de negocios y profesionales de Sistema de información geográfica (GIS por sus siglas en inglés) a obtener nuevas perspectivas de sus mercados al compartir mapas y gráficas que apoyan en la toma de decisiones estratégicas. MapInfo Pro™ permite visualizar, crear, analizar, explorar, e interpretar información en un espacio geográfico por medio de la representación de mapas temáticos para lograr un mayor entendimiento y aprovechamiento de tu negocio desde una perspectiva basada en ubicación. Finalmente, por medio de MapInfo Pro™, es posible conocer el entorno y situación actual y futura del negocio por medio de la ubicación de clientes actuales, prospectos, tiendas, próximas aperturas, competencia, entre otros, para así tomar mejores decisiones y planear estrategias operativas, mercadológicas, logísticas, y comerciales con base en análisis generados utilizando inteligencia geográfica (ver Figura 35).

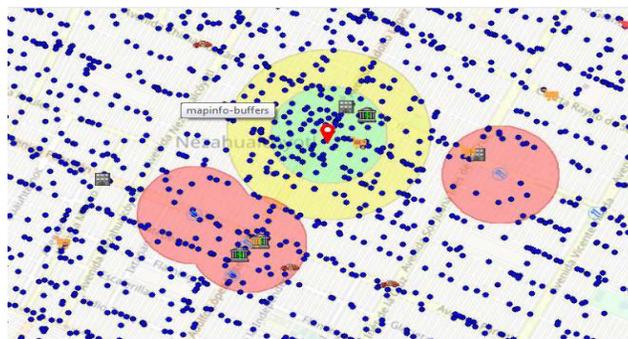


Figura 35. Localización geográfica de los puntos con la herramienta MapInfo Pro™.

Fuente: North Alpha <https://www.northalpha.com/productos/software/mapinfo-pro/> (2020).

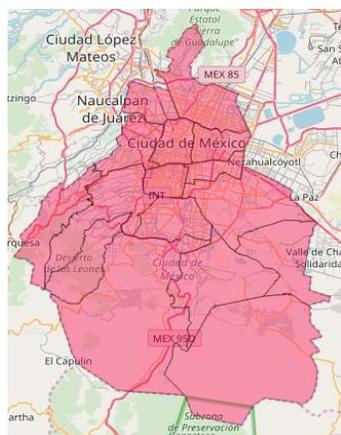


Figura 36. Mapeo de las 16 alcaldías en la CDMX evaluadas para poner centros de acopio/albergues.

Fuente: Elaboración propia (2018).

De los centros de salud, entretenimiento y educación se seleccionaron únicamente aquellos que tuvieran como personal ocupado a más de 50 empleados (esto como mínimo para garantizar un espacio adecuado ya sea para funcionar como albergue o como centro de acopio) (ver Figura 36).

3.4 Mapeo

Con la ayuda de MapInfo Pro™ se mapearon (proyectaron en coordenadas geográficas) todos los establecimientos resultantes de los filtros aplicados de los puntos anteriores (ver Figura 37).

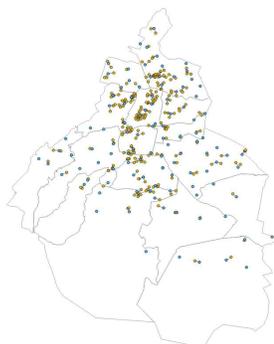


Figura 37. Localización geográfica de los puntos candidatos a ser centros de acopio y/o albergues en la CDMX.

Fuente: Elaboración propia (2018).

3.5 Análisis de distancia

Una vez ubicados los puntos en el mapa, producto de los filtros anteriormente descritos, se hizo un análisis de distancia entre cada uno de los puntos (Albergues vs. CA) esto con el fin de determinar cuáles CA quedaban más cercanos a los albergues (menos de 1 kilómetro de distancia en línea recta) (ver Figura 38).

