

## **Rutas a seguir por los desplazados en caso de una catástrofe. Una visión académica.** (Routes to be followed by the displaced in case of a disaster. An academic view)

Carlos Nieto S. (ProfEstud.UnimetMinimax@yahoo.com)

Universidad Metropolitana, Caracas, Venezuela.

María J. García G. (Mariminimagarcia@yahoo.com)

Minimax Consultores, C. A., Caracas, Venezuela.

Gilberto J. Hernández G. (Minimaxconsultores@yahoo.com)

Minimax Consultores, C. A., Caracas, Venezuela.

&

José G. Hernández R. (jhernandez@unimet.edu.ve)

Universidad Metropolitana, Gestión de la tecnología, Caracas, Venezuela.

Minimax Consultores, C. A., Caracas, Venezuela.

### **Resumen**

La mejor forma de afrontar una catástrofe es estar tan preparado como sea posible. En este sentido la academia juega un papel primordial, porque se puede dedicar a la investigación de estrategias que puedan mitigar el efecto de las catástrofes. Entre los muchos aspectos que deben ser atendidos, en el momento que una población sufre una catástrofe, está el desplazamiento o evacuación hacia los refugios inmediatos, donde se puede recibir una primera asistencia. Estos posibles refugios inmediatos, deben ser previstos por las autoridades competentes. El prever posibles refugios no significa construcción de infraestructuras, puesto que en muchas ocasiones estos lugares pueden ser simplemente zonas al descampado, en cuyo caso los mismos refugiados proveen lo necesario para protegerse de las inclemencias ambientales. Pero aún tratándose de lugares al descampado, cada uno de estos refugios puede resultar insuficiente para recibir todas las personas que desearían dirigirse hacia los mismos, por lo cual para efectos prácticos tienen una capacidad limitada. En el caso de tener un refugio sin capacidad para recibir más afectados, las personas que se dirigen hacia el mismo deben ser redirigidos hacia otro lugar ocasionándoles mayores desplazamientos. Para evitar estos inconvenientes, por lo menos para la población fija, dado que es poco probable hacer planes con la población flotante, se debe realizar, antes de que suceda la catástrofe, un plan de evacuación. Aquí juega un papel importante la academia, porque permite el hacer estudios previos, con algoritmos matemáticos que mejoren estos desplazamientos de personas.

El objetivo de este trabajo es justamente, hacer uso de un algoritmo para el manejo de rutas y usarlo para mejorar el desplazamiento de las personas, de allí que se enuncie: Generar y utilizar una modificación al algoritmo de Dijkstra, para establecer las rutas a seguir por cada uno de los grupos de una población afectada por una catástrofe, desde su hábitat hasta el refugio que les corresponda, considerando que cada uno de los refugios tiene capacidad limitada.

La metodología para alcanzar este objetivo es la Metodología Integradora-Adaptable para desarrollar Sistemas de Apoyo a las Decisiones (MIASAD), la cual sigue una serie ordenada de pasos, en lugar de establecer hipótesis y por su flexibilidad es de gran utilidad en distintos problemas de investigación. Como limitaciones y alcances es necesario aclarar que en este trabajo no se hacen estudios de campo, sino que se analizarán las diferentes rutas a seguir por los grupos afectados por una catástrofe a través de una situación académica-hipotética. Esta situación hipotética, además de garantizar generalización de los planteamientos, permite concluir sobre la importancia y provechoso que puede resultar establecer las rutas de evacuación con anterioridad.

**Palabras claves:** Visión académica, Catástrofes, Refugios, Rutas de escape, Algoritmo de Dijkstra, Población afectada.

