

UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL INDUSTRIAL



ESTANDARIZACION DE FUNCION OBJETIVO MULTICRITERIO PARA
DETERMINAR REDES HOSPITALARIAS EN RESPUESTAS A DESASTRES DE
GRAN NUMERO DE VICTIMAS

INFORME DE PROYECTO DE TITULO PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

Alumno.

Rodrigo Martínez Acuña

Profesores Guía.

Dra. María Teresa Bull

Profesor Informante.

Dr. Oscar Cornejo Zúñiga

Concepción, Mayo 2017

Resumen

Continuando con la investigación de Bull (2012), se propone modificar la función objetivo del modelo de optimización en la creación de redes hospitalarias en la ciudad de Orlando, Estados Unidos, utilizando una estandarización en las variables de Distancias recorridas para hospitales de niños y adultos, Promedio de Servicios ofrecido por hospitales de niños y adultos, Camas disponibles en el área de urgencias de niños, Tiempo de espera en hospitales de niños y adultos, con el fin de generar redes que contemplen un peso relativo a los datos globales, para cada variable. Se realizará dicha estandarización para dos tipos de modelos:

- I. 13 modelos que corresponden a 13 hospitales (sólo de adultos) con área de urgencias, ocurriendo un traslado de cada hub (13 hospitales) a algunos de los 16 hospitales (13 de adultos y 3 de niños) con áreas disponibles de urgencias.
- II. 12 modelos que corresponden a 12 centros turísticos propensos a un desastre, ocurriendo un traslado de cada hub (12 centros turísticos) a algunos de los 16 hospitales (13 de adultos y 3 de niños) con áreas disponibles de urgencias.

Se redujo el número de hospitales que necesitan poseer acuerdos de traslado de pacientes (hospitales que superan el 50% de presencia para las redes pseudo-óptimas) en comparación a Bull (2012), pese a esto existe una complejidad en determinar qué modelo es mejor (Bull (2012) o el generado en esta investigación), dado que dependiendo del tipo de problema (hub-hospital o hub-centro turístico) es mejor en algunos criterios y en otros no, por lo tanto se consideró como criterio decisivo la cantidad de víctimas ubicadas en menos de 40 millas del suceso del desastre y atendidas en menos de 30 minutos, donde tras realizar pruebas de hipótesis para diferencias de medias para cada tamaño de desastre, no existe evidencia suficiente para asumirlos como resultados diferentes con un nivel de significancia del 5%, sin embargo la investigación de Bull (2012) presenta mayores valores para esta variable, a excepción del análisis de 150 pacientes.

Se realizó una búsqueda sistemática de información, con el fin de verificar enfoques y variables que estaban contemplando autores desde el año 2012 en adelante, dando como resultado que los enfoques y gran parte de las variables concordaban con el modelo propuesto por Bull (2012), de esta manera se continuo con el modelo original realizando una estandarización en la función objetivo y los supuestos ya planteados.

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por la fortaleza que me ha brindado para seguir este camino, a mi familia por el infinito apoyo, a mi polola Claudia Ramírez por darme la calma que necesito cuando las cosas no resultan, a mis amigos por compartir este periodo en el cual he crecido como persona y creado lazos que espero el tiempo no los rompa.

A mi profesor guía la Dra. María Teresa Bull, por darme la oportunidad de continuar con su investigación, por la paciencia y la disponibilidad de poder socorrer a mis dudas, a mi profesor informante Dr. Oscar Cornejo, por darme consejos, muchas veces no relacionado a lo académico y a la cercanía ofrecida.

Dejo atrás muchos recuerdos de mi universidad, dediqué muchos años a trabajar en el equipo de Difusión del área de Vinculación con la Sociedad, conocí grandes personas, donde aprendí a desenvolverme como profesional, tuve la oportunidad de conocer aquí a personas de diferentes áreas para darme una visión más amplia de la sociedad, por lo que siempre recordaré a Andrés Valenzuela y Rubén Méndez.

Si alguna vez un estudiante lee esto quisiera decirle que luche por lo que le guste y apasione, que haga lo que el resto no hace, si bien dicen que la carrera Ingeniería Civil Industrial está colapsada destáquese por lo que el resto de Ingenieros no tiene, creo que no me equivoque al estudiar en esta Universidad y estoy seguro que el tiempo me dará la razón.

Espero poder ser fuerte para poder continuar esto que recién empieza, no es el final de un periodo, sino el inicio de uno nuevo, creo que la universidad me preparo lo suficiente para poder afrontar el mundo laboral.

Índice general.

Resumen.....	II
Agradecimientos	III
Índice de figuras.....	VI
Índice de tablas.....	VII
Listado de acrónimos/abreviaciones	IX
Capítulo 1: Introducción.	10
1.1 Objetivo general.	11
1.2 Objetivos específicos.....	11
1.3 Justificación de la propuesta.....	12
1.4 Delimitación del Problema.....	14
1.5 Definiciones.....	14
Capítulo 2: Metodología.	16
2.1 Revisión sistemática de Información	16
2.2 Optimización de red.	20
2.3 Procedimiento.....	22
2.4 Prueba de hipótesis para medias.....	25
Capítulo 3: Modelo hub-centro turístico.....	26
3.1 Descripción modelo original.	26
3.2 Descripción modelo propuesto.....	30
3.3 Comparación con modelo antiguo.....	38
Capítulo 4: Modelo hub-hospital.	42
4.1 Descripción modelo original.	42
4.2 Descripción del modelo propuesto.....	46

4.3 Comparación con modelo antiguo.....	54
Capítulo 5: Resultados conjuntos.....	57
5.1 Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 minutos.....	57
5.2 Participación de hospitales.	63
Conclusiones	66
Investigación Futura.....	67
Anexos.	70
Anexo 1: Datos iniciales.....	70
Anexo 2: Estandarización de variables.....	83
Anexo 3: Resumen de investigaciones en revisión sistemática de información.	90
Anexo 4: Modelo de programación en LINGO.....	91
Anexo 5: Comparación de resultados.....	94
Referencias.....	102

Índice de figuras.

Figura 1. Diagrama de la metodología.....	22
Figura 2. Diagrama de generación de datos para la optimización de red.	24
Figura 3. Ubicaciones de Hospitales en Orlando.....	72
Figura 4. Porcentaje de pacientes de ED, según nivel de gravedad.....	73
Figura 5. Ubicación de posibles lugares de desastres de gran número de víctimas.....	76

Índice de tablas.

Tabla 1. Búsqueda avanzada detallada por base de datos 2012 al 2016.	17
Tabla 2. Variables incluidas en análisis de redes hospitalarias posterior al 2011.....	19
Tabla 3. Formulación matemática de una red hospitalaria	21
Tabla 4. Test de Medias.	26
Tabla 5. Resultados de cada hub-centro turístico para un tamaño de desastre de 50 víctimas.	34
Tabla 6. Resultados de cada hub-centro turístico para un tamaño de desastre de 150 víctimas.	35
Tabla 7. Resultados de cada hub-centro turístico para un tamaño de desastre de 150 víctimas.	36
Tabla 8. Frecuencia de Hospitales para hub-centros turísticos	38
Tabla 9. Diferencia de resultados para redes hub-centros turísticos.	40
Tabla 10. Resultados de cada hub hospital, para un tamaño de desastre de 50 víctimas....	50
Tabla 11. Resultados de cada hub hospital, para un tamaño de desastre de 150 víctimas..	51
Tabla 12. Resultados de cada hub hospital, para un tamaño de desastre de 250 víctimas..	52
Tabla 13. Frecuencia de Hospitales para hub-hospitales.	53
Tabla 14. Diferencia de resultados para redes hub-hospitales.	55
Tabla 15. Cantidad de Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min para un tamaño de desastre de 50 personas.	58
Tabla 16. Prueba z para dos muestras suponiendo varianzas desiguales en un tamaño de desastre de 50 víctimas.....	59
Tabla 17. Cantidad de Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min para un tamaño de desastre de 150 personas.	60
Tabla 18. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales en un tamaño de desastre de 150 personas	61
Tabla 19. Cantidad de Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min para un tamaño de desastre de 250 personas.	62

Tabla 20. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales en un tamaño de desastre de 250 personas	63
Tabla 21. Frecuencia conjunta de hospitals.	64
Tabla 22. Muestra de redes hospitalarias pseudo-óptimas.	65
Tabla 24. Ubicación de los Hospitales de Orlando.	70
Tabla 25. Centros Turísticos	74
Tabla 26. Estimación del número de personas en cada ubicación	75
Tabla 27. Resumen de los datos usados en cada escenario.	77
Tabla 28. Características de los escenarios.	78
Tabla 29. Capacidad de camas.	79
Tabla 30. Maxima distancia entre hospitales (millas).	81
Tabla 31. Máxima distancia entre hospitales y posibles lugares de desastres.	82
Tabla 32. Distancia estandarizada por cada hub.	83
Tabla 33. Promedio de servicios estandarizados por cada hub.	85
Tabla 34. Cantidad de camas disponibles estandarizadas por cada hub en hospitales de niños.	87
Tabla 35. Tiempo de Espera en la sala de urgencias estandarizado por cada hub.	88
Tabla 23. Investigaciones consideradas en la revision sistemática de información.	90
Tabla 36. Comparación de redes generadas para un desastre de 50 víctimas.	94
Tabla 37. Comparación de redes generadas para un desastre de 150 víctimas.	95
Tabla 38. Comparación de redes generadas para un desastre de 250 víctimas.	96
Tabla 39. Comparación de resultados para redes generadas modelo hub-centro turístico.	97
Tabla 40. Comparación de resultados para redes generadas modelo hub-hospitales.	99

Listado de acrónimos/abreviaciones

DMS	Department of Management Services
ED	Emergency Department
EMSCP	Emergency Medical Services Communications Plan
FEMA	Federal Emergency Management Agency
GIS	Geographic Information System
JCAHO	Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organization
NHS	National Health Service of England
OMS	Organización Mundial de la Salud
PAHO	Pan American Health Organization
UCF	University of Central Florida
WHO	World Health Organization

Capítulo 1: Introducción.

Durante las últimas décadas, los desastres han producido un gran número de víctimas, teniendo suma importancia las actividades de respuesta en el cuidado de la salud para la gestión de desastres, siendo de suma importancia las funciones y responsabilidades de un hospital durante un desastre requiriendo una precisión de planificación adicional más allá de la fase de respuesta pre hospitalaria. Algunos de las catástrofes más importantes que han afectado a los Estados Unidos son: el atentado en Orlando, Florida, en el club Pulse el 2016, el huracán Katrina en Nueva Orleans en el 2005, y el ataque terrorista de Nueva York y Washington D.C., el 11 de septiembre del 2001. En estos casos, aunque muchos de los hospitales tenían un plan de desastres desarrollado por más de una década, sus planes de respuesta no funcionaron eficientemente ante el caos producido por el huracán y el ataque terrorista. Es claro que organismos gubernamentales y sectores privados han hecho esfuerzos insuficientes para responder a este tipo de eventos catastróficos (Farmer y Carlton, 2006; Schultz, Koenig, y Noji, 1996).

La ciudad de Orlando por sus cualidades climatológicas es propensa a sufrir huracanes, entre otros desastres naturales y su gran cantidad de centros turísticos lo convierten en sector que debiese estar preocupado por la pronta respuesta a algún tipo de desastre de gran número de víctimas. Orlando pertenece al Estado de Florida y al condado de Orange, Estados Unidos. Al 1 de julio de 2014, Orlando tenía una población estimada de la ciudad apropiado de 262.372¹, lo que la convierte en la 73^{o2} ciudad más grande de los Estados Unidos, la 4^o ciudad más grande de Florida, y la más grande ciudad del interior del estado.

Por estas razones esta investigación se centra en la ciudad de Orlando, Estados Unidos, continuando con el trabajo de Bull (2012). Esta investigación comparó los

¹ Población estimada al 2014, <http://www.census.gov/quickfacts/table/pst045215/1253000>, revisado 15 de junio 2016

² Cualidades de Orlando, <http://www.orlandosentinel.com/business/brinkmann-on-business/os-orlando-population-growth-20160324-story.html>, revisado 15 de junio del 2016

resultados de distancia promedio en asignar los pacientes, servicio promedio ofrecido por los hospitales, tiempo de espera en la sala de urgencia, número de hospitales en la red generada, cantidad de pacientes asignados por el modelo, número de niños atendidos en hospitales de adultos, cantidad de pacientes ubicados en menos de 40 millas y cantidad de pacientes asignados en menos de 40 millas y atendidos en menos de 30 minutos, para la generación de redes hospitalarias en la ciudad de Orlando, en algún desastre de gran número de víctimas, realizando una estandarización en la función objetivo del problema de optimización.

1.1 Objetivo general.

Realizar una estandarización en la función objetivo multicriterio del modelo propuesto por Bull (2012), para generar redes hospitalarias pseudo-óptimas³ en la ciudad de Orlando, Estados Unidos, que permiten responder a desastres con gran número de víctimas, con el fin de realizar una comparación entre ambos modelos.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión sistemática de información para validar los supuestos utilizados por Bull (2012) en la creación de redes hospitalarias en periodos desde el 2012 hasta el 2016.
- Comparar resultados de víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min, como criterio decisivo para determinar si el modelo presentado es mejor que el propuesto por Bull (2012).

³ Red pseudo-óptima es la red generada por el problema de optimización, no se puede determinar si es óptima debido al problema multicriterio.

1.3 Justificación de la propuesta.

Algunos autores aplican la gestión de operaciones en desastres para evaluar los planes de emergencia de los hospitales (Altay y Green III, 2006). Sin embargo, no hay una directriz para la determinación de una red de emergencia de salud pública eficiente (Harris y Clements, 2007). Desde una perspectiva institucional estadounidense, la Comisión Conjunta de Acreditación en Organizaciones de Salud (JCAHO) requiere que los hospitales trabajen en áreas geográficas contiguas en los planes de cooperación. Pero no existe alguna medida de desempeño para evaluar cuántos hospitales trabajan en forma cooperativa para cubrir un área específica durante un desastre.

López (1977) dice que, para todo sujeto decisor, ya sea una persona o una organización tiene frente a sí un conjunto variado de objetivos, con un mayor o menor grado de compatibilidad o de contradicción entre ellos, y de los que, en cada caso, no desea ignorar un subconjunto relevante de los mismos. Es decir, ante cada situación concreta en la que haya que emitir una decisión, el sujeto o la organización, contemplará ciertas consecuencias de la misma, las cuales quedaran recogidas, al menos desde un punto operativo, en una serie de funciones objetivo cuya optimización o satisfacción de modo conjunto no será, en general, posible de alcanzar.

Por lo tanto, esta investigación propone realizar una estandarización en la función objetivo multicriterio del modelo propuesto por Bull (2012), para generar redes hospitalarias pseudo-óptimas en la ciudad de Orlando, para desastres con un gran número de víctimas, con el fin de realizar una comparación entre ambos modelos, siendo estas redes de alguna forma más eficientes que otras que se puedan generar, debido al problema de optimización resuelto con funciones objetivos que aportan una magnitud que contempla los datos globales, esto permitirá a los directores de hospitales evaluar qué hospitales se deberían reunir en una red de cooperación con el fin de transferir los sobrevivientes, dándoles un tratamiento adecuado. Además, las instituciones tales como JCAHO pueden

utilizar el índice para evaluar los planes de cooperación en los hospitales solicitados, ofreciendo una atención estándar propuesta por la JCAHO, cumpliendo su misión y visión⁴.

Estas redes pseudo-óptimas son útiles para los directores de emergencias para:

- i. Comparar las redes hospitalarias alternativas con el fin de seleccionar la red generada que otorgue mejor cobertura a una población definida, dado un conjunto de redes de hospitales.
- ii. Evaluar el impacto de la adición de un nuevo hospital a la red.
- iii. Definir las políticas de cooperación dentro de un número establecido de los hospitales para participar en los simulacros requeridos por la JCAHO.

Pueden ser utilizados para medir y monitorear las herramientas para gestionar una red de emergencias de un hospital basado en dos sistemas: las redes de transporte y la capacidad de los hospitales, además de una planificación cooperativa entre hospitales, así como la necesidad de directrices para determinar lo que constituye una red de planificación de emergencia de salud pública eficaz en catástrofes con gran número de víctimas (Harris y Clements, 2007; Altay y Green III, 2006).

Según Roche y Vejo (2005), usualmente, en los métodos multicriterios, resulta esencial llevar a cabo la estandarización de los diferentes criterios del problema decisional, debido a:

- i. Las unidades en que están medidos los criterios son muy diferentes en la mayor parte de los contextos decisionales.
- ii. Los valores alcanzables por los diferentes criterios pueden ser muy diferentes en muchos problemas de multicriterio.
- iii. La normalización facilita la interacción con el decisor, o centro decisor, cuando se requiere obtener indicadores de sus preferencias.

⁴ Revisar página oficial: https://www.jointcommission.org/about_us/about_the_joint_commission_main.aspx

Una de las ventajas de tener valores estandarizados es la independencia de las unidades de medida de las variables, por lo tanto, se puede distinguir un orden de magnitud en comparación al conjunto del resto de las variables, además de ser una ventaja para el decisor contar con un modelo que ocupe los datos en bruto (con su valor original) y no hacerles un pre procesamiento a los datos para resolver el problema de optimización. El valor asociado a los datos originales y a las estandarizaciones de las variables en la función objetivo se puede ver en el Anexo 1 y Anexo 2 respectivamente.

1.4 Delimitación del Problema.

La ciudad de Orlando por sus cualidades climatológicas es propensa a sufrir huracanes, entre otros desastres naturales y su gran cantidad de centros turísticos lo convierten en un sector que debiese estar preocupado por la pronta respuesta a algún tipo de desastre de gran número de víctimas. Por estas razones esta investigación se centra en Orlando, Estados Unidos, continuando con la investigación de Bull (2012), realizando sólo la parte de Optimización de Redes Hospitalarias para analizar el impacto en los resultados que tiene realizar una estandarización en la función objetivo multicriterio para desastres de gran número de víctimas.

1.5 Definiciones

La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) define como incidente o desastre, como: "Un suceso o evento natural o que requiere una respuesta de emergencia para proteger la vida o la propiedad causado por el hombre. Los incidentes pueden, por ejemplo, incluir grandes catástrofes, emergencias, ataques terroristas, amenazas terroristas, forestales y urbanas incendios, inundaciones, derrames de materiales peligrosos, accidentes nucleares, accidentes de aviación, terremotos, huracanes, tornados, tormentas tropicales, los

desastres relacionados con la guerra, públicos salud y emergencias médicas, y otros sucesos que requieren una respuesta de emergencia "(Glosario FEMA, 2016).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define un incidente con gran número de víctimas como: "Un evento que genera mayor número de pacientes en un momento que los recursos disponibles localmente pueden gestionar utilizando procedimientos de rutina" (World Health Organization (WHO), 2007). Además, la Organización Panamericana de la Salud (PAHO) define un incidente con gran número de víctimas como: "Cualquier evento que resulta en un número de víctimas lo suficientemente grandes como para interrumpir el curso normal de los servicios de emergencia y de asistencia sanitaria" (Bordonado et al., 2001, p.3).

Boyd et al. (2012), propone una definición por el Servicio Nacional de Salud Inglés (NHS) de un desastre a gran escala como: "Cualquier incidencia que represente una grave amenaza para la salud de la comunidad, la interrupción del NHS, o cause (o sea probable que cause) que el número o el tipo de víctimas que requieran la implementación de gestiones especiales por [una o más organizaciones del NHS]".

Tales incidentes incluyen:

- Incidentes graves, como los accidentes de autopistas de vehículos múltiples, que cada participante del NHS puede manejar dentro de los planes de larga duración, generalmente sin reducir los niveles habituales de servicio.
- Incidentes masivos de víctimas, que requieren la participación de varias agencias del NHS.
- Incidentes catastróficos, que exceden la capacidad colectiva de las organizaciones locales del NHS.

Capítulo 2: Metodología.

Este capítulo contiene una revisión bibliográfica presentando ciertos autores desarrolladores en el ámbito de la optimización de redes hospitalarias, además del procedimiento a seguir para resolver el problema en cuestión.

2.1 Revisión sistemática de Información

Se realizó una revisión sistemática de los artículos académicos publicados en las últimas décadas, con respecto a la eficiencia de la medición del desempeño de los hospitales y redes. Esta revisión de la literatura distingue dos focos de análisis: análisis de la eficiencia y de análisis de red en los hospitales.

La estrategia de búsqueda utilizada por Bull (2012) es un análisis sistemático que utiliza una búsqueda avanzada en seis bases de datos disponibles en la Biblioteca de la University of Central Florida (UCF) (EBSCO Host, INFORS, IEEEExplore, ISI Web of Knowledge, Wilson Web, ProQuest, y Engineering Village). Usando estas bases de datos, se realizaron búsquedas en los resúmenes de los artículos que contienen las siguientes palabras claves en inglés: efficiency, hospital and network. La búsqueda también excluye las palabras en inglés, como: computer, electrical, wireless, web e insurance, en cada artículo, a modo de continuar con la investigación de Bull (2012), se propone revisar las bases de datos de ISI Web of Knowledge y Pro Quest⁵, desde los años 2012 al 2016, siendo estas bases de datos unas de las que más aportaban en cuanto a artículos seleccionados, como se puede apreciar en la Tabla 1.

⁵ Estas bases de datos corresponden a las que se pueden acceder desde el sitio web de la biblioteca de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, <http://www.sibucsc.cl/>, revisado el 30-06-2016

Tabla 1. Búsqueda avanzada detallada por base de datos 2012 al 2016.

Base de datos	Palabras clave	Número de artículos	Artículos seleccionados
ISI Web of Knowledge	Efficiency, hospital, Network (Topic) OR Efficiency, hospital, Coalitions (Topic) Not: computer, electrical, wireless, web, insurance (Topic) Science Citation Index expanded (SCI-Expanded)	160	4
ProQuest	Efficiency, hospital, Network (Abstract) OR Efficiency, hospital, Coalitions (Abstract) Not: computer, electrical, wireless, web, insurance (Abstract) Types: Scholarly journal and Dissertations	65	8
Total		225	12

Fuente: Elaboración Propia

La búsqueda desde el 2012 al 2016, considerando las bases de datos presentadas generó 225 artículos. El proceso de selección de los artículos se realizó siguiendo dos pasos. En la primera parte, la creación de una lista de títulos para cada base de datos y el análisis de los títulos de los trabajos seleccionados permite al investigador determinar los documentos que contengan términos cercanos a redes de hospitales, eficiencia y los temas de medición del desempeño. En los casos en que los títulos de los artículos fueron ambiguos, se leen y analizan los resúmenes con el fin de determinar su inclusión en esta investigación. Como resultado de este proceso de selección primaria, se seleccionaron una colección de 12 artículos para leer en detalle. Dentro de esta investigación, hemos encontrado dos artículos duplicados. De este modo, se obtuvieron 10 artículos académicos que realizaron nuestros requisitos iniciales, que se pueden revisar en Anexo 3.

En el segundo paso del proceso de selección, se lee cada uno de los 10 resúmenes y, a continuación, seleccionamos 8 artículos como el material de investigación final para analizar a fondo. Después de leer todos los artículos, sólo se incluyeron 3 de los 8 documentos académicos en nuestro análisis final de la investigación porque el foco de los 5 artículos restante hace relación a medir la eficiencia de redes hospitalaria más que en la generación de redes.