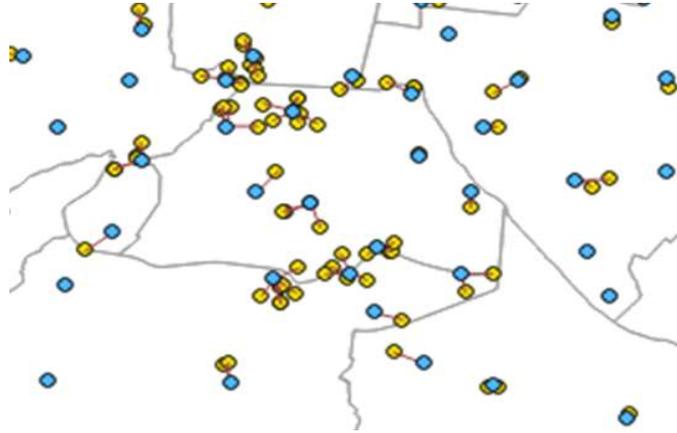


Figura 38. Análisis de distancia entre los puntos candidatos a ser albergue con respecto a los centros de acopio.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Con el resultado de las distancias obtenidas, se realizó una clusterización (formación de grupos o *clúster*) en donde el centroide son los albergues a los cuales se espera los CA más cercanos los provean de víveres.

Se realizó una limpieza de la base de datos para depurar CA y albergues, tomando en cuenta únicamente a aquellos que no estuvieran cerca unos de otros y si en caso de estarlo, se considerarían aquellos que cubrieran mayor población (ver Figura 39).

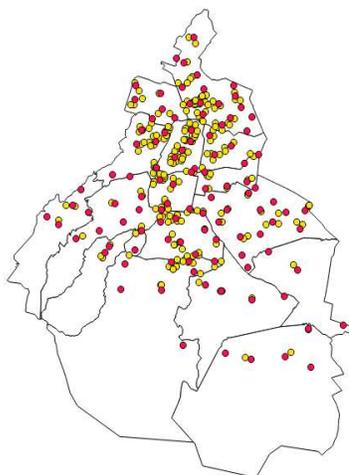


Figura 39. Localización geográfica y mapeo de los 361 puntos totales.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Una vez realizada esta limpieza de la base de datos, se obtuvieron finalmente los siguientes puntos (ver Figura 40- Figura 42):

- 108 albergues
- 253 CA

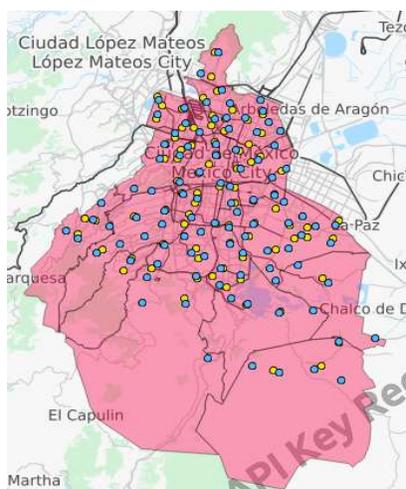


Figura 40. Localización geográfica y mapeo de los 108 albergues y 253 centros de acopio.

Fuente: Elaboración propia (2018).

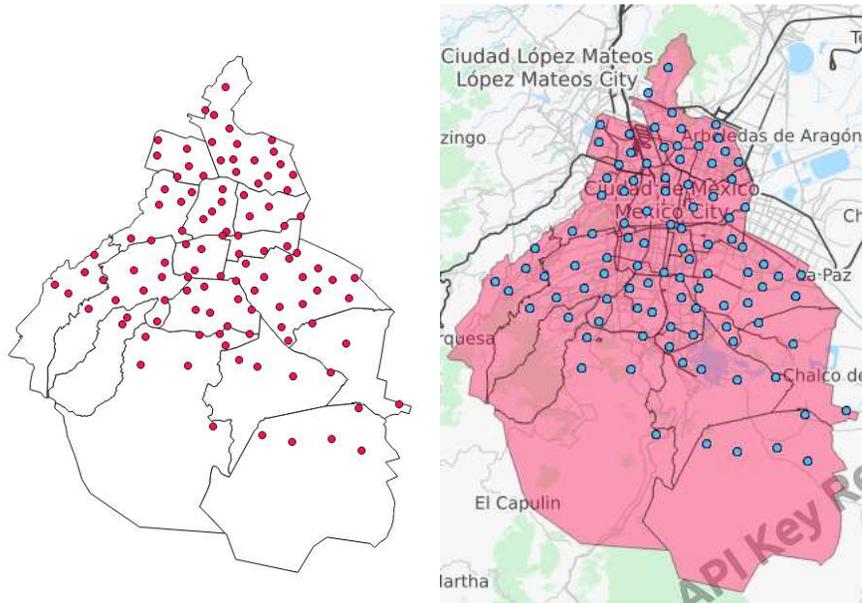


Figura 41. Localización geográfica y mapeo de los 108 albergues.