## **Introducción**

Para algunos autores la diferencia entre desastre y catástrofe es solamente semántica (Boin & McConnell, 2007), siguiendo esa línea de pensamiento en este trabajo se usarán los dos términos como sinónimos. De allí que se pueda decir que en el momento de un desastre o una catástrofe, ya sea de origen natural o causada por el hombre, un primer aspecto que debe ser atendido son los afectados. De estos afectados, los que necesitan desplazarse hacia un refugio o albergue, suelen ser de dos tipos, los residentes en la zona o los que hacen vida en ese entorno, que a su vez puede ser ocasional y de muy corta duración o constante y de mayor permanencia. En este segundo grupo, los que hacen vida en el entorno, estarán las personas que asisten a sus trabajos, a sus centros de enseñanza o lugares afines como pudiesen ser lugares comerciales, de entretenimiento o atractivos turísticos. En todo caso para esta población afectada, ya sea fija o flotante, los organismos responsables, generalmente entes estatales, deben ofrecerles un refugio en el cual puedan guarecerse tal como se comenta en Grove (2012). Se debe recordar que, antes de que sucedan las catástrofes, los estados deben estar preparados y tomar medidas para atender a los afectados por un desastre (‘t Hart, 1993). Con respecto a estos lugares donde guarecerse suelen ser de dos clases, los refugios temporales, donde se recibe un cobijo inmediato, por un lapso de tiempo muy corto y justo sucedida la tragedia o catástrofe y los albergues permanentes, donde los afectados que han visto perturbada su hábitat normal deben permanecer por un tiempo mayor, hasta que su situación sea total o parcialmente resuelta. En este trabajo, el interés se centrará en los refugios temporales y en particular se estudiarán los desplazamientos de la población afectada hacia los mismos, considerando que estos refugios, aunque sean lugares al descampado, suelen tener una capacidad limitada. Los organismos responsables, deben identificar en la etapa pre-catástrofe todos estos lugares que pudiesen servir como refugios inmediatos, atendiendo a los diferentes tipos de catástrofes que pueden amenazar una determinada población. Estos refugios inmediatos, en algunos países, incluyendo entre ellos a Venezuela, además de lugares al descampado contemplan, colegios, iglesias e incluso instalaciones deportivas y edificios públicos. En todo caso, los entes estatales, responderían en parte a la afirmación de Carley & Harrald (1997), acerca que un mundo ideal es aquel donde los desastres son prevenidos o por lo menos se minimiza su impacto. Se hizo mención a la etapa pre-catástrofe, porque en muchas ocasiones al estudiar los desastres se dividen en tres etapas (García, Hernández & Hernández, 2010): pre-catástrofe, impacto o catástrofe propiamente dicha y post-catástrofe, o como lo señalan Pathirage et al. (2012), al referirse hacia donde deben dirigirse los esfuerzos, reducción del riesgo (pre-desastre), impacto y recuperación (post-desastre). Sin embargo algunos autores mencionan cinco fases: pre-impacto, impacto, respuesta, recuperación y reconstrucción, entendiendo que estas fases se dan en un ciclo permanente, donde la

reconstrucción de una catástrofe se puede ver como el pre-impacto de otra (Olson, 2000). Pero, en esta primera etapa, además de identificar los refugios se puede establecer un plan de desplazamientos, para evitar que personas afectadas, se dirijan a refugios que van a estar copados en el momento de su llegada. El arribar a un refugio que no puede recibir al afectado, le causará mayores preocupaciones, a la vez que lo obligará a realizar unos recorridos mayores, ocasionándole así, molestias adicionales. Se debe recordar que para algunos autores los desastres son definidos como situaciones de estrés colectivo ('t Hart, 1993). Aunque se puede pensar que no son más que un simple ensayo teórico, el establecer rutas de escape e incluso hacer simulacros de evacuación es una práctica muy común, ejemplos de ellos se pueden ver en: Escuadrón (2015); Quilicura (2013). En esta misma línea se dispone de un conjunto de documentos con recomendaciones para una evacuación (H&S, 2016; Osha, 2016; Tepatitlán, 2014; Ucl, 2015; Uwa, 2015). Por otra parte se pueden revisar muchos vídeos, tal como el que se muestra en el siguiente link: <https://www.youtube.com/watch?v=ioGM9d-FId0>, donde se filma todo el ensayo de un proceso de evacuación.

Desde un punto de vista matemático el prestar alivio a la población en casos de desastres, envuelve una gran cantidad de problemas de optimización muy complejos (Zheng, Chen & Ling, 2015). Con la permanente intención, de hacer uso de las herramientas de la investigación de operaciones para resolver problemas sociales, se ha pensado, que se pudieran usar algoritmos para determinar la ruta más corta para resolver el problema de los desplazamientos de los afectados hacia los refugios, evitando dirigirse a aquellos que pudiesen estar saturados. Se asumirá que estos caminos, que debe seguir la población no estén afectados por la catástrofe y en todo caso que los desplazamientos serán relativamente cortos, de manera que no se usará transporte alguno, sino que la población se moverá a pie. De todo lo anterior surge el objetivo general de este trabajo: Generar y utilizar una modificación al algoritmo de Dijkstra, para establecer las rutas a seguir por cada uno de los grupos de una población afectada por una catástrofe, desde su hábitat hasta el refugio que le corresponda, teniendo el conocimiento que los refugios tienen capacidad limitada.