En la base de datos de Pro Quest se encontraron las 3 publicaciones académicas a revisar que hacen relación a generar redes hospitalarias, que se pueden ver en la Tabla 2, además de las variables incluidas en su enfoque.

- I. La primera corresponde a Bull (2012), que es la investigación que se está continuando.

- II. La segunda es Mestre, Oliveira, y Barbosa (2012). Este estudio propone un modelo de programación matemática multiservicio jerárquico para informar las decisiones sobre la ubicación y el suministro de los servicios hospitalarios, cuando el tomador de decisiones quiere maximizar el acceso geográfico de los pacientes a un hospital de la red. El modelo considera la estructura multiservicio de la producción hospitalaria (con los hospitales que producen la atención hospitalaria, atención de emergencia y consultas externas) y los costos asociados con la reorganización de la red de hospitales. Por otra parte, considera que la articulación entre los diferentes servicios hospitalarios y entre las unidades hospitalarias, y el ascendente y descendente fluye relacionado con dos referencias manera de los pacientes en la jerarquía del hospital. El enfoque propuesto se diferencia de otras investigaciones al tomar en cuenta de manera simultánea para estos problemas y proporciona información crucial para los planificadores de cuidado de la salud en las redes de referencia, en las zonas de captación del hospital, de la localización y estructura de la oferta hospitalaria, así como en los costos necesarios para mejorar el acceso. Los resultados de la aplicación del modelo se ilustran en una aplicación para la región del Sur de Portugal. Tres escenarios son presentados para describir cómo el modelo puede ser utilizado en entornos institucionales y contextos de política diferentes, y cuando hay incertidumbre en cuanto a los parámetros clave del modelo.

- III. El tercero Eklund y Martensson (2012), este estudio propone que mediante sistemas de información geográfica (GIS) y análisis de redes se generen diferentes estimaciones de la accesibilidad en base a las barreras de la red de carreteras y de

transporte existentes. La población afectada negativamente eran principalmente personas que viven fuera de los centros urbanos y en las provincias sin hospital general. Las medidas cuantitativas utilizando SIG se pueden utilizar para confirmar los estudios cualitativos basados en entrevistas y cuestionarios y mejorar la comprensión de los resultados. Trabajar con una herramienta de análisis espacial también ayuda a identificar debilidades en la infraestructura actual, mejorando así la eficiencia de las inversiones futuras para mejorar la atención de salud en Cisjordania.

Tabla 2. Variables incluidas en análisis de redes hospitalarias posterior al 2011.

Autores	Variables para generar redes	Enfoque
Mestre, et al. (2012)	Tiempo de traslado Demanda Duración de la estancia en diferentes servicios Capacidad máxima y mínima por servicio Población del punto de demanda Población mínima para abrir un nuevo hospital Número de instalaciones abiertas Costo total unitario por atención Costo de adquirir una nueva Capacidad actual Costos operacionales Costos de inversiones	Modelo Multiservicio Jerárquico de Programación Matemática
Eklund y Martensson (2012)	Área Nº de controles Nº de barreras Nº de hospitales generales Tiempo al hospital general	Sistemas de Información Geográfica (GIS) y Análisis de Redes

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, se decide continuar con la metodología propuesta por Bull (2012), ya que los enfoques usados por los 2 autores descritos en la Tabla 3, son parte de la metodología de Bull (2012) para generar redes pseudo-óptimas a partir de una programación matemática y algunos datos obtenidos del GIS como las distancias desde un centro turístico propenso a un desastre de gran número de víctimas a unos hospitales o las distancias entre hospitales, además gran parte de las variables consideradas por Bull (2012) se encuentran en las consideradas por estos 2 autores.

2.2 Optimización de red.

El diseño de una optimización de red es una integración de la teoría de grafos y métodos de optimización. Una red es un grafo conexo⁶ "G" con número finito de nodos "N", y un conjunto de pares de nodos llamados arcos "A" (Gen, Cheng y Lin, 2008). Estos arcos se pueden orientar con restricciones en su flujo entre nodos en función de su capacidad de arcos y la dirección (Taha, 2007, p.236).

Al igual que en Bull (2012) esta investigación, se aplica el modelo de transbordo o flujo de costo mínimo, que incluye un solo producto y una función lineal de costos (Nohria y Eccles, 1992). La Tabla 4 muestra la formulación de Jánošíkova para un problema de ubicación de red discreto para hospitales (Jánošíkova, 2009). El modelo de la Jánošíkova busca reducir la red de hospitales públicos en la República Eslovaca para disminuir los costos públicos. El autor propone la asignación de los pacientes a los hospitales abiertos en base a los siguientes criterios: calidad de los hospitales, la complejidad de los hospitales, la accesibilidad, el transporte y la distribución equitativa de los hospitales entre los ciudadanos. A pesar de que, el trabajo de Jánošíkova no busca el mismo objetivo de esta investigación, se tomó su definición de la complejidad ", la capacidad de los hospitales para proporcionar asistencia sanitaria urgente" para definir los servicios hospitalarios variables para cada red. Como resultado de ello, consideramos que los mismos servicios (Cirugía, Ortopedia o Traumatología, Medicina Interna o Cardiología, Neurología, Ginecología y Obstetricia, y Pediatría) definidos por Jánošíkova para determinar los servicios en nuestra optimización de red, se puede apreciar en Tabla 3.

⁶ En teoría de grafos, un grafo se dice conexo si, para cualquier par de vértices u y v en G , existe al menos una trayectoria (una sucesión de vértices adyacentes que no repita vértices) de u a v .

Tabla 3. Formulación matemática de una red hospitalaria

Criterio	Formulación
<p>Calidad</p> <p>q_i = calidad</p> <p>$y_i \in \{0,1\}$; $y_i = 1$, si el hospital i es incluido en la red;</p> <p>$y_i = 0$, en otro caso</p>	$Max f_1(y) = \sum_{i \in I} q_i y_i$
<p>Cuidado de urgencia</p> <p>O_i = Ratio del área de urgencias</p>	$Max f_2(y) = \sum_{i \in I} O_i y_i$
<p>Accesibilidad</p> <p>t_{ij} =Tiempo requerido para llegar de la municipalidad j a el hospital i (Este tiempo está en función de la velocidad)</p> <p>b_j = habitante en la municipalidad j</p> <p>$x_i \in \{0,1\}$; $x_i = 1$, si el hospital i es el más cercano a la municipalidad j; $x_i = 0$, en otro caso</p>	$Min f_3(x) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} t_{ij}(v) b_j x_{ij}$
<p>Equidad</p> <p>t_{ij} =Tiempo requerido para llegar de la municipalidad j a el hospital i (Este tiempo está en función del máximo tiempo para cubrir una municipalidad)</p>	$Min f_4(x) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} t_{ij}(u) b_j x_{ij}$ $t_{ij}(u) > T^{max}$
<p>La optimización multicriterio por un método de escalarización</p> <p>Maximizar $w_1 f_1(y)/N_1 + w_2 f_2(y)/N_2 - w_3 f_3(x)/N_3 - w_4 f_4(x)/N_4$</p> <p>Sujeto a</p> $\sum x_{ij} = 1 \text{ for } j \in J \quad (\text{cada municipalidad es asignada a un hospital})$ $x_{ij} \leq y_i \text{ for } i \in I, j \in J \quad (\text{una municipalidad } j \text{ es asignada a un hospital público } i)$ $\sum_{i \in I} y_i = p \quad (\text{el número de hospitales públicos es limitado por } p)$ $N_1 = \sum_{i \in I} q_i \quad (\text{un factor de normalización})$ $N_2 = \sum_{i \in I} O_i \quad (\text{un factor de normalización})$	

$$N_3 = \sum_{j \in J} b_j t_{i(v,j),j}(v) \text{ (un factor de normalización)}$$

$$N_4 = \sum_{t_{i(u,j),j}(u) > T^{max}} b_j t_{i(u,j),j}(v) \text{ (un factor de normalización)}$$

$$y_i \in \{0,1\} \text{ para } i \in I \text{ (variable binaria)}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \text{ para } i \in I, j \in J \text{ (variable binaria)}$$

$$w_k \geq 0 \text{ para todo } k=1, 2,3,4 \text{ (peso que expresa la importancia del } k^{\text{ésimo}} \text{ objetivo)}$$

$$\sum_{k=1}^4 w_k = 1 \text{ (la suma de pesos para cada objetivo)}$$

Fuente: Bull (2012), Jánošíkova, Ľ. (2009)

2.3 Procedimiento

Esta investigación propone una metodología que integra la optimización para generar redes de hospitales para llevar a cabo la respuesta de desastres de gran número de víctimas. La Figura 1 representa la interrelación entre las etapas del procedimiento.

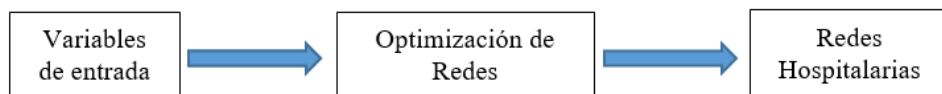


Figura 1. Diagrama de la metodología.

Fuente: Elaboración Propia.

Los supuestos incluidos en la metodología propuesta son las siguientes:

- Las ambulancias transportan todos los sobrevivientes.
- Hay suficientes ambulancias para transportar a los sobrevivientes de la ubicación de desastres para hospitales.

- El número de visitantes en cada uno de los posibles lugares de desastre es la misma en cualquier día del año, por lo que los lugares de desastre se han seleccionado de acuerdo con el alto número de visitantes diarios.
- Los sobrevivientes pueden esperar durante más de 1 hora para recibir atención médica.
- Todos los hospitales pueden trabajar juntos sin importar sean propiedad de distintos inversionistas.
- El desastre tiene el mismo porcentaje de personas menores de 14 años en Orlando. El porcentaje de niños sobrevivientes es del 20% del número total de sobrevivientes en cada escenario.
- El número de camas disponibles en los servicios de urgencias de los hospitales en el área de Orlando es de 47%.
- Todos los hospitales de la red ofrecen los mismos servicios, excepto por los hospitales de niños que prestan servicios sólo para niños.
- Todos los tipos de los desastres producen el mismo tipo de lesiones.
- Cirugía, Ortopedia o Traumatología, Medicina Interna o Cardiología, Neurología, Ginecología y Obstetricia, y Pediatría son los servicios que se consideran al identificar el número de servicios en promedio de cada hospital, siendo este valor el número de servicios que posee dividido en 6.
- La capacidad de camas en hospitales que posean área de urgencias (ED) para Orlando es de 253 camas disponibles, un accidente que supere esta cifra colapsaría el sistema.

La optimización de red, proporciona un conjunto de redes de hospitales pseudo-óptimas utilizando dos optimizaciones, contemplando los supuestos vistos:

- I. Modelo en el cual los hub son los 13 hospitales (sólo de adultos) con área de urgencias disponible, ocurriendo un traslado para cada hub a algunos de los 16 hospitales (13 de adultos y 3 de niños) con áreas disponibles de urgencias.

- II. Modelo en cual los hub son las 12 ubicaciones propensas a un desastre de gran número de víctimas, ocurriendo un traslado para cada hub a algunos de los 16 hospitales (13 de adultos y 3 de niños) con áreas disponibles de urgencias.

La definición de tamaños de desastres depende del número de sobrevivientes en el lugar del desastre. Como resultado, tres tamaños de desastre se definieron para esta investigación, pequeño (50 pacientes), mediano (150 pacientes) y grande (250 pacientes). Para cada red pseudo-óptima creado, se obtiene el número de camas de emergencia, la distancia media entre el hub y el hospital, el número de hospitales de la red, los servicios de medios ofrecidos en la red, y el número de sobrevivientes asignados en un rango de menos de 40 millas, ver Figura 2.

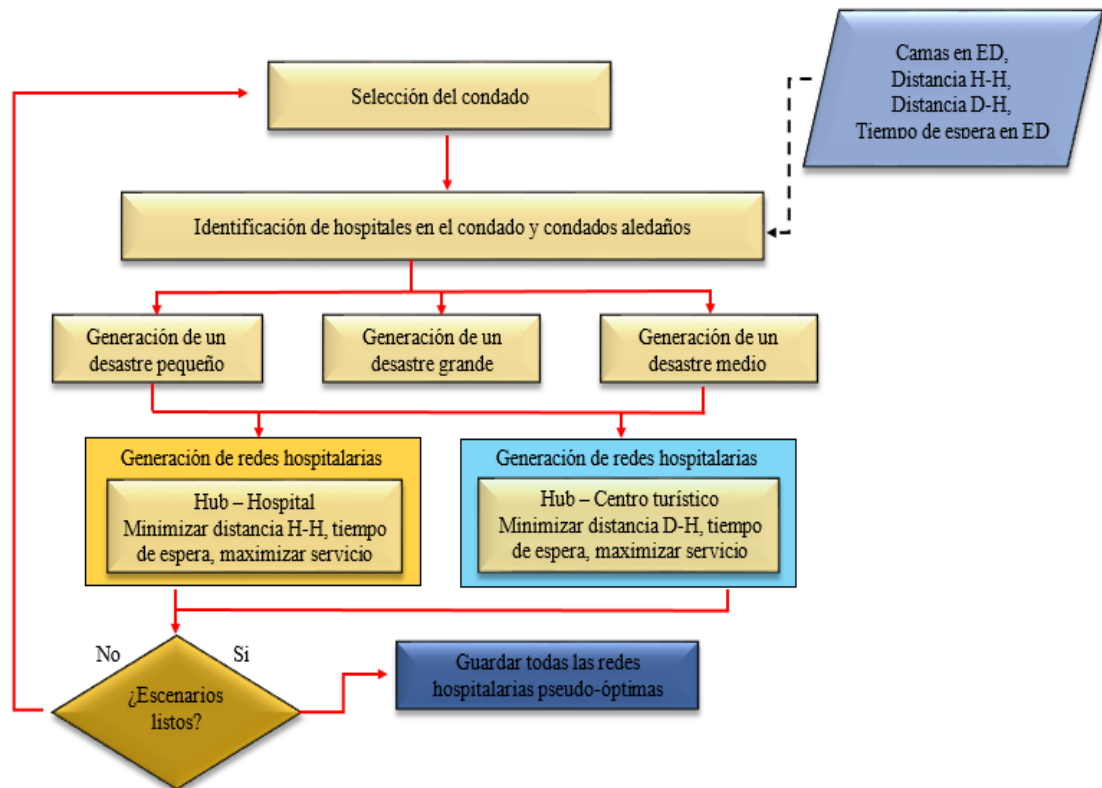


Figura 2. Diagrama de generación de datos para la optimización de red.

Fuente: Bull (2012).

Siguiendo el diagrama de la Figura 2, el procedimiento es el siguiente, se procede a elegir un condado, se identifican los hospitales del condado o cercanos a este, se requiere información de estos hospitales como: Camas disponibles para el área de urgencias, Distancias entre hospitales, Distancias entre posibles lugares propensos a un desastre de gran número de víctimas, Tiempo de espera en urgencias, luego se analiza si el desastre es pequeño, mediano o grande, por lo cual tenemos dos problemas de optimización:

- I. Busca minimizar la distancia entre los hub (13 hospitales) y los hospitales, los tiempos de espera de urgencias, donde en cada caso un hospital hace de hub atendiendo a los pacientes que pueda y trasladando al resto, además de maximizar la cantidad de servicios promedio ofrecido por los hospitales.
- II. Busca minimizar la distancia entre el lugar propenso a un desastre de gran número de víctimas y los hospitales, los tiempos de espera de urgencias, donde en cada caso un lugar hace de centro del desastre (12 lugares) hace de hub trasladando a los pacientes, además de maximizar la cantidad de servicios promedio ofrecido por los hospitales.

2.4 Prueba de hipótesis para medias.

Existe cierta dificultad para determinar qué modelo es mejor que otro, debido a que problema a resolver es multicriterio, donde los resultados pueden ser mejores en algunos criterios, pero peores en otros, debido a esto se considera el resultado de víctimas asignadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 minutos como criterio decisivo para determinar qué modelo presentado es mejor. Por lo tanto, en el Capítulo 5 se realizará una prueba de hipótesis para medias de este resultado.

Esta situación corresponde al caso que las muestras son independientes, se quiere probar una desigualdad de medias cuando las varianzas poblacionales son conocidas y

diferentes, además $n_1 + n_2 = 50$, por lo cual se puede asumir normalidad según Devore (2008) el procedimiento a seguir es el siguiente, ver Tabla 4:

- Especificar las hipótesis.
- Determinar la potencia y el tamaño de la muestra para la prueba.
- Elegir un nivel de significancia (también denominado alfa o α), comúnmente un 5%.
- Recolectar los datos.
- Comparar el valor p de la prueba con el nivel de significancia.
- Decidir si rechazar o no rechazar la hipótesis nula.

Tabla 4. Test de Medias.

Hipótesis	Estadístico de prueba	Rechazar H_0 si:
$H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$	$Z = \frac{\hat{X}_1 - \hat{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$	$ Z > Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$

Fuente: Devore (2008).

Capítulo 3: Modelo hub-centro turístico.

Este capítulo presenta una descripción del modelo propuesto y del modelo original de Bull (2012), además de los resultados en la generación de redes pseudo-óptimas de esta investigación y una comparación con los resultados del modelo original, cuando los hub son los 12 centros turísticos propensos a un desastre de gran número de víctimas.

3.1 Descripción modelo original.

Modelo en cual los hub son las 12 ubicaciones propensas a un desastre de gran número de víctimas, ocurriendo un traslado para cada hub a algunos de los 16 hospitales (13 de adultos y 3 de niños) con áreas disponibles de urgencias, para minimizar la distancia de recorrido entre el hub y los hospitales, maximizar la cantidad de servicio ofrecidos por los hospitales, disminuir el tiempo de espera de urgencias, y que los niños tengan una cierta prioridad de atención en hospitales de niños, con la restricción de que las víctimas de la asignación estén en función de la capacidad de camas. Esta optimización identifica los hospitales más cercanos a los lugares de desastre predefinidos, mejorando planes de emergencia diseñados por los directores de emergencias correspondientes a las posibles ubicaciones de desastres en Orlando, analizando el modelo de Bull (2012):

En orden para explicar el conjunta de restricciones es la siguiente: La ecuación (3.1) define el número de víctimas transportadas a hospitales de niños (i) y los hospitales de adultos (j) deben ser igual al número de víctimas en el desastre o incidente de tamaño l.

$$\sum_i^4 X_{li} + \sum_j^{15} X_{lj} = V_l \quad (3.1)$$

La ecuación (3.2) establece que el número de niños transportados a los hospitales de niños (i) debe ser menor o igual al porcentaje de niños víctimas (pacientes) en el desastre.

$$\sum_i^4 X_{li} \leq \text{PofC} * V_l \quad (3.2)$$

Además, las siguientes restricciones (3.3) y (3.4) limita el número de víctimas adultas y niños transportados de un hospital de adulto y de un hospital de niños respectivamente, de acuerdo con la capacidad disponible en el sector de urgencias de esos hospitales.

$$X_{lj} \leq \text{FCP} * C_j \quad (3.3)$$

$$X_{li} \leq \text{FCP} * C_i \quad (3.4)$$

El primer objetivo es minimizar la distancia de traslado independiente del tipo de hospital (3.5).

$$\text{Minimizar } f_1(X) = \sum_h^{19} d_{1h} X_{1h} \quad (3.5)$$

El segundo objetivo es maximizar el número de servicios en promedio ofrecido por los hospitales independiente del tipo de hospital, el valor 30 es sólo para generar un orden de magnitud similar a los demás objetivos (3.6).

$$\text{Maximizar } f_2(X) = 30 \sum_h^{19} s_h X_{1h} \quad (3.6)$$

El tercer objetivo es minimizar la capacidad ociosa de hospitales de niños (3.7), el valor V_l es sólo para generar un orden de magnitud similar a los demás objetivos.

$$\text{Minimizar } f_3(X) = V_l (\sum_i^4 C_i - \sum_i^4 X_{li}) \quad (3.7)$$

El cuarto objetivo es minimizar el tiempo de espera promedio en hospitales de niños y adultos (3.8), se considera el valor promedio de tiempo de espera sólo para generar un orden de magnitud similar a los demás objetivos.

$$\text{Min } Z = (\sum_i^4 WTC_i X_{li} + \sum_j^{15} WTA_j X_{lj}) / V_l \quad (3.8)$$

La función objetivo del modelo a optimizar cuando el Hub son los centros turísticos propensos a un desastre de gran número de víctimas presentado por M. T. B., 2012 (3.9), si bien no posee una estandarización de las variables, existe algunos pesos relativos a las

funciones a optimizar que hace que las funciones tengan un orden de magnitud similar, pero de difícil interpretación, debido a esto se propone estandarizar las variables de la función objetivo con el fin de generar redes que contemplen un peso relativo a los datos globales como se verá en la sección 3.2, la función objetivo del modelo original es la siguiente.

$$\text{Min } Z = \sum_h^{19} d_{1h} X_{lh} - 30 \sum_h^{19} s_h X_{1h} + V_l (\sum_i^4 C_i - \sum_i^4 X_{li}) + (\sum_i^4 WTC_i X_{li} + \sum_j^{15} WTA_j X_{lj}) / V_l \quad (3.9)$$

Sujeto a:

$$\sum_i^4 X_{li} + \sum_j^{15} X_{lj} = V_l$$

$$\sum_i^4 X_{li} \leq \text{PofC} * V_l$$

$$X_{lj} \leq \text{FCP} * C_j$$

$$X_{li} \leq \text{FCP} * C_i$$

$$X_{li} \geq 0$$

Donde:

h: hospital en Orlando (1,..., 19)

l: hub centro turístico (1,..., 12)

i: hospital de niño (1,...,4)

j: hospital de adulto (1,...,15)

X_{lh} : número de víctimas transportadas del hub hospital l al hospital h

d_{lh} : distancia del hub hospital l al hospital h

s_h : promedio de servicios en hospital h

V_l : víctimas (pacientes) en hub hospital l

C_h : capacidad de sector de emergencia (ED) en hospital h

C_j : capacidad de camas de adultas en hospital j

C_i : capacidad de camas de niños en hospital i

WTC_i: tiempo de espera en hospital de niño i

WTA_j: tiempo de espera en hospital de adulto j

PofC: porcentaje de niños (0.2)

FCP: capacidad disponible en sector de urgencias (ED) (0.47)

3.2 Descripción modelo propuesto.

Modelo en cual los hub son las 12 ubicaciones propensas a un desastre de gran número de víctimas, ocurriendo un traslado para cada hub a algunos de los 16 hospitales (13 de adultos y 3 de niños) con áreas disponibles de urgencias, para minimizar la distancia de recorrido entre el hub y los hospitales de niños y adultos, maximizar la cantidad de servicios ofrecidos por los hospitales de niños y adultos, disminuir el tiempo de espera de urgencias en hospitales de niños y adultos, y que los niños tengan una cierta prioridad de atención en hospitales de niños, con la restricción que las víctimas de la asignación estén en función de la capacidad de camas de los hospitales. Esta optimización identifica los hospitales más cercanos a los lugares de desastre predefinidos, mejorando planes de emergencia diseñados por los directores de emergencias correspondientes a las posibles ubicaciones de desastres en Orlando.