Fuente: Elaboración propia (2018).

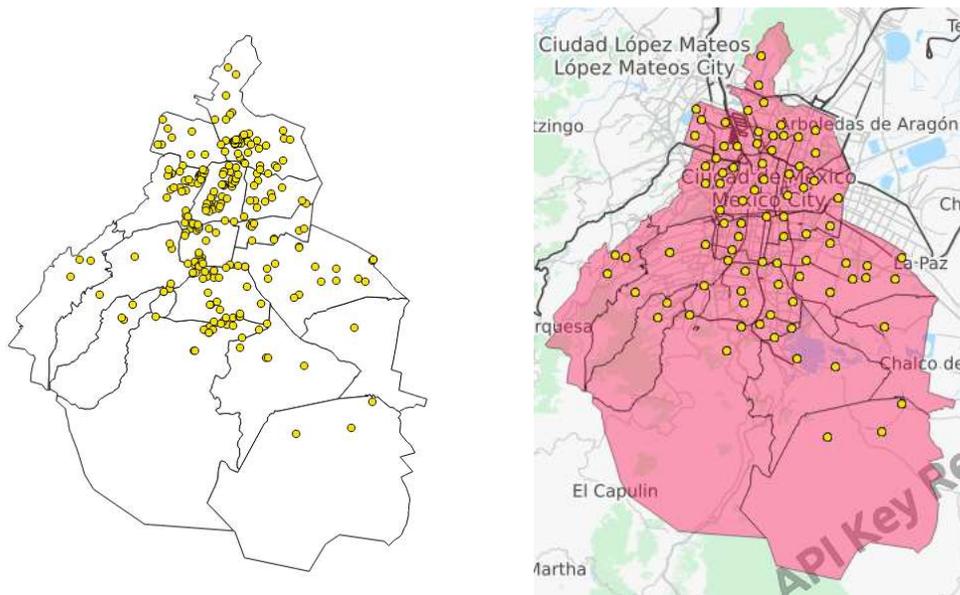


Figura 42. Localización geográfica y mapeo de los 253 centros de acopio.

Fuente: Elaboración propia (2018).

3.6 Clusterización

Como parte del análisis, se contemplaron 3 zonas de acuerdo con el nivel de intensidad sísmica de la CDMX.

A continuación, se describen algunas características de estos tres niveles de intensidad.

Nivel de intensidad alta (ver Figura 43). Esta intensidad puede resultar la más catastrófica debido a que está asentada en áreas que antiguamente eran lagos, lo cual lo hace un tipo de suelo blando que intensifica considerablemente los daños por un sismo y favorece la ampliación de ondas sísmicas.

Albergues: 56

Centros de acopio: 154

Alcaldías: 12

Población total: 4.4M

Viviendas totales: 1.2M

Población cubierta: 2.8M

Viviendas cubiertas: 790k



Figura 43. Localización geográfica y mapeo de la Zona Intensidad Alta.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Nivel de intensidad media (ver Figura 44). Este nivel de intensidad se caracteriza por estar entre una zona sísmica alta y baja, también conocidas como áreas de transición. Usualmente no presenta mayores daños, aunque se perciba en algunas zonas con mayor intensidad que otras.