Este objetivo general genera tres objetivos específicos:

Mostrar la importancia de los refugios en caso de catástrofes,

Presentar en qué consiste y las utilidades del algoritmo de Dijkstra y

Generar un algoritmo, basado en el algoritmo de Dijkstra, que ayude a grupos de afectados a seguir una ruta adecuada para llegar al refugio inmediato que le corresponde en el caso de una catástrofe.

## **Metodología**

Para alcanzar el objetivo general y sus objetivos específicos, se seguirá la Metodología Integradora-Adaptable para desarrollar Sistemas de Apoyo a las Decisiones [MIASAD] (García, Hernández & Hernández, 2011a; 2014). MIASAD, por su flexibilidad y su posibilidad de adaptarse a distintos tipos de investigación, como ya se ha señalado en varios trabajos donde ha sido utilizada (Barreto, 2012; García, Hernández & García, 2014; Guerrero, 2013; Hernández, García & Hernández, 2014, Jeney, 2014), se pueden aplicar de ella, únicamente los pasos que se consideren necesarios, por lo cual, en este trabajo sólo se seguirán los siguientes pasos:

- a) Definir el problema, que según lo indicado en los objetivos es generar y utilizar una modificación al algoritmo de Dijkstra, para establecer las rutas a seguir por cada uno de los grupos de una población afectada por una catástrofe, desde su hábitat hasta el refugio que le corresponda, teniendo el conocimiento que los refugios tienen capacidad limitada;
- b) Elaborar un primer prototipo, donde se deben identificar los usuarios del producto final, es decir los principales lectores de este artículo, ellos serán todos los interesados en la aplicación de la investigación de operaciones a la resolución de problemas sociales, en especial quienes estén interesados en la gestión de riesgo y en el manejo de catástrofes y en particular quienes deseen conocer alguna alternativa para manejar la población que debe desplazarse de su hábitat natural, por causas de una catástrofe. También se estableció la estructura del artículo, el cual además de la introducción y la metodología constará de tres capítulos centrales, en el primero de ellos, se presentará, muy brevemente, la importancia que tiene el haber establecido posibles refugios para alojar la población, en caso de una catástrofe, en el segundo capítulo, se presentará el algoritmo de Dijkstra, el cual permite crear arborescencias de distancias mínimas y en el tercer capítulo, que es el principal del trabajo, se detalla cómo a través de una simple modificación del algoritmo de Dijkstra, se puede crear un nuevo algoritmo, que facilite el desplazamiento de la población afectada por una catástrofe, hacia los diferentes refugios, cuando estos tienen la característica de estar limitados en su capacidad;
- c) Obtener datos, en este caso sobre catástrofes, en particular, desplazamientos poblacionales y sobre el algoritmo de Dijkstra;
- d) Establecer alternativas, que serían las distintas posibilidades que tienen los distintos grupos de la población afectada por una catástrofe para desplazarse a un refugio que los acoja;
- e) Evaluar alternativas, de acuerdo a las facilidades de desplazamiento de la población;
- f) Seleccionar la alternativa, de acuerdo a la evaluación previa y tomando en cuenta los objetivos secundarios, ya sean tácitos o explícitos;

- g) Implementar la mejor alternativa, ilustrar como se pudiese llevar a la práctica las rutas escogidas para cada grupo de la población afectada, desde su hábitat, hasta el refugio que le corresponda;
- h) Establecer controles, mecanismos, que permitan reconocer si la solución conseguida, sigue siendo válida en el transcurso del tiempo.