La red es un grafo en el que cada nodo "h" del conjunto de nodos "N" representa los hospitales, y el nodo "1" representa el hub-centro turístico. Entonces, cada arco (1,h) del conjunto de arcos "A" representa la distancia d_{1h} entre el hub-centro turístico "1" y el hospital "h". La inclusión de los hospitales en una red responde a las siguientes características: (1) las distancias entre el hub hospital y el resto de los hospitales, (2) el promedio de servicios, (3) el tiempo de espera promedio en ED, y (4) la capacidad disponible de camas en su ED. Tres tamaños diferentes de desastre se definen para cada uno de los trece hospitales en Orlando, que pueden ser Hub.

En este modelo, la variable X_{lh} representa el número de víctimas transportadas del hub-centro turístico "l" al hospital "h". Si X_{lh} es mayor que cero, cuando el hospital "h" es parte de la red pseudo-óptima. El total de hospitales disponibles en Orlando son 19, de los cuales 4 son hospitales para niños y 15 hospitales son para adultos. Sin embargo, sólo 16 hospitales poseen ED (13 de adultos y 3 de niños). Un modelo de programación matemática identifica la red hospitalaria pseudo-óptima, 12 son los posibles centros turísticos propensos a un desastre de gran número de víctimas que representan al hub "l".

El conjunto de restricciones se conserva con respecto a Bull (2012), las cuales fueron explicadas en la sección anterior 3.1.

El primer objetivo (3.10) para generar redes pseudo-óptimas busca minimizar la distancia al transportar víctimas del hub-centros turísticos a hospitales de niños o adultos, con la variable distancia estandarizada.

$$\text{Minimizar } f_1(X) = \sum_i^4 \left(\frac{\min d_{1i} - d_{1i}}{\min d_{1i} - \max d_{1i}} \right) X_{1i} + \sum_j^{15} \left(\frac{\min d_{1j} - d_{1j}}{\min d_{1j} - \max d_{1j}} \right) X_{1j} \quad (3.10)$$

El Segundo objetivo (3.11) es incluir los hospitales que proporcionan más servicios, con la variable promedio de servicios estandarizados.

$$\text{Maximizar } f_2(X) = \sum_i^4 \left(\frac{\min s_i - s_i}{\min s_i - \max s_i} \right) X_{1i} - \sum_j^{15} \left(\frac{\min s_j - s_j}{\min s_j - \max s_j} \right) X_{1j} \quad (3.11)$$

El tercer objetivo (3.12) es la asignación de los niños dentro de los hospitales de niños con una cierta prioridad, con la variable capacidad de camas en urgencias para hospitales de niños y proporción de niños enviados a hospitales de niños estandarizadas.

$$\text{Minimizar } f_3(X) = \sum_i^4 \left(\frac{\min c_i - c_i}{\min c_i - \max c_i} \right) - \sum_i^4 \left(\frac{X_{li}}{\text{PofC} * V_l} \right) \quad (3.12)$$

El cuarto objetivo (3.13) busca incluir en la red, hospitales que presenten menor tiempo de espera en ED, con las variables Tiempo de espera estandarizado en urgencias en hospitales de niños y adultos.

$$\text{Minimizar } f_4(X) = \sum_i^4 \left(\frac{\min WTC_i - WTC_i}{\min WTC_i - \max WTC_i} \right) X_{li} + \sum_j^{15} \left(\frac{\min WTA_j - WTA_j}{\min WTA_j - \max WTA_j} \right) X_{lj} \quad (3.13)$$

Entonces, el problema a resolver tiene múltiples objetivos estandarizados (3.14),

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_i^4 \left(\frac{\min d_{li} - d_{li}}{\min d_{li} - \max d_{li}} \right) X_{li} + \sum_j^{15} \left(\frac{\min d_{lj} - d_{lj}}{\min d_{lj} - \max d_{lj}} \right) X_{lj} - \sum_i^4 \left(\frac{\min s_i - s_i}{\min s_i - \max s_i} \right) X_{li} - \\ & \sum_j^{15} \left(\frac{\min s_j - s_j}{\min s_j - \max s_j} \right) X_{lj} + \left(\sum_i^4 \left(\frac{\min c_i - c_i}{\min c_i - \max c_i} \right) - \sum_i^4 \left(\frac{X_{li}}{\text{PofC} * V_l} \right) \right) + \sum_i^4 \left(\frac{\min WTC_i - WTC_i}{\min WTC_i - \max WTC_i} \right) X_{li} + \\ & \sum_j^{15} \left(\frac{\min WTA_j - WTA_j}{\min WTA_j - \max WTA_j} \right) X_{lj} \quad (3.14) \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\sum_i^4 X_{li} + \sum_j^{15} X_{lj} = V_l$$

$$\sum_i^4 X_{li} \leq \text{PofC} * V_l$$

$$X_{lj} \leq \text{FCP} * C_j$$

$$X_{li} \leq \text{FCP} * C_i$$

$$X_{li} \geq 0$$

Donde:

h: hospital en Orlando (1, ..., 19)

⁷ Donde Min y Max que acompañan a cada variable, corresponden al menor y mayor valor de cada variable.

l : hub centro turístico (1,..., 12)
 i : hospital de niño (1,...,4)
 j : hospital de adulto (1,...,15)
 X_{lh} : número de víctimas transportadas del hub hospital l al hospital h
 d_{lh} : distancia del hub hospital l al hospital h
 s_h : promedio de servicios en hospital h
 V_l : víctimas (pacientes) en hub hospital l
 C_h : capacidad de sector de emergencia (ED) en hospital h
 C_j : capacidad de camas de adultas en hospital j
 C_i : capacidad de camas de niños en hospital i
 WTC_i : tiempo de espera en hospital de niño i
 WTA_j : tiempo de espera en hospital de adulto j
 $PofC$: porcentaje de niños (0.2)
 FCP : capacidad disponible en sector de urgencias (ED) (0.47)

El problema de optimización descrito en la sección 3.1 identifica una red pseudo-óptima para cada hub-centro turístico predefinido en Orlando para cada tamaño de desastres definido. Las distancias desde cada hub hospital hacia los hospitales cambian en cada caso para definir las redes pseudo-óptima. Esta investigación utiliza LINGO 14.0⁸ para implementar el modelo de optimización (véase el Anexo 4). Las Tablas 5, 6 y 7 muestran el número de víctimas, los hospitales involucrados y los niños asignados en los hospitales de adultos. Además, se calcula para cada red las siguientes características: (i) la distancia

⁸ LINGO es una herramienta completa diseñada para hacer que la construcción y resolución de modelos de optimización lineal, no lineal (convexos y no convexos/ globales), cuadráticos, cuadráticamente restringidos, de segundo orden, semi-definido, estocástico y entero sean más rápidos, sencillos y eficientes. LINGO proporciona un paquete completamente integrado que incluye un potente lenguaje para expresar modelos de optimización, un entorno completo para crear y editar problemas y un conjunto de solucionadores integrados rápidos. El software puede ser descargado, creando una licencia de estudiantes http://www.lindo.com/index.php?option=com_content&view=article&id=34&Itemid=14, (accedido el 1 de Noviembre, 2016)

media entre el hub-hospital y el resto de los hospitales de la red; (ii) el promedio de los servicios ofrecidos por los hospitales de la red, y (iii) el tiempo medio de espera medido en minutos.

Por ejemplo, la primera fila se lee de la siguiente manera: Florida Hospital Orlando es el hub-centro turístico donde se distribuyen 50 pacientes o víctimas a 3 hospitales, que se encuentran dentro del rango de 5.09 millas. Los 3 hospitales ofrecen en general un promedio de 0.98 de proporción de servicios, un paciente tiene que esperar en la sala de urgencias un promedio de 46.18 minutos antes de que pueda recibir atención médica. En esta red, no hay niños asignados a un hospital de un adulto, 50 pacientes son atendidos en esta red en una distancia menor a 40 millas, el valor de la función objetivo es de -23.03 y el tiempo de ejecución para resolver esta red es de 0.22 segundos. Entonces, la última fila se puede leer, de la siguiente manera: Universal Studios es el hub-centro turístico donde se distribuyen es el hub-centro turístico donde 250 pacientes o víctimas a 16 hospitales, que se encuentran dentro del rango de 17.36 millas. Estos 16 hospitales ofrecen en general un promedio de 0.98 de proporción de servicios, un paciente tiene que esperar en la sala de urgencias un promedio de 30.68 minutos antes de que pueda recibir atención médica. En esta red, hay 14 niños asignados a un hospital de un adulto, 237 pacientes son atendidos en esta red en una distancia menor a 40 millas, el valor de la función objetivo es de 59.35 y el tiempo de ejecución para resolver esta red es de 0.25 segundos.

En las Tablas 5, 6 y 7 presentan el valor de la función objetivo, este valor no se puede interpretar debido a que en la estandarización de 3.9, se logra una estandarización numérica, no así en su unidad de medida.

Tabla 5. Resultados de cada hub-centro turístico para un tamaño de desastre de 50 víctimas.

Redes hospitalarias (hub-centro turístico)	# Víctimas	# Hospitales	Prom. Distancia	Prom. Servicios	Prom. Tiempo de Espera	# Niños	# Víctimas ubicadas (menos de 40)	Función Objetivo	Tiempo de Ejecución (s)
--	------------	--------------	-----------------	-----------------	------------------------	---------	-----------------------------------	------------------	-------------------------

							millas) ⁹		
Airport	50	3	5.09	0.98	46.18	0	50	-23.03	0.22
Amway Center	50	4	13.86	0.87	23.98	0	50	-26.36	0.43
Animal Kingdom	50	4	17.38	0.88	22.90	0	50	-29.52	0.32
Epcot	50	4	19.13	0.88	24.70	0	50	-20.96	0.22
Florida Citrus Bowl Stadium	50	3	5.07	0.98	46.18	0	50	-24.86	0.23
Florida Mall	50	3	11.42	0.93	35.20	0	50	-25.63	0.23
Hollywood Studios	50	4	18.73	0.88	24.70	0	50	-21.88	0.23
Magic Kingdom	50	4	19.17	0.88	22.90	0	50	-27.43	0.22
Mall At Millennia	50	3	8.16	0.93	35.20	0	50	-24.36	0.22
Orange County Convention Center	50	3	8.18	0.86	33.60	0	50	-33.39	0.21
SeaWorld	50	4	8.71	0.82	31.78	0	50	-192.85	0.22
Universal	50	4	7.79	0.86	24.30	0	50	-29.04	0.23

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 6 muestra los resultados de cada hub-centro turístico, donde se puede apreciar el crecimiento de los hospitales involucrados en cada red pseudo-óptima.

Tabla 6. Resultados de cada hub-centro turístico para un tamaño de desastre de 150 víctimas.

Redes hospitalarias	# Víctimas	# Hospitales	Prom. Distancia	Prom. Servicios	Prom. Tiempo	# Niños	# Víctimas	Función Objetivo	Tiempo de
----------------------------	-------------------	---------------------	------------------------	------------------------	---------------------	----------------	-------------------	-------------------------	------------------

⁹ Las víctimas ubicadas en menos de 40 millas corresponden a las víctimas en que su traslado del hub-centro turístico hacia algún hospital no supera las 40 millas.

(hub-centro turístico)					de Espera		ubicadas (menos de 40 millas)		Ejecución (s)
Airport	150	9	8.64	0.88	36.20	15	150	-42.87	0.23
Amway Center	150	9	16.06	0.88	36.20	15	150	-51.45	0.31
Animal Kingdom	150	10	24.31	0.86	29.77	1	150	-38.31	0.25
Epcot	150	10	22.09	0.86	31.82	4	150	-25.43	0.30
Florida Citrus Bowl Stadium	150	9	7.02	0.88	36.25	11	150	-50.05	0.23
Florida Mall	150	9	12.83	0.88	36.25	11	150	-50.73	0.26
Hollywood Studios	150	10	21.81	0.86	31.88	1	128	-27.35	0.24
Magic Kingdom	150	10	24.46	0.86	31.78	1	128	-34.08	0.21
Mall At Millennia	150	8	9.13	0.88	35.01	1	150	-38.30	0.23
Orange County Convention Center	150	8	12.92	0.88	35.01	1	150	-31.46	0.73
SeaWorld	150	9	13.75	0.87	38.16	0	150	-100.68	0.28
Universal	150	8	10.43	0.88	35.01	1	134	-37.66	0.25

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 7, la cantidad de hospitales en la red pseudo-óptima es completa. Es decir, no existe ningún hospital que no tenga algún paciente

Tabla 7. Resultados de cada hub-centro turístico para un tamaño de desastre de 150 víctimas.

Redes hospitalarias (hub-centro)	# Víctimas	# Hospitales	Prom. Distancia	Prom. Servicios	Prom. Tiempo de	# Niños	# Víctimas ubicadas	Función Objetivo	Tiempo de Ejecución
----------------------------------	------------	--------------	-----------------	-----------------	-----------------	---------	---------------------	------------------	---------------------

turístico)					Espera		(menos de 40 millas)		(s)
Airport	250	16	14.23	0.82	30.68	14	237	-9.53	0.21
Amway Center	250	16	22.46	0.82	30.11	17	220	-23.53	0.33
Animal Kingdom	250	16	29.36	0.82	30.11	17	212	-8.34	0.21
Epcot	250	16	20.93	0.82	30.11	17	215	6.77	0.31
Florida Citrus Bowl Stadium	250	16	28.11	0.82	30.68	14	250	10.04	0.22
Florida Mall	250	16	39.82	0.82	30.24	14	234	31.76	0.31
Hollywood Studios	250	16	20.09	0.82	30.24	14	215	29.29	0.26
Magic Kingdom	250	16	30.61	0.82	30.11	17	212	-0.85	0.22
Mall At Millennia	250	16	16.86	0.82	30.64	14	230	61.80	0.22
Orange County Convention Center	250	16	20.34	0.82	30.68	14	215	115.16	0.25
SeaWorld	250	16	20.38	0.82	30.64	14	216	861.24	0.42
Universal	250	16	17.36	0.82	30.68	14	237	59.35	0.25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8 muestra la frecuencia de cada hospital en una red pseudo-óptima, de acuerdo con el tamaño de la catástrofe. Esta tabla identifica nueve¹⁰ hospitales de cada dieciséis hospitales que se ajustan mejor dentro de la red pseudo-óptima previamente analizados (Arnold Palmer Hospital for Children, Florida Hospital Orlando, Florida Hospital Apopka, Health Central, Dr. P. Phillips Hospital, Florida Hospital East Orlando, Winter Park Memorial Hospital, Central Florida Regional Hospital y Winnie Palmer Hospital). Además, es importante tener en cuenta que dentro de los hospitales para los niños Arnold Palmer Hospital for Children y Winnie Palmer Hospital destacan frente a los

¹⁰ Superan el 50% de presencia en las redes

demás debido a que este modelo de optimización asigna a los niños a los hospitales para los niños con una cierta prioridad, haciendo posible en caso de que fuese conveniente una asignación a hospitales de adultos.

Tabla 8. Frecuencia de Hospitales para hub-centros turísticos

	Nombre del Hospital (Sector de Urgencias)	Pequeño	Medio	Grande
1	Arnold Palmer Hospital for Children	12	12	12
2	Central Florida Regional Hospital	0	2	12
3	Dr. P. Phillips Hospital	10	12	12
4	Florida Hospital Apopka	2	8	12
5	Florida Hospital East Orlando	3	12	12
6	Florida Hospital for Children	0	1	12
7	Florida Hospital Orlando	7	12	12
8	Florida Hospital Waterman	0	0	12
9	Health Central	5	12	12
10	Hospital Celebration health	1	5	12
11	Orlando Regional Medical Center	3	8	12
12	South Lake Hospital	0	1	12
13	South Seminole Hospital	0	0	12
14	St. Cloud Regional Medical Center	0	3	12
15	Winnie Palmer Hospital	0	10	12
16	Winter Park Memorial Hospital	0	11	12

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Comparación con modelo antiguo.

Se realiza una comparación entre los resultados de las redes hospitalarias pseudo-óptimas propuestas por Bull (2012) y las generadas en esta investigación, usando una diferencia en los resultados:

Resultados generados en esta investigación – Resultados generados por Bull (2012)

A modo de ejemplo se interpreta el centro turístico propenso a un desastre de gran número de víctimas el Hub Airport, en una instancia de 50 pacientes, ver Tabla 9

La diferencia de número de pacientes asignados en ambas redes es 0, es decir ambos modelos asignaron el número total de pacientes (para este caso 50 pacientes), la cantidad de hospitales de la red pseudo-óptima disminuye en 1, la distancia promedio recorrida disminuye en 3.96 millas, el número de servicio en promedio por los hospitales aumenta en 0.16%, el tiempo de espera en urgencias aumenta en 28.02 minutos, la cantidad de niños atendidos en hospitales para adultos se mantiene en 0 y la cantidad de pacientes atendidos en menos de 40 millas es 0 pacientes.

Tabla 9. Diferencia de resultados para redes hub-centros turísticos.

Redes Hospitalarias (hub-centro turístico)	Tamaño	# Víctimas	# Hospitales	Distancia Prom.	Servicios Prom.	Tiempo de espera Prom.	# Niños	Víctimas ubicadas (menos de 40 millas)
Airport	50	0	-1	-3.96	0.16	28.02	0	0
Amway Center	50	0	0	1.00	0.05	4.74	0	0
Animal Kingdom	50	0	0	-0.84	0.04	3.10	0	0
Epcot	50	0	-1	-0.81	0.08	8.12	0	0
Florida Citrus Bowl Stadium	50	0	-1	-3.65	0.16	28.34	0	0
Florida Mall	50	0	-2	-1.70	0.13	18.58	0	0
Hollywood Studios	50	0	-1	-0.81	0.08	8.12	0	0
Magic Kingdom	50	0	0	0.36	0.04	3.10	0	0
Mall At Millennia	50	0	-1	-1.10	0.11	17.36	0	0
Orange County Convention Center	50	0	-1	-2.84	0.04	15.76	0	0
SeaWorld	50	0	1	-4.11	-0.04	15.78	0	20
Universal	50	0	0	-1.14	0.04	6.46	0	0
Airport	150	0	-2	-6.39	0.08	18.31	15	0
Amway Center	150	0	-2	-5.90	0.08	18.31	15	13
Animal Kingdom	150	0	-2	-3.12	0.07	10.51	1	16
Epcot	150	0	-2	-3.51	0.08	10.68	4	8
Florida Citrus Bowl Stadium	150	0	-2	-7.26	0.08	18.36	11	0
Florida Mall	150	0	-2	-6.80	0.08	18.36	11	0
Hollywood Studios	150	0	-2	-3.33	0.08	10.74	1	-14
Magic Kingdom	150	0	-2	-2.31	0.09	10.64	1	-14
Mall At Millennia	150	0	-3	-7.50	0.06	16.06	1	0
Orange County Convention Center	150	0	-3	-8.02	0.07	17.11	1	22
SeaWorld	150	0	-2	-11.06	-0.07	17.83	0	42
Universal	150	0	-3	-7.38	0.07	17.11	1	-16
Airport	250	0	0	-1.04	0.00	1.28	0	3
Amway Center	250	0	0	0.09	0.00	0.71	3	0
Animal Kingdom	250	0	0	0.00	0.00	0.84	3	0
Epcot	250	0	0	-7.51	0.00	0.79	3	3
Florida Citrus Bowl Stadium	250	0	0	-0.21	0.00	1.28	0	0
Florida Mall	250	0	0	0.05	0.00	0.84	0	0
Hollywood Studios	250	0	0	-8.02	0.00	0.92	0	3
Magic Kingdom	250	0	0	0.00	0.00	0.84	3	0
Mall At Millennia	250	0	0	-0.35	0.00	1.24	0	3
Orange County Convention Center	250	0	0	-0.39	0.00	1.42	0	3
SeaWorld	250	0	0	-0.33	0.00	1.37	0	25
Universal	250	0	0	-0.39	0.00	1.42	0	3

Fuente. Elaboración Propia

Cuando los hub son centro turístico y ocurre un traslado desde el hub a algunos de los hospitales, la comparación de las redes pseudo-óptimas generadas en esta investigación y las del modelo original de Bull (2012) (revisar Anexo 5), se puede decir que:

- El número de víctimas asignadas por los modelos son iguales, es decir ambos modelos asignan la totalidad de pacientes a hospitales (50 pacientes, 150 pacientes y 250 pacientes).

- El número de hospitales de las redes pseudo-óptimas disminuye para instancias de 50 pacientes, 150 pacientes y para 250 pacientes la cantidad de hospitales son iguales, en comparación al modelo original.
- La distancia promedio recorrida disminuye a excepción del caso más puntual Amway Center, principalmente debido al aumento que tiene en el número de servicios en promedio, en comparación al modelo original.
- El número de servicio en promedio ofrecido por los hospitales aumenta en comparación al modelo original.
- El tiempo de espera en urgencias aumenta en comparación al modelo original.
- La cantidad de niños atendidos en hospitales de adultos son iguales para la instancia de 50 pacientes y diferentes para 150 pacientes y 250 pacientes, en comparación al modelo original.
- La cantidad de pacientes atendidos en menos de 40 millas del hub disminuye, en comparación al modelo original.

El resultado es lógico puesto que cuando los Hub son los centros turísticos, el número de hospitales involucrados en cada red debiese ser reducido, puesto que al estar en un desastre de tamaño 50 pacientes, 150 pacientes o 250 pacientes es preferible llenar los cupos de los hospitales que tienen espacio para atender a los heridos, disminuyendo así esfuerzos logísticos en llevarlos a otros hospital que tengan capacidad disponible y algunos recursos como ambulancias, la distancia promedio recorrida, debiese ser reducida debido a que hay un menor tiempo de traslado a hospitales y con esto mayor probabilidad de supervivencia, la cantidad de servicios ofrecidos por los hospitales debe ser alta, ya que los pacientes pueden presentar diversas complejidades que debiesen ser atendidas en hospitales especializados, el tiempo de espera en urgencias debiese ser bajo pero lo suficiente para atender a cada paciente para que quede estable, la cantidad de niños atendidos en hospitales de adultos debiese ser baja, debido a que hospitales de niños poseen insumos, materiales equipo y recurso humano apto para atender a niños. Sin embargo, factores como la distancia, tiempo de espera en urgencia, servicios ofrecidos por los hospitales, capacidad de camas disponibles hacen que sea más eficiente atender a niños en hospitales de adultos

cuando el tamaño del desastre es de 150 pacientes y 250 pacientes, la cantidad de pacientes atendidos en menos de 40 millas debiese ser máxima o bordeando el máximo. Del punto de vista que el Hub son los centros turísticos, es factible que disminuya la distancia recorrida ya que por lo general se encuentran distantes a los hospitales, el tiempo de espera en urgencias sube en comparación a Bull (2012), pero es compensada a los servicios ofrecidos por los hospitales.

Capítulo 4: Modelo hub-hospital.

Este capítulo presenta una descripción del modelo propuesto y del modelo original de Bull (2012), además de los resultados en la generación de redes pseudo-óptimas de esta investigación y una comparación con los resultados del modelo original, cuando los hub son los 13 hospitales.