Albergues: 23

Centros de acopio: 77

Alcaldías: 9

Población total: 1.9M

Viviendas totales: 515k

Población cubierta: 1.2M

Viviendas cubiertas: 355k

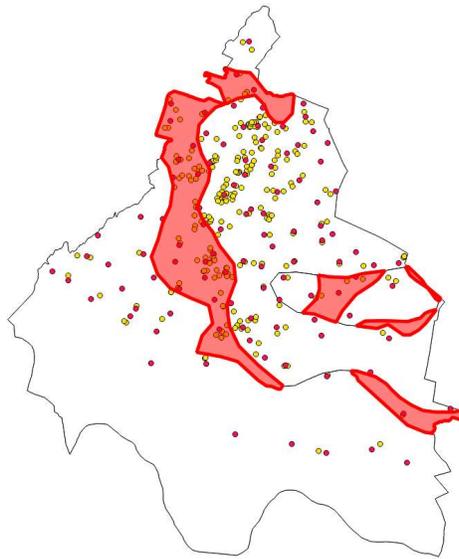


Figura 44. Localización geográfica y mapeo de la Zona Intensidad Media.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Nivel de intensidad baja (ver Figura 45). Zonas en las cuales el suelo es firme y de alta resistencia, localizadas en las partes altas del valle. Pueden absorber considerablemente los movimientos causados por las ondas sísmicas e inclusive logran percibirse con corta duración.

Albergues: 29

Centros de acopio: 22

Alcaldías: 11

Población total: 2.5M

Viviendas totales: 631k

Población cubierta: 1.2M

Viviendas cubiertas: 300k

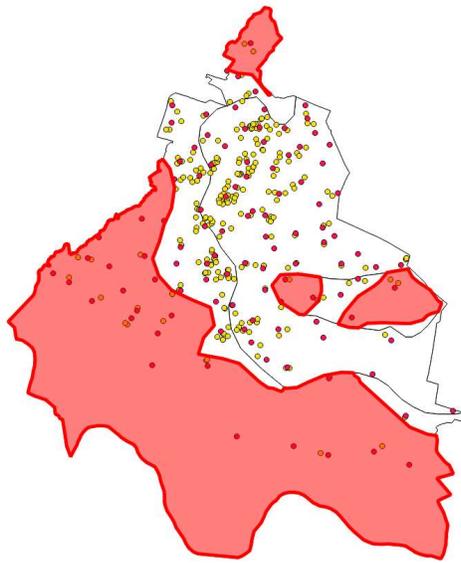


Figura 45. Localización geográfica y mapeo de la Zona Intensidad Baja.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Capítulo 4 Análisis de los resultados principales

En este capítulo, se analizan los resultados principales derivados de la metodología previamente aplicada.

El siguiente código QR (Quick response) es el resultado final de este análisis el cual permitirá, a través de una conexión y acceso a internet, conocer el lugar más próximo de un albergue o CA por medio de un mapa (ver Figura 46):



Figura 46. Código QR para acceso a la herramienta LOYAL.

Fuente: Elaboración propia (2020).

En la Figura 47, observamos el resultado final de esta investigación que es una sugerencia de la colocación de centros de acopio (253 puntos azules) y albergues (108 puntos morados) en la CDMX dentro de las 16 alcaldías que esta abarca y cuyo procedimiento y metodología se describe a lo largo de los tres capítulos anteriores de esta tesis.

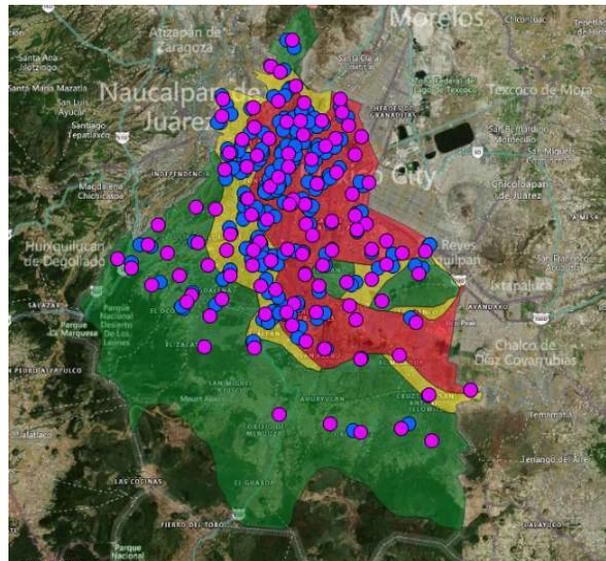


Figura 47. Centros de acopio y albergues en la plataforma de QGIS™, que forman parte de la herramienta LOCALAYL.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Al hacer clic en algún punto, ya sea de albergue o CA, podemos ver una breve descripción del punto como se muestra en la Figura 48. Entre algunas características que podemos encontrar es el nombre del lugar que se propone, longitud y latitud.