### **La importancia de los refugios durante una catástrofe**

Los refugios son sumamente importantes en caso de catástrofes (Anaya-Arenas, Renaud & Ruiz, 2012; Bayram & Yaman, 2015). Por ello antes de hablar de los refugios y su relevancia se harán unos breves comentarios sobre catástrofes. Como ya fue señalado los términos desastres y catástrofes pueden ser usados como sinónimos (Boin & McConnell, 2007; Foschiatti, 2004; García, Hernández & Hernández, 2010) y una definición frecuentemente usada es la de Noji (2000), quien presenta las catástrofes como el resultado de una ruptura ecológica importante de la relación entre los humanos y su medio ambiente, tal como sería un evento severo súbito (como un terremoto) o lento (como una sequía) de tal magnitud que la comunidad golpeada necesita esfuerzos extraordinarios para hacerle frente, a menudo con ayuda externa o apoyo internacional. En esta misma línea está la definición de Ferrando (2003), quien destaca que los desastres son procesos o eventos con efectos y resultado de connotación negativa tanto económica como social, por lo menos desde el punto de vista de la percepción de quienes lo sufren y que afectan parcial o totalmente el medio ambiente natural o construido, incluyendo en esta afectación su funcionalidad.

En cuanto los refugios para atender a la población en casos de catástrofes, por su importancia han sido estudiados en repetidas ocasiones (Bayram & Yaman, 2015; Xu, 2007; Xu et al., 2008), incluso bajo la óptica que interesa en este trabajo, es decir en el campo de la investigación de operaciones (Bayram & Yaman, 2015; Wilson, 2014; Zheng, Chen y Ling, 2015). El grupo de autores asociados a esta investigación, entre otros trabajos, han presentado: El uso de Modelos Multiatributos con factores multiplicativos para el entrenamiento en la selección de refugios (García, Hernández y Hernández, 2010); El uso de los dígitos decrecientes y el modelo A, B, C, para el manejo de las poblaciones en los albergues (García, Hernández y Hernández, 2011b); El uso de Matrices De Ponderación para la selección de refugios (Hernández, García y Hernández, 2011); El uso de un modelo AHP para la escogencia de refugios (Hernández, García y Hernández, 2014); El uso de estructuras de árboles de decisión para la asignación a los distintos refugios de los grupos familiares (Hernández et al., 2005). Adicionalmente en el trabajo de Hernández & García (2010), además de comentar algunas aplicaciones de modelos de la investigación de operaciones al manejo de refugios, se mencionan un amplio grupo de trabajos especiales de grado que se enfocan sobre la gestión de riesgos y que de manera directa cubren el tema de los refugios; entre estos trabajos destacan los de: Belozercovsky & Sensel, (2002); Gamboa & Peña, (2004);

Gómez & Zapata (2001); Hernández & Rodríguez (2005); López & Pérez (2006); Moleiro & Rojas (2006) y Rodríguez & Zabala (2002). De estos trabajos una mención aparte merece el de Belozercovsky & Sensel, (2002), ya que allí se establecieron las bases del aspecto principal de este trabajo, que es el manejo de poblaciones afectadas hacia refugios con capacidad limitada. Pero antes de entrar a discutir este aspecto, a continuación se presentará el algoritmo de Dijkstra.

### **El algoritmo de Dijkstra**

Un problema que, por su utilidad para resolver distintas situaciones empresariales y sociales, ha sido estudiado con una alta frecuencia es el problema de la ruta más corta (Shortest Path Problem [SPP]) (Biswal & Mohanty, 2014; Cui et al., 2013; Ebrahimnejad, Mousavi & Vahdani, 2013; Zhang, Zhang et al., 2014). Y uno de los métodos más usado para resolver el SPP es el algoritmo de Dijkstra (Caha & Dvorský, 2014; Deng et al., 2012; Zhang, Wang et al., 2014; Zhang, Zhang et al., 2014). Por eso es común encontrar aplicaciones de este algoritmo, ya sean directas (Wang et al., 2014; Wilson et al., 2014) o a través de modificaciones (Caha & Dvorský, 2014; Eglese, Maden & Slater, 2006; Loudni, Boizumault & David, 2006; Zhang et al., 2013) para resolver problemas tanto empresariales como sociales.

En Hernández & García (2010) se presenta una red  $R(V, E, d)$ , donde  $V$  es el conjunto de vértices y  $E$  el conjunto de arcos del grafo subyacente y  $d$  es una función de magnitud, que representa la distancia entre los nodos o algún otro parámetro de interés, como puede ser el tiempo o el costo del recorrido. Sobre este tipo de red se suele querer resolver alguno de los siguientes tres problemas:

- a) la distancia más corta entre cualquier par de vértices  $x$ ,  $y$  de  $V$ ,
- b) la distancia más corta entre un par de vértices  $(x, y)$  perfectamente definidos, o
- c) la distancia más corta entre uno de estos vértices, reconocido como origen o raíz ( $s$ ) y el resto de los vértices.