4.1 Descripción modelo original.

Modelo en el cual los hub son los 13 hospitales (sólo de adultos) con área de urgencias disponible, ocurriendo un traslado para cada hub a algunos de los 16 hospitales (13 de adultos y 3 de niños) con áreas disponibles de urgencias, para minimizar la distancia de recorrido entre el hub y los hospitales, maximizar la cantidad de servicio en promedio ofrecidos por los hospitales, disminuir el tiempo de espera de urgencias en hospitales, y que los niños tengan una cierta prioridad de atención en los hospitales de niños, con la restricción que las víctimas de la asignación estén en función de la capacidad de camas. Es esencial el conocimiento de estas variables con el fin de identificar posibles agrupamientos de hospital en caso de ocurrencia de desastres. Esta identificación es importante porque ayudará a los directores de emergencias para desarrollar políticas con respecto a la transferencia de los pacientes (víctimas o pacientes estabilizados para crear la capacidad de reacción), o la asignación de más recursos médicos en los hospitales que pueden convertirse en un hub de la red, analizando el modelo original de Bull (2012):

El conjunto de restricciones se mantiene con el modelo propuesto por Bull (2012), en orden para explicar el conjunta de restricciones es la siguiente: La ecuación (4.1) define el número de víctimas transportadas a hospitales de niños (i) y los hospitales de adultos (j) deben ser igual al número de víctimas en el desastre o incidente de tamaño l.

$$\sum_i^4 X_{li} + \sum_j^{15} X_{lj} = V_l \quad (4.1)$$

La ecuación (4.2) establece que el número de niños transportados a los hospitales de niños (i) debe ser menor o igual al porcentaje de niños víctimas (pacientes) en el desastre.

$$\sum_i^4 X_{li} \leq \text{PofC} * V_l \quad (4.2)$$

Además, las siguientes restricciones (4.3) y (4.4) limita el número de víctimas adultas y niños transportados de un hospital de adulto y de un hospital de niños respectivamente, de acuerdo con la capacidad disponible en el sector de urgencias de esos hospitales.

$$X_{lj} \leq \text{FCP} * C_j \quad (4.3)$$

$$X_{li} \leq \text{FCP} * C_i \quad (4.4)$$

El primer objetivo es minimizar la distancia de traslado independiente del tipo de hospital (4.5).

$$\text{Minimizar } f_1(X) = \sum_h^{19} d_{1h} X_{lh} \quad (4.5)$$

El segundo objetivo es maximizar el número de servicios en promedio ofrecido por los hospitales independiente del tipo de hospital, el valor 30 es sólo para generar un orden de magnitud similar a los demás objetivos (4.6).

$$\text{Maximizar } f_2(X) = 30 \sum_h^{19} s_h X_{1h} \quad (4.6)$$

El tercer objetivo es minimizar la capacidad ociosa de hospitales de niños (4.7), el valor V_l es sólo para generar un orden de magnitud similar a los demás objetivos.

$$\text{Minimizar } f_3(X) = V_l (\sum_i^4 C_i - \sum_i^4 X_{li}) \quad (4.7)$$

El cuarto objetivo es minimizar el tiempo de espera promedio en hospitales de niños y adultos (4.8), se considera el valor promedio de tiempo de espera sólo para generar un orden de magnitud similar a los demás objetivos.

$$\text{Min } Z = (\sum_i^4 WTC_i X_{li} + \sum_j^{15} WTA_j X_{lj}) / V_l \quad (4.8)$$

La función objetivo del modelo a optimizar cuando el Hub son los centros turísticos propensos a un desastre de gran número de víctimas presentado por M. T. B., 2012 (4.9), si bien no posee una estandarización de las variables, existe algunos pesos relativos a las funciones a optimizar que hace que las funciones tengan un orden de magnitud similar, pero de difícil interpretación, debido a esto se propone estandarizar las variables de la función objetivo con el fin de generar redes que contemplen un peso relativo a los datos globales como se verá en la sección 4.2, la función objetivo del modelo original es la siguiente.

$$\text{Min } Z = \sum_h^{19} d_{1h} X_{lh} - 30 \sum_h^{19} s_h X_{1h} + V_l (\sum_i^4 C_i - \sum_i^4 X_{li}) + (\sum_i^4 WTC_i X_{li} + \sum_j^{15} WTA_j X_{lj}) / V_l \quad (4.9)$$

Sujeto a:

$$\sum_i^4 X_{li} + \sum_j^{15} X_{lj} = V_l$$

$$\sum_i^4 X_{li} \leq \text{PofC} * V_l$$

$$X_{lj} \leq \text{FCP} * C_j$$

$$X_{li} \leq \text{FCP} * C_i$$

$$X_{li} \geq 0$$

Donde:

h: hospital en Orlando (1,..., 19)

l: hub centro turístico (1,..., 12)

i: hospital de niño (1,...,4)

j: hospital de adulto (1,...,15)

X_{lh} : número de víctimas transportadas del hub hospital l al hospital h

d_{lh} : distancia del hub hospital l al hospital h

s_h : promedio de servicios en hospital h

V_l : víctimas (pacientes) en hub hospital l

C_h : capacidad de sector de emergencia (ED) en hospital h

C_j : capacidad de camas de adultas en hospital j

C_i : capacidad de camas de niños en hospital i

WTC_i : tiempo de espera en hospital de niño i

WTA_j : tiempo de espera en hospital de adulto j

PofC: porcentaje de niños (0.2)

FCP: capacidad disponible en sector de urgencias (ED) (0.47)

4.2 Descripción del modelo propuesto.

Modelo en el cual los hub son los 13 hospitales (sólo de adultos) con área de urgencias disponible, ocurriendo un traslado para cada hub a algunos de los 16 hospitales (13 de adultos y 3 de niños) con áreas disponibles de urgencias, para minimizar la distancia de recorrido entre el hub y los hospitales de niños y adultos, maximizar la cantidad de servicio en promedio ofrecidos por los hospitales de niños y adultos, disminuir el tiempo de espera de urgencias en hospitales de niños y adultos, y que los niños tengan una cierta prioridad de atención en los hospitales de niños, con la restricción que las víctimas de la asignación estén en función de la capacidad de camas. Es esencial el conocimiento de estas variables con el fin de identificar posibles agrupamientos de hospital en caso de ocurrencia de desastres. Esta identificación es importante porque ayudará a los directores de emergencias para desarrollar políticas con respecto a la transferencia de los pacientes (víctimas o pacientes estabilizados para crear la capacidad de reacción), o la asignación de más recursos médicos en los hospitales que pueden convertirse en un hub de la red.

La red es un grafo en el que cada nodo "h" del conjunto de nodos "N" representa los hospitales, y el nodo "I" representa el hub-hospital. Entonces, cada arco (I,h) del conjunto de arcos "A" representa la distancia d_{Ih} entre el hub-hospital "I" y el hospital "h". La inclusión de los hospitales en una red responde a las siguientes características: (1) las distancias entre el hub hospital y el resto de los hospitales, (2) el promedio de servicios, (3) el tiempo de espera promedio en ED, y (4) la capacidad disponible de camas en su ED. Tres tamaños diferentes de desastre se definen para cada uno de los trece hospitales en Orlando, que pueden ser Hub.

En este modelo, la variable X_{Ih} representa el número de víctimas transportadas del hub-hospital "I" al hospital "h". Si X_{Ih} es mayor que cero, cuando el hospital "h" es parte de la red pseudo-óptima. El total de hospitales disponibles en Orlando son 19, de los cuales 4 son hospitales para niños y 15 hospitales son para adultos. Sin embargo, sólo 16 hospitales poseen ED (13 de adultos y 3 de niños). Un modelo de programación matemática identifica

la red hospitalaria pseudo-óptima, 13 son los hospitales (todos de adultos) que representan al hub “1”.

El conjunto de restricciones se conserva con respecto a Bull (2012), las cuales fueron explicadas en la sección anterior 4.1.

El primer objetivo (4.5) para generar redes pseudo-óptimas busca minimizar la distancia al transportar víctimas del hub-centros turísticos a hospitales de niños o adultos, con la variable distancia estandarizada.

$$\text{Minimizar } f_1(X) = \sum_i^4 \left(\frac{\min d_{1i} - d_{1i}}{\min d_{1i} - \max d_{1i}} \right) X_{1i} + \sum_j^{15} \left(\frac{\min d_{1j} - d_{1j}}{\min d_{1j} - \max d_{1j}} \right) X_{1j} \quad (4.5)$$

El Segundo objetivo (4.6) es incluir los hospitales que proporcionan más servicios, con la variable promedio de servicios estandarizados.

$$\text{Maximizar } f_2(X) = \sum_i^4 \left(\frac{\min s_i - s_i}{\min s_i - \max s_i} \right) X_{1i} - \sum_j^{15} \left(\frac{\min s_j - s_j}{\min s_j - \max s_j} \right) X_{1j} \quad (4.6)$$

El tercer objetivo (4.7) es la asignación de los niños dentro de los hospitales de niños con una cierta prioridad, con la variable capacidad de camas en urgencias para hospitales de niños y proporción de niños enviados a hospitales de niños estandarizadas.

$$\text{Minimizar } f_3(X) = \sum_i^4 \left(\frac{\min c_i - c_i}{\min c_i - \max c_i} \right) - \sum_i^4 \left(\frac{X_{1i}}{PofC*V_i} \right) \quad (4.7)$$

El cuarto objetivo (4.8) busca incluir en la red, hospitales que presenten menor tiempo de espera en ED, con las variables Tiempo de espera estandarizado en urgencias en hospitales de niños y adultos.

$$\text{Minimizar } f_4(X) = \sum_i^4 \left(\frac{\min WTC_i - WTC_i}{\min WTC_i - \max WTC_i} \right) X_{li} + \sum_j^{15} \left(\frac{\min WTA_j - WTA_j}{\min WTA_j - \max WTA_j} \right) X_{lj} \quad (4.8)$$

Entonces, el problema a resolver tiene múltiples objetivos estandarizados (4.9),

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_i^4 \left(\frac{\min d_{li} - d_{li}}{\min d_{li} - \max d_{li}} \right) X_{li} + \sum_j^{15} \left(\frac{\min d_{lj} - d_{lj}}{\min d_{lj} - \max d_{lj}} \right) X_{lj} - \sum_i^4 \left(\frac{\min s_i - s_i}{\min s_i - \max s_i} \right) X_{li} - \\ & \sum_j^{15} \left(\frac{\min s_j - s_j}{\min s_j - \max s_j} \right) X_{lj} + \left(\sum_i^4 \left(\frac{\min c_i - c_i}{\min c_i - \max c_i} \right) - \sum_i^4 \left(\frac{X_{li}}{\text{PofC} * V_l} \right) \right) + \sum_i^4 \left(\frac{\min WTC_i - WTC_i}{\min WTC_i - \max WTC_i} \right) X_{li} + \\ & \sum_j^{15} \left(\frac{\min WTA_j - WTA_j}{\min WTA_j - \max WTA_j} \right) X_{lj} \quad (4.9) \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\sum_i^4 X_{li} + \sum_j^{15} X_{lj} = V_l$$

$$\sum_i^4 X_{li} \leq \text{PofC} * V_l$$

$$X_{lj} \leq \text{FCP} * C_j$$

$$X_{li} \leq \text{FCP} * C_i$$

$$X_{li} \geq 0$$

Donde:

h: hospital en Orlando (1, ..., 19)

l: hub centro turístico (1, ..., 12)

i: hospital de niño (1, ..., 4)

j: hospital de adulto (1, ..., 15)

X_{lh} : número de víctimas transportadas del hub hospital l al hospital h

d_{lh} : distancia del hub hospital l al hospital h

s_h : promedio de servicios en hospital h

¹¹ Donde Min y Max que acompañan a cada variable, corresponden al menor y mayor valor de cada variable.

V_1 : víctimas (pacientes) en hub hospital 1
 C_h : capacidad de sector de emergencia (ED) en hospital h
 C_j : capacidad de camas de adultas en hospital j
 C_i : capacidad de camas de niños en hospital i
 WTC_i : tiempo de espera en hospital de niño i
 WTA_j : tiempo de espera en hospital de adulto j
 $PofC$: porcentaje de niños (0.2)
 FCP : capacidad disponible en sector de urgencias (ED) (0.47)

El problema de optimización descrito en la sección 4.1 identifica una red pseudo-óptima para cada hub hospital predefinido en Orlando para cada tamaño de desastres definido. Las distancias desde cada hub-hospital hacia el resto de los hospitales cambian en cada caso para definir las redes pseudo-óptima. Esta investigación utiliza LINGO® para implementar el modelo de optimización (véase Anexo 4).

Por ejemplo, la primera fila se lee de la siguiente manera: Central Florida Regional Hospital es el hub-hospital donde se distribuyen 50 pacientes o víctimas a 4 hospitales, que se encuentran dentro del rango de 14.71 millas. Los 3 hospitales ofrecen en general un promedio de 0.93 de proporción de servicios, un paciente tiene que esperar en la sala de urgencias un promedio de 27.16 minutos antes de que pueda recibir atención médica. En esta red, no hay niños asignados a un hospital de un adulto, 0 pacientes son atendidos en esta red en una distancia menor a 40 millas, el valor de la función objetivo es de -23.29 y el tiempo de ejecución para resolver esta red es de 0.34 segundos. Entonces, la última fila se puede leer, de la siguiente manera: Winter Park es el hub-hospital donde se distribuyen 250 pacientes o víctimas a 16 hospitales, que se encuentran dentro del rango de 15.98 millas. Estos 16 hospitales ofrecen en general un promedio de 0.82 de proporción de servicios, un paciente tiene que esperar en la sala de urgencias un promedio de 30.24 minutos antes de que pueda recibir atención médica. En esta red, hay 14 niños asignados a un hospital de un adulto, 181 pacientes son atendidos en esta red en una distancia menor a 40 millas, el valor

de la función objetivo es de 7.39 y el tiempo de ejecución para resolver esta red es de 0.23 segundos.

Las Tablas 10, 11 y 12, presentan el valor de la función objetivo, este valor no se puede interpretar debido a que en la estandarización de 5.23, se logra una estandarización numérica, no así en su unidad de medida.

Tabla 10. Resultados de cada hub hospital, para un tamaño de desastre de 50 víctimas.

Redes hospitalarias (hub-hospital)	# Víctimas	# Hospitales	Prom. Distancia	Prom. Servicios	Prom. Tiempo de Espera	# Niños	# Víctimas ubicadas (menos de 40 millas)¹²	Función Objetivo	Tiempo de Ejecución (s)
Central Florida Regional Hospital	50	4	14.71	0.93	27.16	0	0	-23.29	0.34
Dr. P. Phillips Hospital	50	4	8.78	0.88	24.70	0	50	-24.43	0.36
Florida Hospital Apopka	50	4	13.52	0.95	37.78	0	7	-18.11	1.10
Florida Hospital Celebration	50	4	19.14	0.88	24.70	0	35	-7.37	0.28
Florida Hospital East Orlando	50	3	5.74	0.94	39.58	0	50	-24.54	0.31
Florida Hospital Orlando	50	3	3.43	1.00	48.28	0	50	-24.28	0.38
Florida Hospital Waterman	50	5	24.58	0.84	20.50	0	0	-15.28	0.45
Health Central	50	4	10.80	0.89	23.74	0	50	-20.74	0.31
Orlando Regional Medical Center	50	3	4.41	0.98	46.18	0	50	-23.24	0.30
South Lake Hospital	50	5	17.47	0.84	22.90	0	14	-16.46	0.37
South Seminole	50	4	11.50	0.84	18.28	0	14	-18.57	0.31

¹² Las víctimas ubicadas en menos de 40 millas corresponden a las víctimas en que su traslado del hub-centro turístico hacia algún hospital no supera las 40 millas.

Hospital									
St Cloud Regional Medical Center	50	4	23.66	0.84	19.94	0	7	-7.69	0.70
Winter Park Memorial Hospital	50	3	4.87	0.92	39.04	0	50	-20.78	0.46

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 11 muestra los resultados de cada hub-centro turístico, donde se puede apreciar el crecimiento de los hospitales involucrados en cada red pseudo-óptima.

Tabla 11. Resultados de cada hub hospital, para un tamaño de desastre de 150 víctimas.

Redes hospitalarias (hub-hospital)	# Víctimas	# Hospitales	Prom. Distancia	Prom. Servicios	Prom. Tiempo de Espera	# Niños	# Víctimas ubicadas (menos de 40 millas)	Función Objetivo	Tiempo de Ejecución (s)
Central Florida Regional Hospital	150	9	22.42	0.85	27.64	15	0	-20.54	0.45
Dr. P. Phillips Hospital	150	9	14.14	0.88	33.45	1	150	-31.51	0.31
Florida Hospital Apopka	150	10	18.33	0.87	27.89	1	7	-19.43	0.69
Florida Hospital Celebration	150	10	22.57	0.86	34.90	15	109	4.57	0.22
Florida Hospital East Orlando	150	9	13.42	0.88	28.40	6	135	-44.27	0.29
Florida Hospital Orlando	150	9	9.92	0.88	30.92	15	150	-39.66	0.34
Florida Hospital Waterman	150	9	35.44	0.86	27.33	7	0	-10.01	0.33
Health Central	150	10	14.74	0.87	29.91	1	114	-19.19	0.34
Orlando Regional Medical Center	150	9	6.61	0.88	36.25	11	128	-46.22	0.42
South Lake Hospital	150	9	27.50	0.86	29.01	1	14	-5.71	0.59

South Seminole Hospital	150	9	15.72	0.87	28.41	15	0	-25.56	0.22
St Cloud Regional Medical Center	150	10	33.35	0.87	29.05	15	0	2.94	0.49
Winter Park Memorial Hospital	150	9	12.46	0.87	28.64	15	121	-33.83	0.22

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 12, la cantidad de hospitales en la red pseudo-óptima es completa. Es decir, no existe ningún hospital que no tenga algún paciente

Tabla 12. Resultados de cada hub hospital, para un tamaño de desastre de 250 víctimas.

Redes hospitalarias (hub-hospital)	# Víctimas	# Hospitales	Prom. Distancia	Prom. Servicios	Prom. Tiempo de Espera	# Niños	# Víctimas ubicadas (menos de 40 millas)	Función Objetivo	Tiempo de Ejecución (s)
Central Florida Regional Hospital	250	16	29.20	0.82	30.24	14	0	26.54	0.30
Dr. P. Phillips Hospital	250	16	27.77	0.82	30.68	14	198	7.06	0.23
Florida Hospital Apopka	250	16	13.40	0.82	30.68	14	7	-17.05	0.28
Florida Hospital Celebration	250	16	21.22	0.82	30.24	14	133	15.54	0.35
Florida Hospital East Orlando	250	16	28.72	0.82	30.11	17	159	58.23	0.22
Florida Hospital Orlando	250	16	18.54	0.82	30.24	14	213	-8.67	0.32
Florida Hospital Waterman	250	16	13.31	0.82	30.24	14	0	-2.53	0.25
Health Central	250	16	19.41	0.82	30.11	17	181	-24.37	0.25
Orlando Regional Medical Center	250	16	14.16	0.82	30.11	17	191	-12.66	0.25
South Lake Hospital	250	16	32.44	0.82	30.24	14	14	41.94	0.31
South Seminole	250	16	20.12	0.82	30.24	14	14	21.80	0.22

Hospital									
St Cloud Regional Medical Center	250	16	34.62	0.82	30.11	17	7	54.16	0.45
Winter Park Memorial Hospital	250	16	15.98	0.82	30.24	14	181	7.39	0.23

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 muestra la frecuencia de cada hospital en una red pseudo-óptima, de acuerdo con el tamaño de la catástrofe. Esta tabla identifica diez¹³ hospitales de cada dieciséis hospitales que se ajustan mejor dentro de la red de pseudo-óptima previamente analizados (Arnold Palmer Hospital for Children, Dr. P. Phillips Hospital, Florida Hospital Orlando, Health Central, Florida Hospital East Orlando, Winter Park Memorial Hospital, Orlando Regional Medical Center, Florida Hospital Apopka, Winnie Palmer Hospital y Hospital Celebration health). Además, es importante tener en cuenta que dentro de los hospitales para los niños Arnold Palmer Hospital for Children y Winnie Palmer Hospital destacan frente a los demás debido a que este modelo de optimización asigna a los niños a los hospitales para los niños con una cierta prioridad, haciendo posible en caso de que fuese conveniente una asignación a hospitales de adultos.

Tabla 13. Frecuencia de Hospitales para hub-hospitales.

	Nombre del Hospital (Sector de Urgencias)	Small	Medium	Large
1	Arnold Palmer Hospital for Children	13	13	13
2	Florida Hospital for Children	3	8	13
3	Florida Hospital Orlando	5	12	13
4	Orlando Regional Medical Center	7	13	13
5	Winnie Palmer Hospital	2	12	13
6	Winter Park Memorial Hospital	0	0	13
7	Dr. P. Phillips Hospital	8	13	13
8	Health Central	1	3	13
9	Florida Hospital Apopka	7	13	13
10	South Seminole Hospital	0	1	13
11	Florida Hospital East Orlando	0	6	13

¹³ Superan el 50% de presencia en las redes

12	South Lake Hospital	1	3	13
13	Florida Hospital Waterman	1	4	13
14	Hospital Celebration health	1	2	13
15	Central Florida Regional Hospital	0	7	13
16	St. Cloud Regional Medical Center	1	11	13

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Comparación con modelo antiguo.

Se realiza una comparación entre los resultados de las redes hospitalarias pseudo-óptimas propuestas por Bull (2012) y las generadas en esta investigación, usando una diferencia en los resultados:

Resultados generados en esta investigación – Resultados generados por Bull (2012)

A modo de ejemplo se interpreta la comparación entre las redes de Bull (2012) y las generadas en esta investigación, para el Hub Central Florida Regional Hospital, en una instancia de 50 pacientes ver Tabla 14.

La diferencia de pacientes asignados en ambas redes es 0. Es decir, no queda ningún paciente sin atender, la cantidad de hospitales de la red pseudo-óptima disminuye en 1, la distancia promedio recorrida aumenta en 3.96 millas, el número servicio en promedio por los hospitales aumenta en 0.13%, el tiempo de espera en urgencias aumenta en 7.00 minutos, la cantidad de niños atendidos en hospitales para adultos se mantiene en 0 y la diferencia de la cantidad de pacientes atendidos en menos de 40 millas es 0 pacientes.

Tabla 14. Diferencia de resultados para redes hub-hospitales.