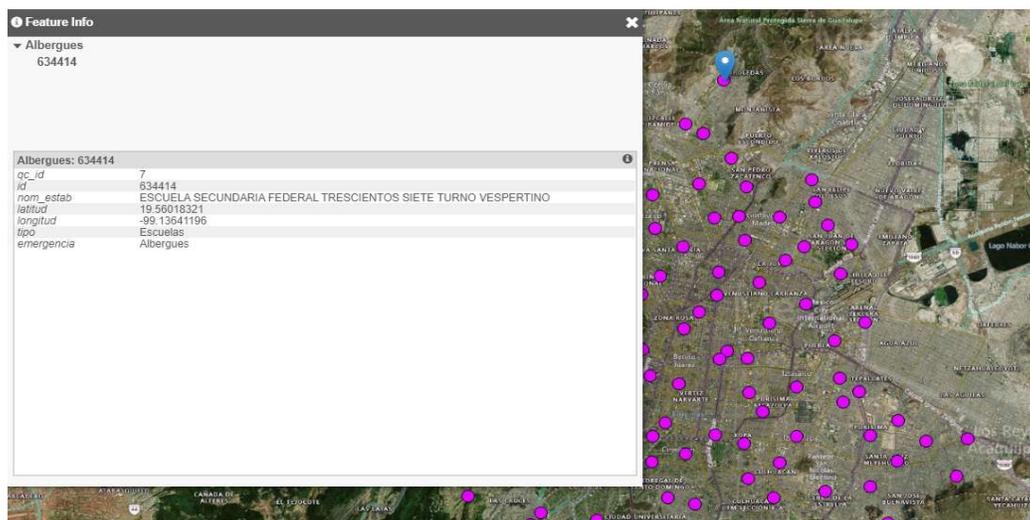


Figura 48. Descripción mostrada al hacer clic en los puntos geográficos contenidos en la herramienta LOCALAYL.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Cabe destacar que para poder visualizar de manera adecuada esta descripción, tenemos que tener seleccionado únicamente, en *layers & legend*, ya sea Albergues o Centros de acopio, uno a la vez, tal y como se muestra es la Figura 49.

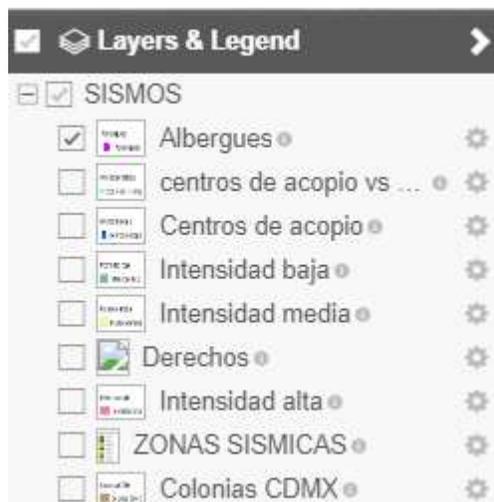


Figura 49. Selección tabular de capas y filtros de lo que se muestra en la la interfaz de la herramienta LOCAYAL.

Fuente: Elaboración propia (2018).

De la misma manera, podemos ingresar a través de cualquier dispositivo móvil que cuente con conexión a internet y hacer la consulta de los puntos.

Una vez escaneado el código QR (se recomienda guardarla en favoritos dentro del navegador de internet de su preferencia o que el sistema operativo del dispositivo móvil maneje), aparecerá la pantalla como se muestra en la Figura 50 en donde tenemos que seleccionar la opción *Ir al sitio web*.



Figura 50. Direccionamiento web de la herramienta LOCAYAL.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Posteriormente, se puede navegar de manera libre dentro de la herramienta para seleccionar o quitar la selección de las distintas capas mostradas (ver Figura 51).

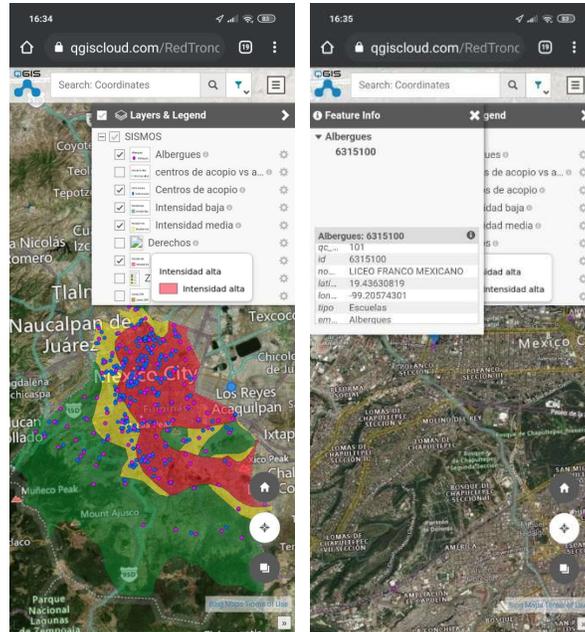


Figura 51. Mapeo y selección tabular de capas y filtros de lo que se muestra en la interfaz de la herramienta LOCAYAL.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Recomendaciones

La investigación desarrollada como parte de esta tesis y que ha sido presentada, se limita a una zona geográfica específica de la República Mexicana y teniendo en cuenta un tipo específico de siniestro como lo es un sismo. Sin embargo, podría ser escalable a otro lugar e inclusive a otros tipos de incidentes naturales tales como: deslaves, erupciones volcánicas, inundaciones que en el país son desastres con cierto nivel de frecuencia y para lo cual sería muy útil tener un plan para habilitar centros de acopio y albergues que satisfagan las características de los siniestros antes mencionados.

De la misma manera, consideramos que sería útil tener en cuenta que a esta herramienta se pueden hacer adecuaciones acordes a los avances tecnológicos y el trabajo en conjunto con otras áreas de conocimiento que permita que el usuario final pueda contar con una herramienta ya no en una URL, sino de manera de aplicación y que la información sea actualizada en tiempo real al momento de suceder un desastre tal y como lo es un sismo.

Una mejora que pudiera realizarse al desarrollo de la presente investigación, con la colaboración de expertos en otras áreas del conocimiento, pudiera ser colocar los nombres de las personas que ingresan al albergue en tiempo real en caso de ser un albergue y en el caso de un CA, se pudiera colocar los materiales que se disponen o se requieren en dicho punto.

Conclusiones generales

Una vez culminados los análisis y la metodología propuesta, podemos concluir que se logró tener la herramienta buscada capaz de dar una pronta respuesta en una situación de desastre natural como lo es un sismo en la CDMX. Lo obtenido ayuda a tener un plan cuando se ha suscitado un evento de emergencia y que pueda servir a la población vulnerable posterior a un sismo, así como a aquella gente que quiera colaborar, pueda hacerlo con el mapa de los distintos centros de acopio de la CDMX.

Los objetivos específicos fueron cubiertos, el capítulo 2 ayudó a entender y saber qué se está haciendo en temas de logística humanitaria y cuáles aspectos pueden ser replicados o mejorados.

Del mismo modo, se presenta una herramienta que puede ser útil y actual que es sencilla de manejar con tecnología de uso común a través de una metodología que pueda ser fácilmente entendida y empleada para replicar en otro análisis e inclusive en otros desastres naturales.

La conclusión final es que se logró el objetivo general planteado en esta tesis.

Bibliografía y referencias

A. Esposito Amideo, M. P. Scaparraa, K. Kotiadis. (2018). *Optimising shelter location and evacuation routing operations: The critical issues*

Aharon Ben-Tal, Byung Do Chung, Supreet Reddy Mandala, Tao Yao. (2010). *Robust optimization for emergency logistics planning: Risk mitigation in humanitarian relief supply chains*

Andrew T. Crooks, Sarah Wise. (2013). *GIS and agent-based models for humanitarian assistance*

Anna Nagurney, Emilio Alvarez Flores, Ceren Soylu. (2016). *A Generalized Nash Equilibrium network model for post-disaster humanitarian relief*

Ashish Trivedi, Amol Singh. (2019). *Shelter planning for uncertain seismic hazards using multicriteria decision approach: A case of Nepal earthquake*