Redes Hospitalarias (hub-hospital)	Tamaño	# Víctimas	# Hospitales	Distancia Prom.	Servicios Prom.	Tiempo de espera Prom.	# Niños	Víctimas ubicadas (menos de 40 millas)
Central Florida Regional Hospital	50	0	-1	3.32	0.13	7.00	0	0
Dr. P. Phillips Hospital	50	0	0	1.47	0.06	-7.08	0	0
Florida Hospital Apopka	50	0	-2	1.13	0.11	9.52	0	-14
Florida Hospital Celebration	50	0	0	6.72	0.08	-1.48	0	-15
Florida Hospital East Orlando	50	0	-1	0.78	0.12	12.64	0	0
Florida Hospital Orlando	50	0	-1	2.27	0.06	2.10	0	0
Florida Hospital Waterman	50	0	-1	3.66	0.08	-0.80	0	0
Health Central	50	0	-1	0.86	-0.03	-16.28	0	0
Orlando Regional Medical Center	50	0	0	3.05	0.08	-2.46	0	0
South Lake Hospital	50	0	0	0.94	0.08	2.68	0	0
South Seminole Hospital	50	0	0	2.96	-0.04	-21.04	0	0
St Cloud Regional Medical Center	50	0	0	3.04	0.04	-6.24	0	0
Winter Park Memorial Hospital	50	0	-1	0.59	0.02	-2.24	0	0
Central Florida Regional Hospital	150	0	-2	1.96	0.00	-0.50	15	0
Dr. P. Phillips Hospital	150	0	0	1.68	0.02	-3.36	1	0
Florida Hospital Apopka	150	0	0	1.97	0.01	-6.92	1	-14
Florida Hospital Celebration	150	0	0	2.25	0.00	-2.59	15	-21
Florida Hospital East Orlando	150	0	0	3.73	0.02	-5.85	6	5
Florida Hospital Orlando	150	0	-1	3.61	0.02	-4.31	15	0
Florida Hospital Waterman	150	0	-2	2.45	0.03	-2.76	7	0
Health Central	150	0	0	0.78	-0.01	-6.15	1	-36
Orlando Regional Medical Center	150	0	0	1.29	0.01	1.49	11	-22
South Lake Hospital	150	0	-1	0.89	0.00	-3.56	1	0
South Seminole Hospital	150	0	-1	2.34	0.00	-4.95	15	-14
St Cloud Regional Medical Center	150	0	0	7.25	0.01	-7.79	15	-7
Winter Park Memorial Hospital	150	0	-1	3.79	0.00	-7.17	15	-29
Central Florida Regional Hospital	250	0	0	2.86	0.00	0.44	0	0
Dr. P. Phillips Hospital	250	0	0	0.39	0.00	0.00	0	-3
Florida Hospital Apopka	250	0	0	0.07	0.00	0.89	0	-14
Florida Hospital Celebration	250	0	0	0.35	0.00	0.28	0	-3
Florida Hospital East Orlando	250	0	0	0.20	0.00	0.15	3	20
Florida Hospital Orlando	250	0	0	0.16	0.00	0.40	0	-3
Florida Hospital Waterman	250	0	0	0.92	0.00	0.44	0	0
Health Central	250	0	0	0.09	0.00	0.26	3	0
Orlando Regional Medical Center	250	0	0	0.46	0.00	0.26	3	-3
South Lake Hospital	250	0	0	0.19	0.00	0.40	0	0
South Seminole Hospital	250	0	0	0.07	0.00	0.84	0	0
St Cloud Regional Medical Center	250	0	0	0.40	0.00	0.26	3	0
Winter Park Memorial Hospital	250	0	0	0.13	0.00	0.40	0	0

Fuente: Elaboración Propia.

Cuando los hub son hospitales y ocurre un traslado desde el hub a algunos de los hospitales, la comparación de las redes pseudo-óptimas generadas en esta investigación y las del modelo original de Bull (2012) (revisar Anexo 5), se puede decir que:

- El número de víctimas asignadas por el modelo son iguales, esto quiere decir que ambos modelos asignan la totalidad de pacientes a hospitales (50 pacientes, 150 pacientes y 250 pacientes), no queda ningún paciente sin atender.
- El número de hospitales que se encuentran en las redes pseudo-óptimas disminuye para instancias de 50 pacientes y 150 pacientes, para 250 pacientes mantiene.
- La distancia promedio recorrida aumenta, para el hospital St Cloud cuando existen 150 pacientes es el hospital que más aumenta su distancia en promedio recorrida, pero disminuye considerablemente su tiempo de espera en ED.
- El número de servicio en promedio ofrecido por los hospitales aumenta, en comparación al modelo original.
- El tiempo de espera en urgencias disminuye con respecto al modelo original.
- La cantidad de niños atendidos en hospitales de adultos son iguales para la instancia de 50 pacientes y diferentes para 150 pacientes y 250 pacientes.
- La cantidad de pacientes atendidos en menos de 40 millas del hub disminuye con respecto al modelo original.

El resultado es lógico puesto que cuando los Hub son los hospitales, el número de hospitales debiese ser pequeño, puesto que, al estar en un desastre de tamaño 50, 150 o 250 pacientes es preferible llenar los cupos de los hospitales que tienen espacio para atender a los heridos, disminuyendo así esfuerzos logísticos y de algunos recursos como ambulancias, la distancia promedio recorrida, debiese ser pequeña debido a que hay un menor tiempo de traslado a hospitales aumentan en comparación a Bull (2012), la cantidad de servicios ofrecidos por los hospitales debe ser alta, ya que los pacientes pueden presentar diversas complejidades que debiesen ser atendidas en hospitales especializados, el tiempo de espera en urgencias debiese ser bajo pero lo suficiente para atender a cada paciente para que quede estable, la cantidad de niños atendidos en hospitales de adultos debiese ser baja, debido a que hospitales de niños poseen insumos, materiales equipo y recurso humano apto para atender a niños. Sin embargo, factores como la distancia, tiempo de espera en urgencia, servicios ofrecidos por los hospitales, capacidad de camas disponibles hacen que

sea más eficiente atender a niños en hospitales de adultos cuando el desastre es de 150 o 250 pacientes y la cantidad de pacientes atendidos en menos de 40 millas debiese ser máxima o bordeando el máximo. Del punto de vista que el Hub son los hospitales los cuales por lo general llenan su capacidad antes de trasladar a otros hospitales cercanos de buen promedio de servicio y con bajo tiempo de espera, es factible que aumente la distancia recorrida ya que pueden ser atendidos desde el hospital que hace hub antes de un traslado.

Capítulo 5: Resultados conjuntos.

Existe cierta dificultad para determinar qué modelo es mejor que otro, debido a que nos encontramos en un problema multicriterio, donde los resultados pueden ser mejores en algunos criterios, pero peores en otros, como se pudo ver en los Capítulos 3 y 4, debido a esto se considera el resultado de víctimas asignadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 minutos como criterio decisivo para determinar qué modelo presentado es mejor, además de analizar los hospitales con mayor frecuencia dentro de las redes pseudo-óptimas

5.1 Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 minutos

Las tablas 15, 17 y 19 muestran la cantidad Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min para un tamaño de desastre de 50 pacientes, 150 pacientes y 250 pacientes, para cada hub (hospital o centro turístico), con el fin de comparar los resultados de esta investigación con los de Bull (2012).

A modo de interpretación, analizando el hub-centro turístico Airport en un tamaño de 50 víctimas presenta 50 personas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min para el modelo de Bull (2012) y 17 personas para el modelo generado en esta investigación.

Tabla 15. Cantidad de Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min para un tamaño de desastre de 50 personas¹⁴.

Redes Hospitalarias (hub-hospital and hub-centro turístico)	Tamaño	Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min	Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min*
Airport	50	50	17
Amway Center	50	50	47
Animal Kingdom	50	50	45
Epcot	50	50	45
Florida Citrus Bowl Stadium	50	50	17
Florida Mall	50	50	30
Hollywood Studios	50	50	45
Magic Kingdom	50	50	45
Mall At Millennia	50	50	30
Orange County Convention Center	50	50	30
SeaWorld	50	50	30
Universal	50	50	45
Central Florida Regional Hospital	50	0	0
Dr. P. Phillips Hospital	50	30	45
Florida Hospital Apopka	50	0	0
Florida Hospital Celebration	50	37	30
Florida Hospital East Orlando	50	39	27
Florida Hospital Orlando	50	10	10
Florida Hospital Waterman	50	0	0
Health Central	50	18	43
Orlando Regional Medical Center	50	10	17
South Lake Hospital	50	14	14
South Seminole Hospital	50	14	14
St Cloud Regional Medical Center	50	7	7
Winter Park Memorial Hospital	50	15	22

Fuente: Elaboración propia.

¹⁴ * Resultados generados en esta investigación

A simple vista se puede ver que los resultados generados en este modelo son menores y diferentes a los de Bull (2012), pero es necesario analizarlo de manera estadísticamente, por lo tanto, usando la herramienta de Microsoft Excel, llamada Análisis de datos y siguiendo lo propuesto por Devore (2008) (Sección 2.4), se procede a realizar una prueba de hipótesis para corroborar que los datos generados por ambos modelos son diferentes, como se puede ver en las tablas 16, 18 y 20.

A modo de interpretación la media de Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min es de 31.76 para el modelo de Bull (2012) y de 26.20 para el modelo generado en esta investigación, la varianza es la medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de la variable respecto a su media corresponde 390.50 y 246.70 respectivamente, el número de observaciones es 25 para las dos muestras, se quiere probar la diferencia de medias por lo tanto esta debe ser diferente de 0, el estadístico de prueba z es de 1.10, dado los supuestos que se plantearon en la sección 2.4 se analiza sólo la parte de dos colas, comparando el estadístico de prueba con el valor crítico de z (dos colas) que corresponde 1.96.

Tabla 16. Prueba z para dos muestras suponiendo varianzas desiguales en un tamaño de desastre de 50 víctimas.

	<i>Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min</i>	<i>Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min*</i>
Media	31.76	26.20
Varianza (conocida)	390.50	246.70
Observaciones	25	25
Diferencia hipotética de las medias	0	
z	1.10	
P(Z<=z) una cola	0.14	
Valor crítico de z (una cola)	1.64	
Valor crítico de z (dos colas)	0.27	
Valor crítico de z (dos colas)	1.96	

Fuente: Elaboración propia.

Como el valor del estadístico de prueba z es menor que el valor crítico de z ($1.10 < 1.96$), entonces no existe evidencia suficiente para rechazar H_0 en función de H_1 con nivel de significancia de 5%, por lo tanto, no se puede asumir como diferentes los resultados de Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min, para 50 pacientes.

Tabla 17. Cantidad de Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min para un tamaño de desastre de 150 personas.

Redes Hospitalarias (hub-hospital and hub-centro turístico)	Tamaño	Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min	Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min*
Airport	150	149	83
Amway Center	150	136	83
Animal Kingdom	150	126	107
Epcot	150	128	83
Florida Citrus Bowl Stadium	150	149	83
Florida Mall	150	149	101
Hollywood Studios	150	128	88
Magic Kingdom	150	128	88
Mall At Millennia	150	143	83
Orange County Convention Center	150	127	93
SeaWorld	150	129	107
Universal	150	149	94
Central Florida Regional Hospital	150	0	0
Dr. P. Phillips Hospital	150	76	97
Florida Hospital Apopka	150	0	0
Florida Hospital Celebration	150	50	49
Florida Hospital East Orlando	150	89	75
Florida Hospital Orlando	150	83	76
Florida Hospital Waterman	150	0	0
Health Central	150	76	74
Orlando Regional Medical Center	150	89	88
South Lake Hospital	150	14	14

South Seminole Hospital	150	14	0
St Cloud Regional Medical Center	150	7	0
Winter Park Memorial Hospital	150	76	79

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma se puede apreciar que los resultados generados son menores y diferentes a los generados por Bull (2012), se procede a realizar un test de medias para corroborar, ver Tabla 18.

Tabla 18. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales en un tamaño de desastre de 150 personas

	<i>Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min</i>	<i>Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min*</i>
Media	88.60	65.80
Varianza (conocida)	390.50	246.70
Observaciones	25	25
Diferencia hipotética de las medias	0	
z	4.52	
P(Z<=z) una cola	0.00	
Valor crítico de z (una cola)	1.64	
Valor crítico de z (dos colas)	0.00	
Valor crítico de z (dos colas)	1.96	

Fuente: Elaboración propia.

Como el valor del estadístico de prueba z es mayor que el valor crítico de z ($4.52 > 1.96$), entonces existe evidencia suficiente para rechazar H_0 en función de H_1 con nivel de significancia de 5%, por lo tanto, se puede asumir como diferentes los resultados de Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min, para 150 pacientes.

Tabla 19. Cantidad de Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min para un tamaño de desastre de 250 personas.

Redes Hospitalarias (hub-hospital and hub-centro turístico)	Tamaño	Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min	Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min*
Airport	250	150	150
Amway Center	250	136	136
Animal Kingdom	250	128	128
Epcot	250	128	128
Florida Citrus Bowl Stadium	250	166	163
Florida Mall	250	150	150
Hollywood Studios	250	128	128
Magic Kingdom	250	128	128
Mall At Millennia	250	143	143
Orange County Convention Center	250	128	128
SeaWorld	250	129	129
Universal	250	150	150
Central Florida Regional Hospital	250	0	0
Dr. P. Phillips Hospital	250	114	114
Florida Hospital Apopka	250	0	0
Florida Hospital Celebration	250	56	56
Florida Hospital East Orlando	250	92	92
Florida Hospital Orlando	250	129	129
Florida Hospital Waterman	250	0	0
Health Central	250	107	107
Orlando Regional Medical Center	250	107	107
South Lake Hospital	250	14	14
South Seminole Hospital	250	14	14
St Cloud Regional Medical Center	250	7	7
Winter Park Memorial Hospital	250	107	107

Fuente: Elaboración propia.

A simple vista los resultados se ven iguales se puede observar una sola diferencia en Florida Citrus Bowl Stadium, donde el modelo de Bull (2012) generó 3 Víctimas ubicadas

en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min en comparación al resultado de esta investigación, de igual modo se realizará un test de medias para corroborar.

Tabla 20. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales en un tamaño de desastre de 250 personas

	<i>Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min</i>	<i>Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min*</i>
Media	96.44	96.32
Varianza (conocida)	3042.80	3026.50
Observaciones	25	25
Diferencia hipotética de las medias	0	
z	0.01	
P(Z<=z) una cola	0.50	
Valor crítico de z (una cola)	1.64	
Valor crítico de z (dos colas)	0.99	
Valor crítico de z (dos colas)	1.96	

Fuente: Elaboración propia.

Como el valor del estadístico de prueba z es mayor que el valor crítico de z ($0.01 < 1.96$), entonces no existe evidencia suficiente para rechazar H_0 en función de H_1 con nivel de significancia de 5%, por lo tanto, no se puede asumir como diferentes los resultados de Víctimas ubicadas en menos de 40 millas y atendidas en menos de 30 min, para 250 pacientes.

5.2 Participación de hospitales.

La Tabla 2 muestran la frecuencia conjunta de cada hospital en una red de pseudo-óptima para ambos problemas de optimización. El primer problema es minimizar la distancia de traslado entre ubicación de posibles desastres y hospitales, y el segundo

problema es minimizar la distancia de traslado entre hospitales. Estos resultados ponen de manifiesto que diez de los dieciséis hospitales participan en más de un 50 por ciento del total de las redes de pseudo-óptima generados en las secciones anteriores de este capítulo. Debido a la imprevisibilidad de los desastres, estos diez hospitales deben desarrollar ejercicios conjuntos para mejorar el tiempo de respuesta y esfuerzos en un desastre de gran cantidad de víctimas, mientras que la investigación de Bull (2012) presenta catorce de los dieciséis hospitales superan una participación del 50 por cientos.

Tabla 21. Frecuencia conjunta de hospitales.

N°	Nombre del hospital	Redes hub-hospital			Redes hub-centros turísticos			Total	Participación	Participación*
		Pequeño	Mediano	Grande	Pequeño	Mediano	Grande			
1	Arnold Palmer Hospital for Children	13	13	13	12	12	12	75	100.00%	100.00%
2	Florida Hospital Orlando	8	13	13	7	12	12	65	64.00%	86.67%
3	Dr. P. Phillips Hospital	5	12	13	10	12	12	64	81.33%	85.33%
4	Health Central	7	13	13	5	12	12	62	50.67%	82.67%
5	Florida Hospital Apopka	7	13	13	2	8	12	55	56.00%	73.33%
6	Florida Hospital East Orlando	2	12	13	3	12	12	54	73.33%	72.00%
7	Winter Park Memorial Hospital	1	11	13	0	11	12	48	84.00%	64.00%
8	Orlando Regional Medical Center	0	6	13	3	8	12	42	61.33%	56.00%
9	Winnie Palmer Hospital	0	7	13	0	10	12	42	66.67%	56.00%
10	Central Florida Regional Hospital	3	8	13	0	2	12	38	54.67%	50.67%
11	Hospital Celebration health	0	1	13	1	5	12	32	48.00%	42.67%
12	St. Cloud Regional Medical Center	1	2	13	0	3	12	31	61.33%	41.33%
13	South Lake Hospital	1	3	13	0	1	12	30	41.33%	40.00%
14	South Seminole Hospital	1	4	13	0	0	12	30	62.67%	40.00%
15	Florida Hospital Waterman	1	3	13	0	0	12	29	53.33%	38.67%
16	Florida Hospital for Children	0	0	13	0	1	12	26	77.33%	34.67%

Fuente. Elaboración propia.

Además, una lista detallada de las redes pseudo-óptimas está disponible en el Anexo 5. La Tabla 22, presenta una muestra de las 75 redes óptimas calculadas en este capítulo. El nombre en la primera columna indica el hub de la red. La segunda columna indica el número de víctimas en el lugar del desastre. Las columnas restantes indican los hospitales de numerados del 1 al 16, y por debajo de estos números, el número de víctimas transportados a cada hospital. Por ejemplo, la segunda fila indica que un desastre se encuentra en el aeropuerto internacional de Orlando y el número de víctimas de transporte a

los hospitales es de 50. A continuación, se muestra que las víctimas se asignan en 3 hospitales: 7 víctimas a Florida Hospital East Orlando, 10 víctimas a Arnold Palmer hospital for Children y 33 víctimas a Florida Hospital Orlando.

Tabla 22. Muestra de redes hospitalarias pseudo-óptimas.¹⁵

	Redes Hospitalarias (hub-hospital y hub-centro turístico)	Tamaño	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Airport	50	7		10							33						
2	Amway Center	50	1 7		10	20						3						
3	Animal Kingdom	50			10	20								5		15		
4	Central Florida Regional Hospital	50			10		22					11		7				
5	Dr. P. Phillips Hospital	50			10	20						5				15		
6	Epcot	50			10	20						5				15		
7	Florida Citrus Bowl Stadium	50	7		10							33						

Fuente: Elaboración propia.

¹⁵ Florida Hospital East Orlando 1, Winter Park Memorial Hospital 2, Arnold Palmer Hospital for Children 3, Dr. P. Phillips Hospital 4, Central Florida Regional Hospital 5, Winnie Palmer Hospital for Women & Babies 6, South Seminole Hospital 7, St. Cloud Regional Medical Center 8, Orlando, Regional Medical Center 9, Florida Hospital Orlando 10, Florida Hospital for Children [2] 11, Florida Hospital Apopka: 12, Florida Hospital Celebration Health: 13, Health Central 14, South Lake hospital 15, Florida Hospital Waterman 16

Conclusiones

Esta investigación demostró que es posible crear redes hospitalarias usando una optimización de redes con valores estandarizados en la función objetivo y que dependiendo del tipo de modelo (hub-hospital o hub-centro turístico) muestra algunos criterios mejor que los de Bull (2012) y otros en los que no, los cuales se presentaron en esta sección, ahora bien, la generación de redes pseudo-óptimas es fundamental para administradores de emergencias y las instituciones de salud. Del mismo modo, esta metodología puede apoyar el interés de la JCAHO en promover planes de emergencia cooperativos entre los hospitales que prestan servicios a un área geográfica contigua, ya sea por el modelo de Bull (2012) o el generado en esta investigación.

Los dos modelos resueltos (hub-hospital y hub-centro turístico) ayudaron a identificar los hospitales más relevantes que deberían tener acuerdos de cooperación en caso de un desastre de masa. En el área de Orlando, la lista de hospitales con una alta frecuencia en la lista de redes pseudo-óptimas incluía los siguientes hospitales: Arnold Palmer Hospital for Children, Florida Hospital Orlando, Dr. P. Phillips Hospital, Health Central, Florida Hospital Apopka, Florida Hospital East Orlando, Winter Park Memorial Hospital, Orlando Regional Medical Center, Winnie Palmer Hospital, Central Florida Regional Hospital. Estos hospitales están dentro del 50.67% de presencia en todas las redes. Esta lista contiene 2 hospitales para niños, lo cual es un indicio de los más importantes en Orlando.

Basándose en los resultados presentados, se puede decir que:

- Se crea una función objetivo en la cual las variables a utilizar tienen una ponderación 0-1, tomando en consideración los datos globales es decir el mejor y peor valor para cada variable, a diferencia de la función objetivo anterior que agrega ciertos elementos de difícil interpretación.

- La cantidad de servicio ofrecido por los hospitales toma mayor relevancia, lo cual es fundamental debido que las víctimas pueden requerir de diversos servicios, tanto para cuando el hub son los hospitales o los posibles lugares propensos a un desastre de gran número de víctimas.
- La cantidad de hospitales incluidos en cada red disminuyó lo que facilita el uso de recursos desde los hospitales (recursos logísticos, ambulancias, entre otros), por lo que logra ocupar más la capacidad disponible de cada hospital.
- Los niños atendidos en hospitales de adultos aumentaron en tamaños superiores a 50 víctimas, debido al aporte del resto de las variables, lo cual hace que el problema sea más real.
- Se consideró como criterio decisivo la cantidad de víctimas ubicadas en menos de 40 millas del suceso del desastre y atendidas en menos de 30 minutos, donde tras realizar pruebas de hipótesis para diferencias de medias para cada tamaño de desastre, no existe evidencia suficiente para asumirlos como resultados diferentes con un nivel de significancia del 5% a excepción del análisis de 150 pacientes. Sin embargo, realizando un análisis más detallado por cada hub, en general para este resultado los generados por Bull (2012) son superiores a esta investigación, por lo tanto, este modelo no logró ser mejor que el de Bull (2012).

Investigación Futura.

Un potencial trabajo futuro ampliaría y mejoraría esta metodología para crear redes hospitalarias para desastres de gran cantidad de víctimas, incluye los siguientes aspectos:

I. Datos:

- a. Conocer más información con respecto a los hospitales, como el número de médicos, enfermeras, personal de salud general y características del hospital físicas del hospital.
- b. La definición de los servicios del hospital puede mejorarse utilizando indicadores de calidad o tamaño de los servicios. Por ejemplo, los servicios se pueden clasificar según el número y la calidad de los recursos disponibles en el hospital. En esta investigación, el criterio propuesto por Jánošíkova (2009) no permite discriminar entre los grandes departamentos hospitalarios y los pequeños departamentos hospitalarios.
- c. Actualizar información hasta el año 2016, contemplando los nuevos hospitales que se pueden incluir en las redes.

II. Generación de redes hospitalaria:

- a. Usar vectores ponderados para asignar relevancia a los diferentes objetivos. El trabajo de Jánošíkova (2009) es un ejemplo potencial para revisar en esta área.
- b. Es posible utilizar diferentes vectores ponderados en la función objetivo para estudiar la dependencia entre el peso asignado y las redes hospitalarias obtenidas. Esto puede ayudar a equilibrar los objetivos públicos y los objetivos privados dentro de las redes hospitalarias.
- c. Agregar restricciones en el modelo de optimización para que los niños si o si sean enviados a hospitales de niños, para que no exista la posibilidad de ser atendidos en hospitales de adultos.
- d. Ocupar cotas superiores e inferiores para algunas variables, con el fin de disminuir las posibilidades que pacientes sean atendidos en hospitales poco

eficientes o de cualidades muy bajas, puede ser sólo de las más importantes cómo distancia y tiempo de espera en la sala de urgencia.

- e. Ocupar otro método de estandarización, uno que considere el sentido de las funciones objetivos ya sea maximizar o minimizar y no uno genérico como el que se usó en esta investigación.
- f. Adaptar el problema para ocupar herramientas de análisis multivariado como análisis clúster, para generar redes de cooperación entre hospitales a modo de verificar cual es el criterio del método para agrupar hospitales.