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2018). *¿Quiénes somos?* Obtenido de

<http://www.cenapred.unam.mx/es/QuienesSomos/>

Chung-Cheng Lu, Jih-Biing Sheu. (2013). *Robust vertex p-center model for locating urgent relief distribution centers*

Eren Ozbaya, Özlem Çavus, Bahar Y. Kara. (2019). *Shelter site location under multi-hazard scenarios*

Fırat Kılıcı, Bahar Yeti, Karaa, Burçin Bozkaya. (2014). *Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey*

Grupo de trabajo del Servicio Sismológico Nacional (SSN). (2015). *Acerca de*. Obtenido de

<http://www.ssn.unam.mx/acerca-de/mision>

Jamil Hallak, Melik Koyuncu, Pinar Miç. (2019). *Determining shelter locations in conflict areas by multiobjective modeling: A case study in northern Syria*

Jennifer Alix-Garcia, Anne Bartlett, David Saah. (2011). *Displaced Populations, Humanitarian Assistance and Hosts: A Framework for Analyzing Impacts on Semi-urban Households*

Jia Yua, Chuanrong Zhang, Jiahong Wena, Weidong Li, Rui Liud and Hui Xua. (2018). *Integrating multi-agent evacuation simulation and multi-criteria evaluation for spatial allocation of urban emergency shelters*

Jin, Y., & Ji, S. (2018). Mapping hotspots and emerging trends of business model innovation under networking in Internet of Things. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018(1). <https://doi.org/10.1186/s13638-018-1115-4>

João Coutinho-Rodrigues, Lino Tralhão, Luís Alçada-Almeida. (2012). *Solving a location-routing problem with a multiobjective approach: the design of urban evacuation plans*

Navid Sahebjamnia, S. Ali Torabi, S. Afshin Mansouri. (2016). *A hybrid decision support system for managing humanitarian relief chains*

O.J. Ibarra-Rojas, L. Ozuna, D. Lopez-Piñón. (2019). *The maximal covering location problem with accessibility indicators*

Ömer Burak Kınaya, Bahar Yetis Kara, Francisco Saldanha-da-Gama, Isabel Correia. (2018). *Modeling the shelter site location problem using chance constraints: A case study for Istanbul*

Rajali Maharjana, Shinya Hanaoka. (2016). *Warehouse location determination for humanitarian relief distribution in Nepal*

Revelo, Gabriel. (18 de septiembre 2016). 30 datos sobre el sismo del 19 de septiembre de 1985. Obtenido de

<https://www.sopitas.com/523983-30-datos-sobre-el-sismo-del-19-de-septiembre-de-1985>

Secretaría de Protección Civil. (2018). *Atlas de peligros y riesgos de la CDMX*

Secretaría general de gobierno San Luis Potosí. (2009-2015). *Guía para el establecimiento de refugios temporales.*

Shan Bao-yan, Wang Kang-ping. (2018). *Optimal Location of Urban Seismic Shelter for Evacuation Based on Network Analysis of GIS*

Shaolong Hu, Zhijie Sasha Dong. (2018). *Supplier selection and pre-positioning strategy in humanitarian relief*

Shiva Zokaeaa, Ali Bozorgi-Amiri, Seyed Jafar Sadjadi. (2016). *A robust optimization model for humanitarian relief chain design under uncertainty*

Tung X. Bui, Siva R. Sankaran. (2001). *Design considerations for a virtual information center for humanitarian assistancerdisaster relief using workflow modeling*

van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

Walter J. Gutjahr, Pamela C. Nolz. (2015). *Multicriteria optimization in humanitarian aid*

Wei Chen, Guofang Zhai, Chongqiang Ren, Yijun Shi and Jianxin Zhang. (2018). *Urban Resources Selection and Allocation for Emergency Shelters: In a Multi-Hazard Environment*

Yijun Shi, Guofang Zhai, Lihua Xu, Quan Zhu and Jinyang Deng. (2019). *Planning Emergency Shelters for Urban Disasters: A Multi-Level Location–Allocation Modeling Approach*

Zonificación Sísmica. Obtenido de http://www.atlas.cdmx.gob.mx/zonificacion_sismica.html