III. Programación propuesta:

- a. Mejorar la programación en LINGO, de modo que calcule automáticamente los valores mínimos y máximos de cada variable a estandarizar.
- b. Automatizar la programación en LINGO, con tal que resuelva los 25 problemas de optimización de una sola vez (13 hub-hospital y 12 hub-centro turístico) para cada tamaño de desastre, debido a que actualmente es necesario situarse en alguno de los 25 hub para obtener, el número de pacientes asignados hacia algún hospital por el modelo, el número de hospitales en la red pseudo-óptima generada, distancia promedio, número de servicios en promedio, tiempo de espera en promedio, número de niños atendidos en hospitales de adultos, número de pacientes ubicados en menos de 40 millas y número de pacientes ubicados en menos de 40 millas y atendidos en menos de 30 min, para cada tamaño del desastre.

Anexos.

Anexo 1: Datos iniciales

Tabla 23. Ubicación de los Hospitales de Orlando.

	Nombre Completo	Nombre Corto	Long. (X)	Lat. (Y)	Propietario	Dirección	Condado
H1	Florida Hospital Orlando	FHO	-81.4	28.6	Florida Hospital	601 East Rollins Street* ¹⁶	Orange - Net
H2	Florida Hospital for Children [2]	FHC	-81.4	28.6	Florida Hospital	601 East Rollins Street*	Orange
H3	Florida Hospital Apopka	FHA	-81.5	28.7	Florida Hospital	North Park Av.	Orange - Net
H4	Florida Hospital East Orlando	FHEO	-81.3	28.5	Florida Hospital	7727 Lake Underhill Rd.	Orange - Net
H5	Winter Park Memorial Hospital	WPMH	-81.3	28.6	Florida Hospital	200 N. Lakemont Av.	Orange- Net
H6	Orlando Regional Medical Center	ORMC	-81.4	28.5	Orlando Regional	1414 Kuhl Avenue*	Orange - Net
H7	M. D. Anderson Cancer Center Orlando	MDACCO	-81.4	28.5	Orlando Regional	1414 Kuhl Avenue*	Orange
H8	Winnie Palmer Hospital for Women & Babies	WPHWB	-81.4	28.5	Orlando Regional	1414 Kuhl Avenue*	Orange
H9	Arnold Palmer Hospital for Children	APHC	-81.4	28.5	Orlando Regional	1414 Kuhl Avenue*	Orange - Net
H10	Dr. P. Phillips Hospital	DPPH	-81.5	28.4	Orlando Regional	9400 Turkey Lake Road	Orange - Net
H11	Orlando Regional Lucerne Hospital	LH	-81.4	28.5	Orlando Regional	818 Main Lane	Orange
H12	South Seminole Hospital	SSH	-81.4	28.7	Orlando Regional	555 W State Road 434	Seminole Net
H13	Nemours Children's Clinic Hospital	NCCH	-81.3	28.4	Nemours	13535 Nemours Parkway	Orange
H14	Health Central	HC	-81.5	28.5	Orlando Regional	10000 West Colonial Drive	Orange - Net
H15	South Lake hospital	SLH	-81.7	28.6	Orlando Regional	1900 Don Wickham Drive	Lake -Net

¹⁶ * Indica Hospitales que comparten ubicación

H16	Florida Hospital Celebration Health	FHCH	-81.5	28.3	Florida Hospital	400 Celebration Place	Osceola - Net
H17	Central Florida Regional Hospital	CFRH	-81.3	28.8	Hospital Corporation of America -HCA Holdings Inc	1401 West Seminole Blvd,	Seminole - Net
H18	Florida Hospital Waterman	FHW	-81.7	28.8	Florida Hospital	1000 Waterman Way	Lake -Net
H19	St. Cloud Regional Medical Center	SCRMC	-81.3	28.2	Orlando Regional	2906 17th Street	Osceola - Net

Fuente: Bull (2012), p. 52.

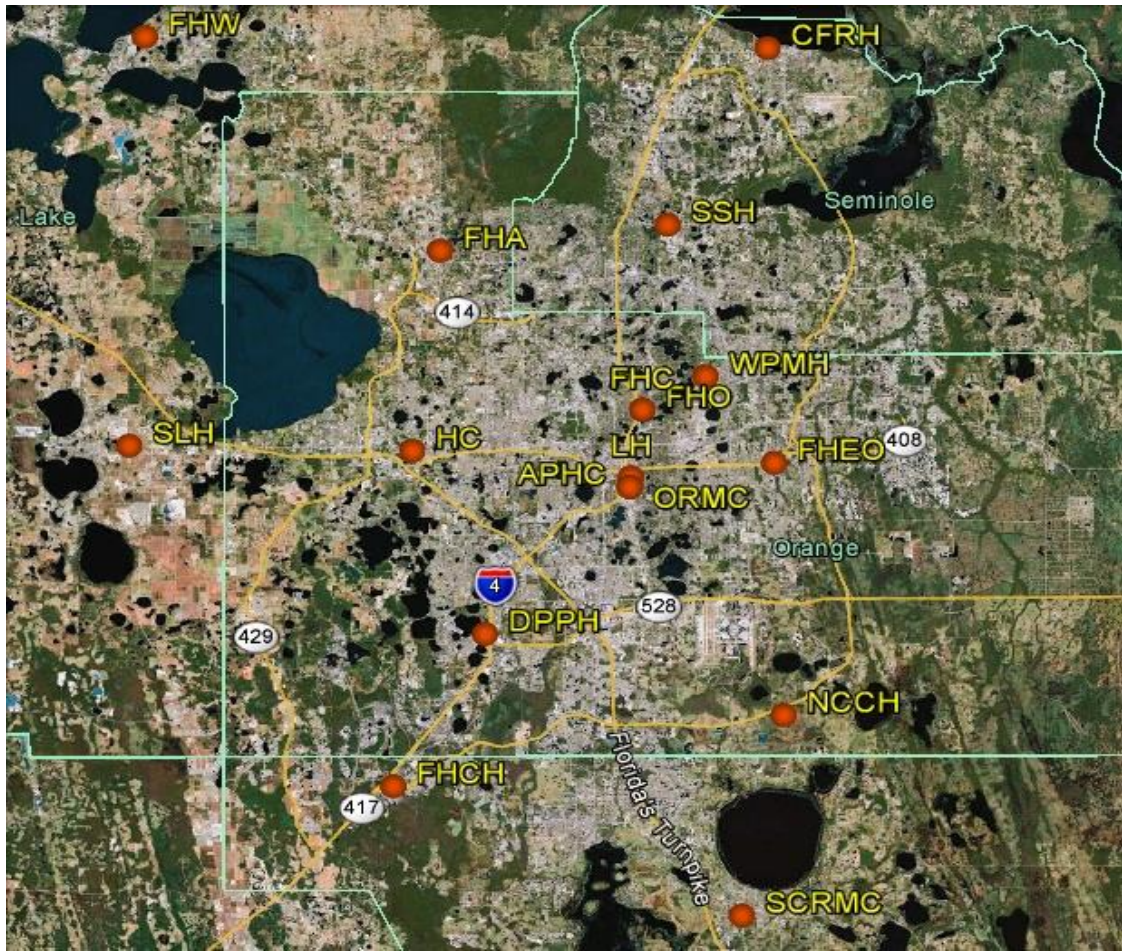


Figura 3. Ubicaciones de Hospitales en Orlando.

Fuente: Bull (2012), p.53.

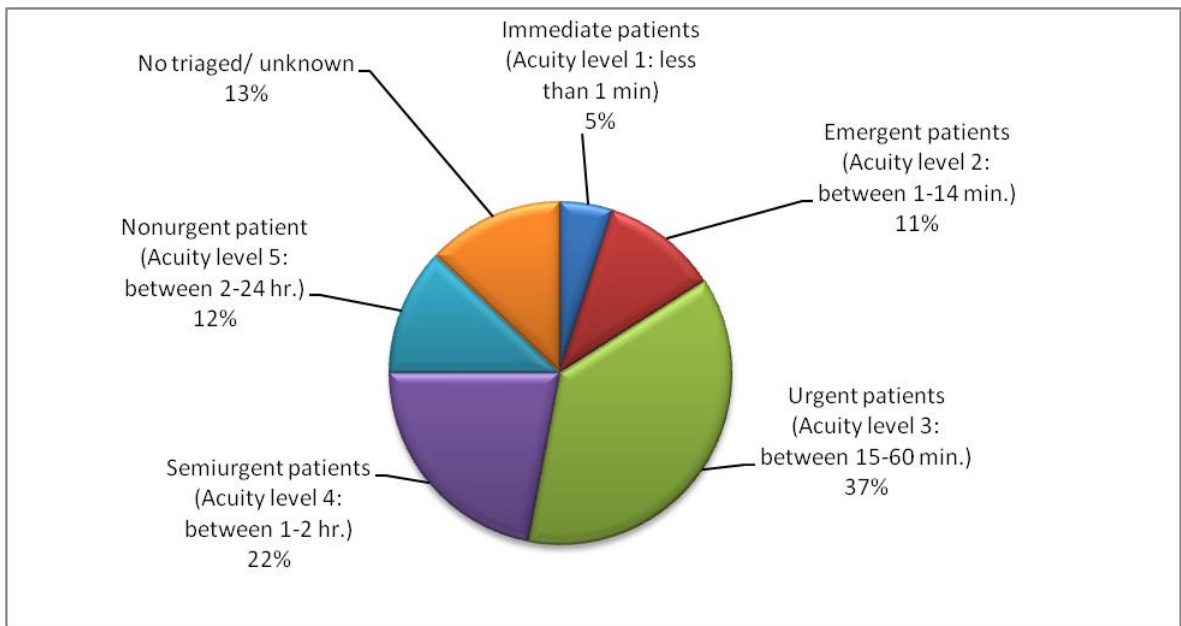


Figura 4. Porcentaje de pacientes de ED, según nivel de gravedad

Fuente: Bull (2012), p.56.

Tabla 24. Centros Turísticos

	Nombre Completo	Nombre Corto	Long.	Lat.	Dirección	Código postal	Condado
L1	Airport	AP	-81.3	28.4	1 Airport Blvd	32827	Orange
L2	Amway Center	AC	-81.4	28.5	400 West Church Street	32805	Orange
L3	Animal Kingdom	AK	-81.6	28.4	Bay Lake	32830	Orange
L4	Disney's Hollywood Studios	HST	-81.6	28.4	351 South Studio Dr.	32830	Orange
L5	Epcot	EP	-81.5	28.4	200 Epcot Center Drive	32830	Orange
L6	Florida Citrus Bowl Stadium	FCBS	-81.4	28.5	1610 West Church Street	32805	Orange
L7	Florida Mall	FM	-81.4	28.4	8001 S Orange Blossom Tr.	32809	Orange
L8	Magic Kingdom	MK	-81.6	28.4	1180 Seven Seas Drive	32830	Orange
L9	Mall at Millennia	MM	-81.4	28.5	4200 Conroy Road	32839	Orange
L10	Orange County Convention Center	OCCC	-81.5	28.4	9800 International Dr.	32869	Orange
L11	SeaWorld	SW	-81.5	28.4	7007 Sea Harbor Dr.	32821	Orange
L12	Universal	UV	-81.5	28.5	1000 Universal Blvd.	32819	Orange

Fuente: Bull (2012), p. 58.

Tabla 25. Estimación del número de personas en cada ubicación

#	Nombre Completo	Nombre Corto	Capacidad Max. o total de visitantes	Unidad	Visitantes por día	Ratio ¹⁷	Accedido entre Enero y Mayo del 2012
L1	Airport	AP	70,000	Día	70,000	4.6	http://www.orlandoairports.net/statistics/
L2	Amway Center	AC	17,248	Capacidad	17,248	1.1	http://www.amwaycenter.com/
L3	Animal Kingdom	AK	9,590,000	Año	26,274	1.7	http://www.inparkmagazine.com/issues/2009%20Theme%20Index%20Final%20webres.pdf
L4	Disney's Hollywood Studios	HST	9,700,000	Año	26,575	1.8	http://www.inparkmagazine.com/issues/2009%20Theme%20Index%20Final%20webres.pdf
L5	Epcot	EP	10,990,000	Año	30,110	2.0	http://www.inparkmagazine.com/issues/2009%20Theme%20Index%20Final%20webres.pdf
L6	Florida Citrus Bowl Stadium	FCBS	70,000	Capacidad	70,000	4.6	http://www.orlandovenues.net/other_info_files/faq_citrus.php
L7	Florida Mall	FM	12,960,000	Año	35,507	2.3	http://www.youtube.com/watch?v=mWq_kbyPOrE
L8	Magic Kingdom	MK	17,233,000	Año	47,214	3.1	http://www.inparkmagazine.com/issues/2009%20Theme%20Index%20Final%20webres.pdf
L9	Mall at Millennia	MM	10,000,000	Año	27,397	1.8	http://www.mallatmillenia.com/media-press/press-releases/2011/mall-millenia-your-service
L10	Orange County Convention Center	OCCC	24,480	Capacidad	24,480	1.6	http://www.occc.net/
L11	SeaWorld	SW	5,800,000	Año	15,890	1.0	http://www.inparkmagazine.com/issues/2009%20Theme%20Index%20Final%20webres.pdf
L12	Universal	UV	5,530,000	Año	15,151	1.0	http://www.inparkmagazine.com/issues/2009%20Theme%20Index%20Final%20webres.pdf

Fuente: Bull (2012), p. 59.

¹⁷ La columna ratio representa la proporción entre Visitantes por día/Visitantes de Universal Studios. Se usa esta ratio para definir el radio de los círculos que se presentan en la ubicación de los lugares de posibles desastres en la Figura 5. Este radio representa la cantidad potencial de personas ubicadas en ese lugar.

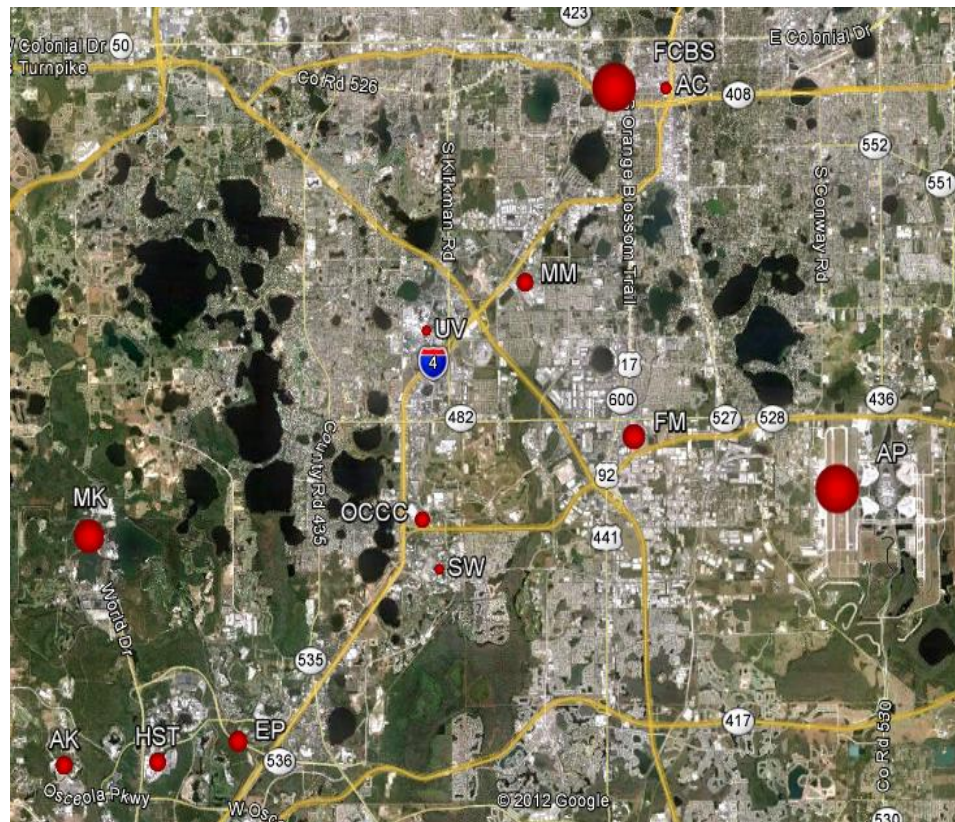


Figura 5. Ubicación de posibles lugares de desastres de gran número de víctimas.

Fuente: Bull (2012), p. 60.

Tabla 26. Resumen de los datos usados en cada escenario.

	Nombre del Hospital	Capacidad disponible (Capacidad Disponible en ED * 0.47)	Factor de Servicios	Tiempo de Espera en ED	Prom. Dist. Centros Turísticos
1	Arnold Palmer Hospital for Children	15	1.00	14	13.9
2	Central Florida Regional Hospital	22	0.83	12	42.6
3	Dr. P. Phillips Hospital	20	0.83	21	10.4
4	Florida Hospital Apopka	7	1.00	42	27.0
5	Florida Hospital East Orlando	17	0.83	27	19.1
6	Florida Hospital for Children	7	0.83	30	16.2
7	Florida Hospital Orlando	33	1.00	60	16.2
8	Florida Hospital Waterman	16	0.67	12	47.4
9	Health Central	15	0.83	25	16.8
10	Hospital Celebration health	13	0.67	49	15.1
11	M. D. Anderson Cancer Center Orlando	0	0.50	100	13.9
12	Nemours Children's Clinic Hospital	0	0.83	100	23.7
13	Orlando Regional Lucerne Hospital	0	0	100	14.3
14	Orlando Regional Medical Center	27	0.83	56	13.9
15	South Lake Hospital	14	0.67	18	32.3
16	South Seminole Hospital	14	0.67	18	28.6
17	St. Cloud Regional Medical Center	7	0.67	16	28.6
18	Winnie Palmer Hospital	14	0.83	14	13.9
19	Winter Park Memorial Hospital	12	0.67	11	19.4

Fuente. Bull (2012), p. 63.

Tabla 27. Características de los escenarios.

Tamaño de Desastre	Victimas	Número de Hospitales – Redes Hospitalarias (Rede Hub-Hospital)	Número de Hospitales – Redes Hospitalarias (Rede Hub-Centro Turístico)	Total
Small	50	13	12	25
Medium	150	13	12	25
Large	250	13	12	25

Fuente: Bull (2012), p. 64.

Tabla 28. Capacidad de camas.

	Nombre Completo	Capacidad de camas		Fuente accedida entre Marzo 2012 y Julio 2012
		Total	ED	
1	Arnold Palmer Hospital for Children	158	33	http://www.orlandohealth.com/arnoldpalmerhospital/AboutUs/AboutUs.aspx?pid=2608
				http://orlandohealth.com/orlandohealth/ForMedicalProfessionals/Training.aspx?pid=5475
2	Central Florida Regional Hospital	226	48	http://www.centralfloridaregional.com/
3	Dr. P. Phillips Hospital	237	44	http://orlandohealth.com/drpphilliphospital/Welcome/Welcome.aspx?pid=3225
				http://orlandohealth.com/drpphilliphospital/OurMedicalSpecialities/EmergencyandTraumaCare.aspx?pid=3168
4	Florida Hospital Apopka	50	16	http://www.floridahospitalnews.com/campus-fact-sheets
				http://www.linkedin.com/jobs/jobs-Assistant-Nurse-Manager-3001403
5	Florida Hospital Celebration Health	172	28	http://www.celebrationhealth.com/about-us
				http://www.chooseosceola.com/economicdevelopment/232-130-147/florida_hospital_celebration_health.cfm
6	Florida Hospital East Orlando	224	37	http://www.floridahospitalnews.com/campus-fact-sheets
				http://www.floridaep.com/facilityprofile.php?id=4
7	Florida Hospital for Children [2]	200	16	http://www.floridahospitalnews.com/campus-fact-sheets
				http://www.floridahospital.com/blog/pediatric-emergency-department-offers-different-experience-patients-and-families
8	Florida Hospital Orlando	1,08	72	http://www.floridahospitalnews.com/campus-fact-sheets
				http://www.jobs.net/jobs/adventisthealthsystem/job/emergency-department-registered-nurse-night-shift-10k/J3G5XY6G5KF0KDZ3M5L/
9	Florida Hospital Waterman	204	35	http://www.floridahospital.com/AboutUs/AboutOurCampuses/OtherFloridaHospitalLocations/FloridaHospitalWaterman.aspx
				http://floridaep.com/facilityprofile.php?id=8
10	Health Central	171	34	http://www.healthcentral.org/about-us/history/

				http://www.wotimes.com/articles/2012/03/29/news/top_stories/news01.txt
11	M. D. Anderson Cancer Center Orlando	60		http://www.orlandohealth.com/mdanderson/AboutUs/AboutUs.aspx?pid=2545
				http://orlandohealth.com/orlandohealth/ForMedicalProfessionals/Training.aspx?pid=5475
12	Nemours Children's Clinic Hospital	95	N/A	http://www.nemours.org/about/location/nchorlando.html
13	Orlando Regional Lucerne Hospital	267		http://www.hospitalsworldwide.com/listings/1004.php
14	Orlando Regional Medical Center	808	58	http://www.orlandohealth.com/orlandoregionalmedicalcenter/AboutUs/AboutUs.aspx?pid=2685
				http://orlandohealth.com/orlandoregionalmedicalcenter/EmergencyCare/EmergencyCare.aspx?pid=3081
15	South Lake hospital	100	30	http://www.southlakehospital.com/AboutUs/tabid/56/Default.aspx
				http://www.dailycommercialonline.com/specialsections/slpwelcomeback06/pdfs/4.pdf
16	South Seminole Hospital	206	30	http://www.orlandohealth.com/southseminolehospital/AboutUs/AboutUs.aspx?pid=2684
				http://articles.orlandosentinel.com/keyword/seminole-hospital
17	St. Cloud Regional Medical Center	84	16	http://www.stcloudregional.com/Careers/WhySCRMC/default.aspx
				http://www.stcloudregional.com/Services/Emergency-Services/Default.aspx
18	Winnie Palmer Hospital for Women & Babies	285	30	http://www.orlandohealth.com/winniepalmerhospital/AboutUs/AboutUs.aspx?pid=2576
				http://orlandohealth.com/orlandohealth/ForMedicalProfessionals/Training.aspx?pid=5475
19	Winter Park Memorial Hospital	297	26	http://www.floridahospitalnews.com/campus-fact-sheets
				http://www.careerbuilder.com/JobSeeker/Jobs/JobDetails.aspx?job_did=JB75J96C65BXJCKRSPT

Fuente. Bull (2012), p. 55.

Tabla 29. Maxima distancia entre hospitales (millas)

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19
H1	0	0	16.3	10.6	5.8	5.7	5.7	5.7	5.7	14.1	5.2	12.4	26.1	14	31.4	23.7	22.5	37.4	29.7
H2	0	0	16.3	10.6	5.8	5.7	5.7	5.7	5.7	14.1	5.2	12.4	26.1	14	31.4	23.7	22.5	37.4	29.7
H3	15.5	15.5	0	24.9	18.3	19	19	19	19	28	18.4	13.2	45.8	13.8	25	38	28.4	22.7	44
H4	9.3	9.3	23.1	0	7.9	7.3	7.3	7.3	7.3	20.4	6.8	20.5	16.4	21.5	40.8	36	24.7	52.4	38.2
H5	5.3	5.3	17.4	7.9	0	9.5	9.5	9.5	9.5	18.6	8.9	12.2	24.4	18.9	34.8	28.5	24.1	39	34.5
H6	5.2	5.2	18.9	7	8.9	0	0	0	0	10.5	1.1	16.7	22.4	16.8	33.3	23.9	28.9	43.4	26.6
H7	5.2	5.2	18.9	7	8.9	0	0	0	0	10.5	1.1	16.7	22.4	16.8	33.3	23.9	28.9	43.4	26.6
H8	5.2	5.2	18.9	7	8.9	0	0	0	0	10.5	1.1	16.7	22.4	16.8	33.3	23.9	28.9	43.4	26.6
H9	5.2	5.2	18.9	7	8.9	0	0	0	0	10.5	1.1	16.7	22.4	16.8	33.3	23.9	28.9	43.4	26.6
H10	15.7	15.7	26.3	21	19.1	13.1	13.1	13.1	13.1	0	11	25.8	20.4	15.3	33.2	11	45.8	47.9	25.1
H11	4.1	4.1	17.6	6.3	7.6	0.7	0.7	0.7	0.7	11.8	0	15.4	21.9	17.2	30.3	26.5	28.3	40.4	27
H12	11.4	11.4	12.4	20.8	12.1	16.9	16.9	16.9	16.9	26	16.3	0	36.4	25.3	39.7	35	16.8	36.3	41
H13	25	25	44.8	16.6	24.2	23	23	23	23	20.3	22.4	33.3	0	34	45.4	21	46.5	62.9	18.2
H14	14	14	13.8	21.5	18.9	16.8	16.8	16.8	16.8	15.3	17.2	25.3	34	0	15.5	29.5	37.4	36.7	35.6
H15	31.4	31.4	25	40.8	34.8	33.3	33.3	33.3	33.3	33.2	30.3	39.7	45.4	15.5	0	37.2	52.7	24.9	45.7
H16	23.7	23.7	38	36	28.5	23.9	23.9	23.9	23.9	11	26.5	35	21	25.3	35.7	0	53.2	51.5	23.1
H17	22.5	22.5	28.4	24.7	24.1	28.9	28.9	28.9	28.9	45.8	28.3	16.8	46.5	39.4	53.8	50.2	0	30.2	56.2
H18	37.4	37.4	22.7	52.4	39	43.4	43.4	43.4	43.4	47.9	40.4	36.3	62.9	36.1	27.6	58	47.2	0	71.3
H19	29.7	29.7	44	38.2	34.5	26.6	26.6	26.6	26.6	25.1	27	41	18.2	31.9	46.7	20.2	55.4	62.8	0

Fuente: Bull (2012), p. 57.

Tabla 30. Máxima distancia entre hospitales y posibles lugares de desastres.

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12
H1	3.7	15.4	28.5	23.1	23.2	4.7	12.6	28.3	10.4	15.8	15.9	12.7
H2	3.7	15.4	28.5	23.1	23.2	4.7	12.6	28.3	10.4	15.8	15.9	12.7
H3	16.6	34.2	23.6	34.7	34.9	15.4	27.5	35.5	23.3	26.3	28.3	23.6
H4	7.9	9.7	31.8	27.8	27.9	7.9	14.3	33	13.2	19	19.5	16.9
H5	7.7	13.7	32	27.6	27.7	8.9	15.1	31.9	13.1	19.4	20.4	15.6
H6	7.7	10.8	25.1	23.3	23.5	4.3	7.7	25	6.2	10.7	14.3	8
H7	7.7	10.8	25.1	23.3	23.5	4.3	7.7	25	6.2	10.7	14.3	8
H8	7.7	10.8	25.1	23.3	23.5	4.3	7.7	25	6.2	10.7	14.3	8
H9	7.7	10.8	25.1	23.3	23.5	4.3	7.7	25	6.2	10.7	14.3	8
H10	11	18.7	15.1	11.1	11.9	10.7	12.1	15.9	6.9	4.4	2.6	3.8
H11	1.2	11.7	25.4	23.7	20.2	2.1	8	25.2	6.3	26	13	8.3
H12	14.2	31.5	39.6	34.2	34.4	15.4	22.5	39.5	20.9	27	40.7	23.6
H13	23.4	13.1	26.4	25.2	25.3	25.7	27	26.9	23.4	22.5	22.3	23.7
H14	11.3	24.4	13.2	24.4	24.5	9.1	19.7	14.2	13.2	15.4	19.7	12.9
H15	28.7	40.2	25	35.7	38.5	28.4	33.6	31	29.3	34.6	33.8	29
H16	21	22.5	12.8	8.8	8.7	20.7	17.4	12.7	16.6	15.2	10.8	13.6
H17	29.6	34.5	58	52.6	52.8	29.5	38.8	57.9	33.8	43.9	43.6	36.3
H18	41	56.4	45.5	51	51.1	38.7	49.7	52.7	45.5	48	43.6	45.2
H19	27	24.7	30.7	23.8	23.9	26.7	20.2	30.5	45.5	20.8	43.6	25.2

Fuente: Bull (2012), p. 61.

Anexo 2: Estandarización de datos

Tabla 31. Distancia estandarizada por cada hub¹⁸.

	Distancia de traslado a hospitales de adultos		Distancia de traslado a hospitales de niños		Valor de distancia estandarizada que ocupa en la función objetivo															
	Menor Valor	Mayor Valor	Menor Valor	Mayor Valor	H1	H2	H3*	H4	H5	H6*	H7	H8	H9	H10	H11*	H12	H13	H14	H15	H16
Airport	1.2	41	3.7	23.4	0.17	0.16	0.16	0.25	0.71	0.16	0.33	0.65	0.16	0.06	0.06	0.39	0.50	0.25	0.69	1.00
Amway Center	9.7	56.4	10.8	15.4	0.00	0.09	0.02	0.19	0.53	0.02	0.47	0.32	0.02	0.12	0.12	0.52	0.27	0.31	0.65	1.00
Animal Kingdom	12.8	58	25.1	28.5	0.42	0.42	0.27	0.05	1.00	0.27	0.59	0.40	0.27	0.35	0.35	0.24	0.00	0.01	0.27	0.72
Epcot	8.7	52.8	23.2	25.3	0.44	0.43	0.34	0.07	1.00	0.34	0.58	0.35	0.34	0.33	0.33	0.59	0.00	0.36	0.68	0.96
Florida Citrus Bowl Stadium	2.1	38.7	4.3	25.7	0.16	0.19	0.06	0.23	0.75	0.06	0.36	0.67	0.06	0.07	0.07	0.36	0.51	0.19	0.72	1.00
Florida Mall	7.7	49.7	7.7	27	0.16	0.18	0.00	0.10	0.74	0.00	0.35	0.30	0.00	0.12	0.12	0.47	0.23	0.29	0.62	1.00
Hollywood Studios	8.8	52.6	23.1	25.2	0.43	0.43	0.33	0.05	1.00	0.33	0.58	0.34	0.33	0.33	0.33	0.59	0.00	0.36	0.61	0.96
Magic Kingdom	12.7	57.9	25	28.3	0.45	0.42	0.27	0.07	1.00	0.27	0.59	0.39	0.27	0.35	0.35	0.50	0.00	0.03	0.40	0.88
Mall At Millennia	6.2	45.5	6.2	23.4	0.18	0.18	0.00	0.02	0.70	0.00	0.37	1.00	0.00	0.11	0.11	0.44	0.26	0.18	0.59	1.00
Orange County Convention Center	4.4	48	10.7	22.5	0.33	0.34	0.14	0.00	0.91	0.14	0.52	0.38	0.14	0.26	0.26	0.50	0.25	0.25	0.69	1.00
SeaWorld	2.6	43.6	14.3	15.9	0.41	0.43	0.29	0.00	0.48	0.29	0.91	1.00	0.29	0.32	0.32	0.63	0.20	0.42	0.76	1.00
Universal	3.8	45.2	8	23.7	0.32	0.29	0.10	0.00	0.79	0.10	0.48	0.52	0.10	0.21	0.21	0.48	0.24	0.22	0.61	1.00
Central Florida Regional Hospital	0.01	56.2	22.5	46.5	0.44	0.43	0.51	0.81	0.00	0.51	0.30	1.00	0.51	0.40	0.40	0.51	0.89	0.70	0.96	0.54
Dr. P. Phillips Hospital	0.01	47.9	13.1	20.4	0.44	0.40	0.27	0.00	0.96	0.27	0.54	0.52	0.27	0.33	0.33	0.55	0.23	0.32	0.69	1.00
Florida Hospital Apopka	0.01	44	15.5	45.8	0.57	0.42	0.43	0.64	0.65	0.43	0.30	1.00	0.43	0.35	0.35	0.00	0.86	0.31	0.57	0.52
Florida Hospital Celebration	0.01	53.2	21	23.9	0.68	0.54	0.45	0.21	1.00	0.45	0.66	0.43	0.45	0.45	0.45	0.71	0.00	0.48	0.67	0.97
Florida Hospital East Orlando	0.01	52.4	7.3	16.4	0.00	0.15	0.14	0.39	0.47	0.14	0.39	0.73	0.14	0.18	0.18	0.44	0.69	0.41	0.78	1.00
Florida Hospital Orlando	0.01	37.4	0.01	26.1	0.28	0.15	0.15	0.38	0.60	0.15	0.33	0.79	0.15	0.00	0.00	0.44	0.63	0.37	0.84	1.00
Florida Hospital Waterman	0.01	71.3	37.4	62.9	0.73	0.55	0.61	0.67	0.66	0.61	0.51	1.00	0.61	0.52	0.52	0.32	0.81	0.51	0.39	0.00

¹⁸ Considerar que para cada hub existe una distancia diferente a los 16 hospitales que poseen ED (13 adultos y 3 de niños)

Health Central	0.01	37.4	14	34	0.57	0.51	0.45	0.41	1.00	0.45	0.68	0.95	0.45	0.37	0.37	0.37	0.79	0.00	0.41	0.98
Orlando Regional Medical Center	0.01	43.4	0.01	22.4	0.16	0.20	0.00	0.24	0.67	0.00	0.38	0.61	0.00	0.12	0.12	0.44	0.55	0.39	0.77	1.00
South Lake Hospital	0.01	52.7	31.4	45.4	0.77	0.66	0.63	0.63	1.00	0.63	0.75	0.87	0.63	0.60	0.60	0.47	0.71	0.29	0.00	0.47
South Seminole Hospital	0.01	41	11.4	36.4	0.51	0.29	0.41	0.63	0.41	0.41	0.00	1.00	0.41	0.28	0.28	0.30	0.85	0.62	0.97	0.89
St Cloud Regional Medical Center	0.01	62.8	18.2	29.7	0.61	0.55	0.42	0.40	0.88	0.42	0.65	0.00	0.42	0.47	0.47	0.70	0.32	0.51	0.74	1.00
Winter Park Memorial Hospital	0.01	39	5.3	24.4	0.20	0.00	0.24	0.48	0.62	0.24	0.31	0.88	0.24	0.14	0.14	0.45	0.73	0.48	0.89	1.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Promedio de servicios estandarizados por cada hub.

	Promedio de servicios en hospital de adultos		Promedio de servicios en hospital de niños		Valor de promedio de servicios estandarizado que ocupa en la función objetivo															
	Menor Valor	Mayor Valor	Menor Valor	Mayor Valor	H1	H2	H3*	H4	H5	H6*	H7	H8	H9	H10	H11*	H12	H13	H14	H15	H16
Airport	0.5	1	0.83	1	0.66	0.34	1.00	0.66	0.66	0.00	0.34	0.34	0.66	1.00	0.00	1.00	0.34	0.66	0.34	0.34
Amway Center																				
Animal Kingdom																				
Epcot																				
Florida Citrus Bowl Stadium																				
Florida Mall																				
Hollywood Studios																				
Magic Kingdom																				
Mall At Millennia																				
Orange County Convention Center																				
SeaWorld																				
Universal																				
Central Florida Regional Hospital																				
Dr. P. Phillips Hospital																				
Florida Hospital Apopka																				
Florida Hospital Celebration																				
Florida Hospital East Orlando																				
Florida Hospital Orlando																				
Florida Hospital Waterman																				
Health Central																				
Orlando Regional Medical Center																				
South Lake Hospital																				

South Seminole Hospital																				
St Cloud Regional Medical Center																				
Winter Park Memorial Hospital																				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Cantidad de camas disponibles estandarizadas por cada hub en hospitales de niños.

	Capacidad de camas en hospitales de niños en sala de urgencia		Valor de capacidad de camas estandarizada que ocupa en la función objetivo		
	Menor Valor	Mayor Valor	H3*	H6*	H11*
Airport					
Amway Center					
Animal Kingdom					
Epcot					
Florida Citrus Bowl Stadium					
Florida Mall					
Hollywood Studios					
Magic Kingdom					
Mall At Millennia					
Orange County Convention Center					
SeaWorld					
Universal					
Central Florida Regional Hospital	16	33	1	0.8	0
Dr. P. Phillips Hospital					
Florida Hospital Apopka					
Florida Hospital Celebration					
Florida Hospital East Orlando					
Florida Hospital Orlando					
Florida Hospital Waterman					
Health Central					
Orlando Regional Medical Center					
South Lake Hospital					
South Seminole Hospital					
St Cloud Regional Medical Center					
Winter Park Memorial Hospital					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Tiempo de Espera en la sala de urgencias estandarizado por cada hub.

	Tiempo de espera en sala de urgencia en hospitales de adultos		Tiempo de espera en sala de urgencia en hospitales de niños		Valor de promedio de tiempo de espera estandarizado que ocupa en la función objetivo															
	Menor Valor	Mayor Valor	Menor Valor	Mayor Valor	H1	H2	H3*	H4	H5	H6*	H7	H8	H9	H10	H11*	H12	H13	H14	H15	H16
Airport	11	100	14	100	0.18	0.00	0.00	0.11	0.01	0.00	0.08	0.06	0.51	0.55	0.53	0.35	0.43	0.16	0.08	0.01
Amway Center																				
Animal Kingdom																				
Epcot																				
Florida Citrus Bowl Stadium																				
Florida Mall																				
Hollywood Studios																				
Magic Kingdom																				
Mall At Millennia																				
Orange County Convention Center																				
SeaWorld																				
Universal																				
Central Florida Regional Hospital																				
Dr. P. Phillips Hospital																				
Florida Hospital Apopka																				
Florida Hospital Celebration																				
Florida Hospital East Orlando																				
Florida Hospital Orlando																				
Florida Hospital Waterman																				
Health Central																				
Orlando Regional Medical Center																				
South Lake Hospital																				

South Seminole Hospital																				
St Cloud Regional Medical Center																				
Winter Park Memorial Hospital																				

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Resumen de investigaciones en revisión sistemática de información.

Tabla 35. Investigaciones consideradas en la revisión sistemática de información.

N°	Título	Autor	Biblioteca
1	Health systems: changes in hospital efficiency and profitability	Büchner, Hinz y Schreyögg (2016)	ISI Web of Knowledge
2	Dynamic network data envelopment analysis for university hospitals evaluation	Lobo, Rodrigues, André, Azeredo y Lins (2016)	
3	Monitoring interhospital transfers in Western Greece during 2003-2011: its role in health policy	Alexopoulos, Kalyva, Merikoulias y Niakas (2015)	
4	A cross-efficiency fuzzy Data Envelopment Analysis technique for performance evaluation of Decision Making Units under uncertainty	Dotoli, Epicoco, Falagario y Sciancalepore (2015)	
5	An index to measure efficiency of hospital networks for mass casualty disasters	Bull (2012)*	ProQuest* ¹⁹
6	Organizing hospitals into networks: a hierarchical and multiservice model to define location, supply and referrals in planned hospital systems	Mestre et al. (2012)*	
7	Using geographical information systems to analyse accessibility to health services in the West Bank, Occupied Palestinian Territory/Utilisation des systèmes d'information géographique pour analyser l'accessibilité aux services de santé en Cisjordanie (Territoire palestinien occupé)	Eklund y Martensson (2012)*	
8	A Decision-Making Tool for a Regional Network of Clinical Laboratories	Andrade, Gonzalez y Framinan (2013)	
9	Efficiency Disparities among Community Hospitals in Tennessee: Do Size, Location, Ownership, and Network Matter?	Roh, Moon, y Jung (2013)	
10	Estimation of the efficiency of Japanese hospitals using a dynamic and network data envelopment analysis model	Kawaguchi, Tone y Tsutsui (2014)	

Fuente: Elaboración propia

¹⁹ Investigaciones consideradas para corroborar supuestos de Bull (2012)

Anexo 4: Modelo de programación en LINGO.

MODEL:

SETS:

Childrens/1..4/:C1,W1,D1,S1; !4 hospitales de niños y variables asociadas a ellos;

Adultos/1..15/:C2,W2,D2,S2; !15 hospitales de adultos y variables asociadas a ellos;

Hub/1; !El modelo para generar redes es para cada hub, este caso corresponde a Florida Hospital Orlando;

Link1(Hub,Childrens):Y; !Cantidad de niños transferidos del Hub a hospitales de niños;

Link2(Hub,Adultos):X; !Cantidad de adultos transferidos del Hub a hospitales de niños;

ENDSETS

[Objective] Min= @sum(Link1(l,i):Y(l,i)*((0.01-D1(i))/(0.01-26))) +
@sum(Link2(l,j):X(l,j)*((0.01-D2(j))/(0.01-37.4))) - @sum(Link1(l,i):Y(l,i)*((0.83-S1(i))/(0.83-
1))) - @sum(Link2(l,j):X(l,j)*((0.5-S2(j))/(0.5-1))) + (@sum(Childrens(i):((16-C1(i))/(16-33)))-
@sum(Link1(l,i):Y(l,i))/@int(PofC*V)) + @sum(Link1(l,i):Y(l,i)*((14-W1(i))/(14-100))) +
@sum(Link2(l,j):X(l,j)*((11-W2(j))/(11-100))); !Función objetivos con variables estandarizadas;

@for(hub(l):@sum(Childrens(i):Y(l,i))+@sum(Adultos(j):X(l,j))=V); !La cantidad de niños más la
cantidad de adultos transferidos a hospitales debe ser igual al tamaño del desastre;

@for(Hub(l):@sum(Childrens(i):Y(l,i))<=@int(PofC*V)); !La cantidad de niños transferidos a
hospitales de niños debe ser menor igual al 20% del tamaño del desastre;

@for(Childrens(i):@sum(Hub(l):Y(l,i))<=@int(FCP*C1)); !La cantidad de niños transferidos a
hospitales de niños debe ser menor igual al 47% de camas disponibles en hospitales de niños;

@for(Adultos(j):@sum(Hub(l):X(l,j))<=@int(FCP*C2)); !La cantidad de adultos transferidos a
hospitales de adultos debe ser menor igual al 47% de camas disponibles en hospitales de adultos;

WaitingTime=(@sum(Link1(l,i):W1(i)*Y(l,i))+@sum(Link2(l,j):W2(j)*X(l,j)))/V; !Tiempo de
espera Promedio en sala de urgencia;

Distance= $(\text{@sum}(\text{Link1}(1,i):D1(i)*Y(1,i))+\text{@sum}(\text{Link2}(1,j):D2(j)*X(1,j)))/V$; !Distancia promedio de traslado;

Service= $(\text{@sum}(\text{Link1}(1,i):S1(i)*Y(1,i))+\text{@sum}(\text{Link2}(1,j):S2(j)*X(1,j)))/V$; !Servicio promedio ofrecido por los hospitales;

Victims= $\text{@sum}(\text{Link1}(1,i):Y(1,i))+\text{@sum}(\text{Link2}(1,j):X(1,j))$; !Cantidad de víctimas asignadas por el modelo;

Children= $\text{PofC}*V-\text{@sum}(\text{Link1}(1,i):Y(1,i))$; !Cantidad de niños atendidos en hospitales de adultos;

DATA:

S1= $\text{@ole}(\text{'Prueba.xlsx','Serv1'})$; !Lee de Excel cantidad de servicios de hospitales de niños;

S2= $\text{@ole}(\text{'Prueba.xlsx','Serv2'})$; !Lee de Excel cantidad de servicios de hospitales de adultos;

C1= $\text{@ole}(\text{'Prueba.xlsx','Cama1'})$; !Lee de Excel cantidad de camas disponibles en urgencias de hospitales de niños;

C2= $\text{@ole}(\text{'Prueba.xlsx','Cama2'})$; !Lee de Excel cantidad de camas disponibles en urgencias de hospitales de adultos;

W1= $\text{@ole}(\text{'Prueba.xlsx','Wait1'})$; !Lee de Excel tiempo de espera en urgencias de hospitales de niños;

W2= $\text{@ole}(\text{'Prueba.xlsx','Wait2'})$; !Lee de Excel tiempo de espera en urgencias de hospitales de niños;

D1= $\text{@ole}(\text{'Prueba.xlsx','Distance1'})$; !Lee de Excel distancia de traslado de Florida Hospital Orlado a hospitales de niños;

D2= $\text{@ole}(\text{'Prueba.xlsx','Distance2'})$; !Lee de Excel distancia de traslado de Florida Hospital Orlado a hospitales de adultos;

V=50; !Tamaño del desastre;

PofC=0.2; !Porcentaje de niños afectados en un desastre;

FCP=0.47; !Porcentaje de camas disponibles en cada hospital en la sala de urgencia;

$\text{@ole}(\text{'Prueba.xlsx','X'})=X$; !Envía resultado a Excel la cantidad de adultos atendidos en hospitales de adultos;

$\text{@ole}(\text{'Prueba.xlsx','Y'})=Y$; !Envía resultado a Excel la cantidad de niños atendidos en hospitales de adultos;

@ole('Prueba.xlsx','Espera')=WaitingTime; !Envía resultado a Excel tiempo de espera promedio;
@ole('Prueba.xlsx','Distance')=Distance; !Envía resultado a Excel distancia promedio de traslado;
@ole('Prueba.xlsx','Victims')=Victims; !Envía resultado a Excel cantidad de víctimas asignadas en el modelo;
@ole('Prueba.xlsx','Services')=Service; !Envía resultado a Excel cantidad de servicio promedio;
@ole('Prueba.xlsx','Children1')=Children; !Envía resultado a Excel cantidad de niños atendidos en hospital de adultos;
@ole('Prueba.xlsx','Objective')=Objective; !Envía resultado de valor de la función objetivo;
@ole('Prueba.xlsx','Time')=@time(); !Envía resultado a Excel el tiempo de ejecución en generar la red;
ENDDATA

Anexo 5: Comparación de resultados.

Tabla 36. Comparación de redes generadas para un desastre de 50 víctimas.²⁰²¹

Hospital Networks (Hub-hospital and hub-disaster location)	Size	1	1*	2	2*	3	3*	4	4*	5	5*	6	6*	7	7*	8	8*	9	9*	10	10*	11	11*	12	12*	13	13*	14	14*	15	15*	16	16*	
Airport	50	8	7	12		10	10	20													33													
Amway Center	50	17	17	12		10	10	11	20												3													
Animal Kingdom	50			5		10	10	20	20																5				15	15				
Epcot	50			12		10	10	20	20						7						5								1	15				
Florida Citrus Bowl Stadium	50		7	12		10	10	20													33								8					
Florida Mall	50	1		12		10	10	20	20						7						20													
Hollywood Studios	50			12		10	10	20	20						7						5								1	15				
Magic Kingdom	50			5		10	10	20	20																5				15	15				
Mall At Millennia	50			12		10	10	20	20												20								8					
Orange County Convention Center	50			12		10	10	20	20											20									8					
SeaWorld	50					10	10	20	20	20										7							13							
Universal	50			12		10	10	20	20											5									8	15				
Central Florida Regional Hospital	50					3	10			22	22			14						4	11	7			7									
Dr. P. Phillips Hospital	50					10	10	20	20										7		5					13			15					
Florida Hospital Apopka	50					3	10							14						4	18	7		7	7			15	15					
Florida Hospital Celebration	50					10	10	20	20						7						5					13			15					
Florida Hospital East Orlando	50	17	17	12		10	10												11		23													
Florida Hospital Orlando	50			7		3	10													33	33	7			7									
Florida Hospital Waterman	50					3	10				2											7			7	7			3	15	14		16	16
Health Central	50					3	10		18											18		7		7	7			15	15					
Orlando Regional Medical Center	50		7			10	10												27	13	33													
South Lake Hospital	50					3	10		4													7			7			15	15	14	14	11		
South Seminole Hospital	50					3	10				19			14	14							7			7									
St Cloud Regional Medical Center	50					10	10	20	20						7	7										13			13					
Winter Park Memorial Hospital	50			12	12	3	10														28	28	7											

Fuente: Elaboración proia.

²⁰ Florida Hospital East Orlando 1, Winter Park Memorial Hospital 2, Arnold Palmer Hospital for Children 3, Dr. P. Phillips Hospital 4, Central Florida Regional Hospital 5, Winnie Palmer Hospital for Women & Babies 6, South Seminole Hospital 7, St. Cloud Regional Medical Center 8, Orlando, Regional Medical Center 9, Florida Hospital Orlando 10, Florida Hospital for Children [2] 11, Florida Hospital Apopka: 12, Florida Hospital Celebration Health: 13, Health Central 14, South Lake hospital 15, Florida Hospital Waterman 16

²¹ Números en rojo indican hospitales de niños.

* Indica resultados generados en esta investigación en comparación a los de Torres, M. T. B. (2012).

Tabla 37. Comparación de redes generadas para un desastre de 150 víctimas.

Hospital Networks (Hub-hospital and hub-disaster location)	Size	1	1*	2	2*	3	3*	4	4*	5	5*	6	6*	7	7*	8	8*	9	9*	10	10*	11	11*	12	12*	13	13*	14	14*	15	15*	16	16*	
Airport	150	17	17	12	12	15	15	20	20	22	4	14		14		7				27		33	1			7			15	15	13			
Amway Center	150	17	17	12	12	15	15	20	20	22	4	14		14		7				27		33	1			7			15	15	13			
Animal Kingdom	150	17	17	12	12	15	15	20	20			14	14	12		7						33	1		7	7		3	15	15	14	14	16	
Epcot	150	17	17	12	12	15	15	20	20	8		14	4	14		7				27		33	1			7	13		15	15	14			
Florida Citrus Bowl Stadium	150	17	17	12	12	15	15	20	20	22		14	4	14		7				27		33	1			7			15	15	13			
Florida Mall	150	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14		14		7				9		33	1			7			15	15	13			
Hollywood Studios	150	17	17	12	12	15	15	20	20	8	22	14	9	14		7						33	1			7	13		15	15	14			
Magic Kingdom	150	17	17	12	12	15	15	20	20		22	14		14	9	7						33	1			7	13		15	15	14		8	
Mall At Millennia	150	17	17	12	12	15	15	20	20	22		14	4	14						27		33	1		6	7			15	15	14			
Orange County Convention Center	150	17	17	12	12	15	15	20	20	22		14	14	14		7				17		33	1			7			15	15	13			
SeaWorld	150	17	17	12	12	15	15	20	20	22		14	14	4						3		33	1			7			15	15	14	14	16	
Universal	150	17		12		15	15	20	20	22	22	14	8	14		7						33	1			7			15	15	13	14	16	16
Central Florida Regional Hospital	150	17	17	12	9	15	15		20	22		8	14	14			7	1			33	33	7		7	7		13		15	14			
Dr. P. Phillips Hospital	150		17	12	12	15	15	20	20			14	11				7	27			33	33	1			7	13	13	15	15				
Florida Hospital Apopka	150		17	12	12	15	15		20			8	14	14			4	27			33	33	7		7	7		13	15	15			12	
Florida Hospital Celebration	150		17	5	9	15	15	20	20			8	14			7		27	27	33	33	33	7				13		15	15				
Florida Hospital East Orlando	150	17	17	12	9	15	15	20	20			14	14	11					27	27	33	33	1						15					
Florida Hospital Orlando	150	17	17	12	9	15	15	2	20			8	14	14					9	27	33	33	7	1				13	15	15	14		16	
Florida Hospital Waterman	150		17	12	9	15	15	20	20			8	14	14					9	27	33	33	7		7			15	15	14		16		
Health Central	150		17	4	12	15	15	20	1		22	8	14		#			27			33	33	7		7	7		15	15	14				
Orlando Regional Medical Center	150	17	17	12	12	15	15	20	20		22	14			#			27			33	33	1			7		11	10					
South Lake Hospital	150		16			15	15	20	20			8	14					15			33	33	7		7	7		15	15	14	14	16	16	
South Seminole Hospital	150	5	17	12	12	15	15		20	22		8		14			7	27	11	33	33	33	7		7	7		13		15				
St Cloud Regional Medical Center	150		17	5	12	15	15	20			22	14			#	7		27			33	33	1			7	13		15	15				15
Winter Park Memorial Hospital	150	17	17	12	12	15	15	10	20		22	8	0	14			7	27	2	33	33	33	7		7	7		0		15				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Comparación de redes generadas para un desastre de 250 víctimas.

Hospital Networks (Hub-hospital and hub-disaster location)	Size	1	1*	2	2*	3	3*	4	4*	5	5*	6	6*	7	7*	8	8*	9	9*	10	10*	11	11*	12	12*	13	13*	14	14*	15	15*	16	16*
Airport	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	27	27	33	33	7	7	7	7	10	13	15	15	14	14	16	13
Amway Center	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	27	27	33	33	7	4	7	7	10	13	15	15	14	14	16	16
Animal Kingdom	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	27	27	30	33	7	4	7	7	13	13	15	15	14	14	16	16
Epcot	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	24	27	33	33	7	7	7	7	13	13	15	15	14	14	16	13
Florida Citrus Bowl Stadium	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	27	27	33	33	7	7	7	7	10	13	15	15	14	14	16	13
Florida Mall	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	27	27	33	33	7	4	7	7	10	13	15	15	14	14	16	16
Hollywood Studios	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	24	27	33	33	7	7	7	7	13	13	15	15	14	14	16	13
Magic Kingdom	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	27	27	30	33	7	4	7	7	13	13	15	15	14	14	16	16
Mall At Millennia	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	4	27	27	33	33	7	7	7	7	10	13	15	15	14	14	16	16
Orange County Convention Center	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	27	27	30	33	7	7	7	7	13	13	15	15	14	14	16	13
SeaWorld	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	4	27	27	30	33	7	7	7	7	13	13	15	15	14	14	16	16
Universal	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	27	27	30	33	7	7	7	7	13	13	15	15	14	14	16	13
Central Florida Regional Hospital	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	4	7	27	27	33	33	7	7	7	7	13	10	15	15	14	14	16	16
Dr. P. Phillips Hospital	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	27	27	33	33	7	4	7	7	13	13	15	15	14	14	13	16
Florida Hospital Apopka	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	4	7	27	27	33	33	7	7	7	7	13	10	15	15	14	14	16	16
Florida Hospital Celebration	250	17	17	12	12	15	15	20	20	19	22	14	14	14	14	7	7	27	27	33	33	7	4	7	7	13	13	15	15	14	14	16	16
Florida Hospital East Orlando	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	27	27	33	33	7	7	7	7	13	10	15	15	14	14	13	16
Florida Hospital Orlando	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	27	27	33	33	7	7	7	7	13	10	15	15	14	14	13	16
Florida Hospital Waterman	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	4	7	27	27	33	33	7	7	7	7	13	10	15	15	14	14	16	16
Health Central	250	17	17	12	12	15	15	20	20	19	22	14	14	14	14	7	7	27	27	33	33	7	7	7	7	13	10	15	15	14	14	16	16
Orlando Regional Medical Center	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	27	27	33	33	7	4	7	7	13	13	15	15	14	14	13	16
South Lake Hospital	250	17	17	12	12	15	15	20	20	19	22	14	14	14	14	7	7	27	27	33	33	7	7	7	7	13	10	15	15	14	14	16	16
South Seminole Hospital	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	4	7	27	27	33	33	7	7	7	7	13	10	15	15	14	14	16	16
St Cloud Regional Medical Center	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	27	27	33	33	7	4	7	7	13	13	15	15	14	14	13	16
Winter Park Memorial Hospital	250	17	17	12	12	15	15	20	20	22	22	14	14	14	14	7	7	27	27	33	33	7	7	7	7	13	10	15	15	14	14	13	16

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Comparación de resultados para redes generadas modelo hub-centro turístico.²²

Redes Hospitalarias (hub-hospital)	# Víctimas	# Víctimas*	# Hospitales	# Hospitales*	Distancia Prom.	Distancia Prom.*	Servicios Prom.	Servicios Prom.*	Tiempo de Espera Prom.	Tiempo de Espera Prom.*	# Niños	# Niños*	# Víctimas ubicadas (menos de 40 millas)	# Víctimas ubicadas (menos de 40 millas)*
Airport	50	50	4	3	9.05	5.09	0.82	0.98	18.16	46.18	0	0	50	50
Amway Center	50	50	4	4	12.86	13.86	0.82	0.87	19.24	23.98	0	0	50	50
Animal Kingdom	50	50	4	4	18.22	17.38	0.84	0.88	19.80	22.90	0	0	50	50
Epcot	50	50	5	4	19.94	19.13	0.80	0.88	16.58	24.70	0	0	50	50
Florida Citrus Bowl Stadium	50	50	4	3	8.72	5.07	0.82	0.98	17.84	46.18	0	0	50	50
Florida Mall	50	50	5	3	13.12	11.42	0.80	0.93	16.62	35.20	0	0	50	50
Hollywood Studios	50	50	5	4	19.54	18.73	0.80	0.88	16.58	24.70	0	0	50	50
Magic Kingdom	50	50	4	4	18.81	19.17	0.84	0.88	19.80	22.90	0	0	50	50
Mall At Millennia	50	50	4	3	9.26	8.16	0.82	0.93	17.84	35.20	0	0	50	50
Orange County Convention Center	50	50	4	3	11.02	8.18	0.82	0.86	17.84	33.60	0	0	50	50
SeaWorld	50	50	3	4	12.82	8.71	0.86	0.82	16.00	31.78	0	0	30	50
Universal	50	50	4	4	8.93	7.79	0.82	0.86	17.84	24.30	0	0	50	50
Airport	150	150	11	9	15.04	8.64	0.80	0.88	17.89	36.20	0	15	150	150
Amway Center	150	150	11	9	21.96	16.06	0.80	0.88	17.89	36.20	0	15	137	150
Animal Kingdom	150	150	12	10	27.43	24.31	0.79	0.86	19.25	29.77	0	1	134	150
Epcot	150	150	12	10	25.61	22.09	0.78	0.86	21.14	31.82	0	4	142	150
Florida Citrus Bowl Stadium	150	150	11	9	14.28	7.02	0.80	0.88	17.89	36.25	0	11	150	150
Florida Mall	150	150	11	9	19.63	12.83	0.80	0.88	17.89	36.25	0	11	150	150
Hollywood Studios	150	150	12	10	25.14	21.81	0.78	0.86	21.14	31.88	0	1	142	128
Magic Kingdom	150	150	12	10	26.77	24.46	0.77	0.86	21.14	31.78	0	1	142	128

²² * Resultados generados en esta investigación.

Mall At Millennia	150	150	11	8	16.63	9.13	0.81	0.88	18.95	35.01	0	1	150	150
Orange County Convention Center	150	150	11	8	20.93	12.92	0.80	0.88	17.89	35.01	0	1	128	150
SeaWorld	150	150	11	9	24.81	13.75	0.94	0.87	20.33	38.16	0	0	108	150
Universal	150	150	11	8	17.81	10.43	0.80	0.88	17.89	35.01	0	1	150	134
Airport	250	250	16	16	15.27	14.23	0.82	0.82	29.40	30.68	14	14	234	237
Amway Center	250	250	16	16	22.37	22.46	0.82	0.82	29.40	30.11	14	17	220	220
Animal Kingdom	250	250	16	16	29.36	29.36	0.82	0.82	29.27	30.11	14	17	212	212
Epcot	250	250	16	16	28.44	20.93	0.82	0.82	29.32	30.11	14	17	212	215
Florida Citrus Bowl Stadium	250	250	16	16	13.61	28.11	0.82	0.82	29.40	30.68	14	14	250	250
Florida Mall	250	250	16	16	19.36	39.82	0.82	0.82	29.40	30.24	14	14	234	234
Hollywood Studios	250	250	16	16	28.11	20.09	0.82	0.82	29.32	30.24	14	14	212	215
Magic Kingdom	250	250	16	16	30.61	30.61	0.82	0.82	29.27	30.11	14	17	212	212
Mall At Millennia	250	250	16	16	17.21	16.86	0.82	0.82	29.40	30.64	14	14	227	230
Orange County Convention Center	250	250	16	16	20.73	20.34	0.82	0.82	29.27	30.68	14	14	212	215
SeaWorld	250	250	16	16	20.71	20.38	0.82	0.82	29.27	30.64	14	14	191	216
Universal	250	250	16	16	17.75	17.36	0.82	0.82	29.27	30.68	14	14	234	237

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Comparación de resultados para redes generadas modelo hub-hospitales.²³

Redes Hospitalarias (hub-hospital)	# Víctimas	# Víctimas*	# Hospitales	# Hospitales*	Distancia Prom.	Distancia Prom.*	Servicios Prom.	Servicios Prom.*	Tiempo de Espera Prom.	Tiempo de Espera Prom.*	# Niños	# Niños*	# Víctimas ubicadas (menos de 40 millas)	# Víctimas ubicadas (menos de 40 millas)*
Central Florida Regional Hospital	50	50	5	4	9.05	5.09	0.82	0.98	18.16	46.18	0	0	0	0
Dr. P. Phillips Hospital	50	50	4	4	12.86	13.86	0.82	0.87	19.24	23.98	0	0	50	50
Florida Hospital Apopka	50	50	6	4	18.22	17.38	0.84	0.88	19.80	22.90	0	0	21	7
Florida Hospital Celebration	50	50	4	4	19.94	19.13	0.80	0.88	16.58	24.70	0	0	50	35
Florida Hospital East Orlando	50	50	4	3	8.72	5.07	0.82	0.98	17.84	46.18	0	0	50	50
Florida Hospital Orlando	50	50	4	3	13.12	11.42	0.80	0.93	16.62	35.20	0	0	50	50
Florida Hospital Waterman	50	50	6	5	19.54	18.73	0.80	0.88	16.58	24.70	0	0	0	0
Health Central	50	50	5	4	18.81	19.17	0.84	0.88	19.80	22.90	0	0	50	50
Orlando Regional Medical Center	50	50	3	3	9.26	8.16	0.82	0.93	17.84	35.20	0	0	50	50
South Lake Hospital	50	50	5	5	11.02	8.18	0.82	0.86	17.84	33.60	0	0	14	14
South Seminole Hospital	50	50	4	4	12.82	8.71	0.86	0.82	16.00	31.78	0	0	14	14
St Cloud Regional Medical Center	50	50	4	4	8.93	7.79	0.82	0.86	17.84	24.30	0	0	7	7
Winter Park Memorial Hospital	50	50	4	3	15.04	8.64	0.80	0.88	17.89	36.20	0	0	50	50
Central Florida Regional Hospital	150	150	11	9	21.96	16.06	0.80	0.88	17.89	36.20	0	15	0	0
Dr. P. Phillips Hospital	150	150	9	9	27.43	24.31	0.79	0.86	19.25	29.77	0	1	150	150

²³ * Resultados generados en esta investigación.

Florida Hospital Apopka	150	150	10	10	25.61	22.09	0.78	0.86	21.14	31.82	0	1	21	7
Florida Hospital Celebration	150	150	10	10	14.28	7.02	0.80	0.88	17.89	36.25	0	15	130	109
Florida Hospital East Orlando	150	150	9	9	19.63	12.83	0.80	0.88	17.89	36.25	0	6	130	135
Florida Hospital Orlando	150	150	10	9	25.14	21.81	0.78	0.86	21.14	31.88	0	15	150	150
Florida Hospital Waterman	150	150	11	9	26.77	24.46	0.77	0.86	21.14	31.78	0	7	0	0
Health Central	150	150	10	10	16.63	9.12	0.81	0.87	18.95	35.01	0	1	150	114
Orlando Regional Medical Center	150	150	9	9	20.93	12.91	0.80	0.87	17.89	35.01	0	11	150	128
South Lake Hospital	150	150	10	9	24.81	13.75	0.94	0.87	20.33	38.16	0	1	14	14
South Seminole Hospital	150	150	10	9	17.81	10.43	0.80	0.87	17.89	35.01	0	15	14	0
St Cloud Regional Medical Center	150	150	10	10	15.27	14.23	0.82	0.82	29.40	30.68	0	15	7	0
Winter Park Memorial Hospital	150	150	10	9	22.37	22.46	0.82	0.82	29.40	30.11	0	15	150	121
Central Florida Regional Hospital	250	250	16	16	29.36	29.36	0.82	0.82	29.27	30.11	14	14	0	0
Dr. P. Phillips Hospital	250	250	16	16	28.44	20.93	0.82	0.82	29.32	30.11	14	14	201	198
Florida Hospital Apopka	250	250	16	16	13.61	28.11	0.82	0.82	29.40	30.68	14	14	21	7
Florida Hospital Celebration	250	250	16	16	19.36	39.82	0.82	0.82	29.40	30.24	14	14	136	133
Florida Hospital East Orlando	250	250	16	16	28.11	20.09	0.82	0.82	29.32	30.24	14	17	139	159
Florida Hospital Orlando	250	250	16	16	30.61	30.61	0.82	0.82	29.27	30.11	14	14	216	213
Florida Hospital Waterman	250	250	16	16	17.21	16.86	0.82	0.82	29.40	30.64	14	14	0	0
Health Central	250	250	16	16	20.73	20.34	0.82	0.82	29.27	30.68	14	17	181	181
Orlando Regional Medical Center	250	250	16	16	20.71	20.38	0.82	0.82	29.27	30.64	14	17	194	191

South Lake Hospital	250	250	16	16	17.75	17.36	0.82	0.82	29.27	30.68	14	14	14	14
South Seminole Hospital	250	250	16	16	9.05	5.09	0.82	0.98	18.16	46.18	14	14	14	14
St Cloud Regional Medical Center	250	250	16	16	12.86	13.86	0.82	0.87	19.24	23.98	14	17	7	7
Winter Park Memorial Hospital	250	250	16	16	18.22	17.38	0.84	0.88	19.80	22.90	14	14	181	181

Fuente: Elaboración propia

Referencias.

Alexopoulos, E. C., Kalyva, A., Merekoulias, G., & Niakas, D. (2015). Monitoring interhospital transfers in Western Greece during 2003-2011: its role in health policy. *Rural and remote health, 15*(3228).

Altay, N., & Green, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European journal of operational research, 175*(1), 475-493.

Andrade-Pineda, J. L., Gonzalez-R, P. L., & Framinan, J. M. (2013). A decision-making tool for a regional network of clinical laboratories. *Interfaces, 43*(4), 360-372.

Bordonado, J., Etienne, C., Brown, M., & Poncelet, J. L. (2001). *Establishing a Mass Casualty Mass Casualty Management System*. Washington, D.C.: Pan American Health Organization.

Boyd, A., Chambers, N., French, S., King, R., Shaw, D., & Whitehead, A. S. (2012). A scoping study of emergency planning and management in health care: What further research is needed. *Final report. NIHR Health Services and Delivery Research programme*.

Büchner, V. A., Hinz, V., & Schreyögg, J. (2016). Health systems: changes in hospital efficiency and profitability. *Health care management science, 19*(2), 130-143.

Bull, M. (2012). *An Index To Measure Efficiency Of Hospital Networks For Mass Casualty Disasters* (Doctoral dissertation, University of Central Florida Orlando, Florida).

Devore, J. L. (2008). *Probabilidad y estadística para ingenierías y ciencias*. Cengage Learning Editores.

Dotoli, M., Epicoco, N., Falagario, M., & Sciancalepore, F. (2015). A cross-efficiency fuzzy data envelopment analysis technique for performance evaluation of decision making units under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 79, 103-114.

Eklund, L., & Martensson, U. (2012). Using geographical information systems to analyse accessibility to health services in the West Bank, Occupied Palestinian Territory.

Farmer, J. C., & Carlton Jr, P. K. (2006). Providing critical care during a disaster: the interface between disaster response agencies and hospitals. *Critical care medicine*, 34(3), S56-S59.

FEMA (2016). "Glosario de términos clave.". Disponible en: <http://www.fema.gov/glossary-terms>

Harris, J. K., & Clements, B. (2007). Using social network analysis to understand Missouri's system of public health emergency planners. *Public health reports*, 488-498.

Jánošíková, L. (2009). Reduction of a hospital network as a multiple criteria optimisation problem.

Kawaguchi, H., Tone, K., & Tsutsui, M. (2014). Estimation of the efficiency of Japanese hospitals using a dynamic and network data envelopment analysis model. *Health care management science*, 17(2), 101-112.

Lobo, M. S. D. C., Rodrigues, H. D. C., André, E. C. G., Azeredo, J. A. D., & Lins, M. P. E. (2016). Dynamic network data envelopment analysis for university hospitals evaluation. *Revista de Saúde Pública*, 50.

LOPEZ, F. J. V. (1977). La programación lineal multicriterio. *Revista Española de financiación y contabilidad*, 6(22), 61-76.

Mestre, A. M., Oliveira, M. D., & Barbosa-Póvoa, A. (2012). Organizing hospitals into networks: a hierarchical and multiservice model to define location, supply and referrals in planned hospital systems. *OR spectrum*, 34(2), 319-348.

Nohria, N., & Eccles, R. G. (1992). *Networks and organizations: structure, form, and action*. Boston: Harvard Business School Press.

Roche, H., & Vejo, C. (2005). Analisis multicriterio en la toma de decisiones. *Métodos Cuantitativos aplicados a la administración. Analisis multicriterio–AHP. 2004. Material apoyo AHP, 11 f.*

Roh, C. Y., Moon, M. J., & Jung, K. (2013). Efficiency disparities among community hospitals in Tennessee: do size, location, ownership, and network matter?. *Journal of health care for the poor and underserved*, 24(4), 1816-1833.

Schultz, C. H., Koenig, K. L., & Noji, E. K. (1996). A medical disaster response to reduce immediate mortality after an earthquake. *New England Journal of Medicine*, 334(7), 438-444.

Taha, H. A. (2006). *Operations Research: An Introduction* (8th ed.). Prentice Hall.

World Health Organization. (2007). Mass casualty management systems: strategies and guidelines for building health sector capacity.