En estos tres casos se estará hablando de problemas de rutas más cortas. Evidentemente, en cada uno de estos tres casos el objetivo es encontrar la ruta más económica (ruta más corta), de acuerdo al parámetro de medida establecido (costo, tiempo, distancia o cualquier otro de interés). Para resolver estos problemas, en particular el tercero de ellos, hay diferentes algoritmos, pero, como ya se indicó, uno de los más conocidos es el de Dijkstra (Eglese, Maden & Slater, 2006; Loudni, Boizumault & David, 2006; Sakarovitch, 1979). En particular el algoritmo de Dijkstra, en un grafo fuertemente conexo, sin arcos negativos, permitirá encontrar una arborescencia desde el nodo raíz ( $s$ ) a cualquier nodo de la red. Se entenderá como grafo fuertemente conexo, si para cualquier par de nodos  $x$ ,  $y$  de una red  $R(V, E, d)$ , se puede establecer un camino desde  $x$  a  $y$ , o desde  $y$  a  $x$ .

En forma sencilla, tomado de Sakarovitch (1979), con pequeñas modificaciones, se puede enunciar el algoritmo de Dijkstra, a través de sus pasos:

Entrada:  $V, E, I, T, d_{i,j}, s$

Salidas:  $\pi, A, sraiz$

Inicio

$S := \{s\}; \pi(s) := 0; A(s) := -1; xpivote := s$

Para todo  $x \in V \neq s$  hacer

$\pi(x) := \infty$

fin para todo

Mientras  $S \neq V$  y  $\pi(xpivote) < \infty$  hacer

Para todo  $y \in (V - S) / (xpivote, y) \in E$  hacer

$Suma_y := \pi(xpivote) + d(xpivote, y)$

Si  $\pi(y) > Suma_y$  entonces  $\pi(y) = Suma_y; A(y) = xpivote$

fin si

fin para todo

$xpivote := x / \pi(x) = \text{Min}_{y \in (V - S)} \pi(y)$

$S := \{S \cup xpivote\}$

fin mientras

Si  $\pi(xpivote) = \infty$  entonces  $sraiz := \text{falso}$

Si no  $sraiz := \text{verdad}$

Fin Dijkstra

Revisado el algoritmo de Dijkstra, se pasará a desarrollar el modelo, para la evacuación de afectados, hacia refugios con capacidades reducidas.

### **Algoritmo para ayudar a grupos de afectados a seguir la ruta más adecuada hasta el refugio inmediato que le corresponde en el caso de una catástrofe**

El modelo con el cual se va a trabajar, y tal como se ha dicho, por una parte debe contemplar la capacidad limitada de los refugios hacia donde se quieren enviar los distintos grupos de afectados, los cuales se desea que permanezcan unidos, sobre todo si se trata de grupos familiares (Hernández et al., 2005; Hernández & Rodríguez, 2005) y por otra parte se trata de una simple adaptación, sin mayores variaciones del algoritmo de Dijkstra, que se pudiese describir como un Dijkstra invertido. Se desea, de cualquier nodo de la red que represente un grupo humano, llegar a un nodo destino, que sería un refugio inmediato, y lo que se hace es convertir este nodo terminal en nodo raíz y desde allí buscar, aplicando Dijkstra, los restantes nodos. Habiendo encontrado los diferentes caminos, invertirlos, sabiendo que en lugar de ir del nodo raíz (s), correspondiente al refugio inmediato, a cada nodo x, de la red, se irá desde cada nodo x, de la red al nodo refugio inmediato (s).

Lo importante del uso de este modelo, es cuando se tienen varios nodos destinos, es decir varios refugios inmediatos. Se puede repetir la corrida para cada uno de ellos, y luego, para cada nodo, correspondiente a un hogar, o lugar de trabajo, ver cuál de los refugios se visitó en mejores condiciones, y éste sería el

refugio inmediato a ser escogido para ese nodo de grupo humano, con su respectiva ruta, como se determinó desde un principio al correr el algoritmo de Dijkstra. Adicionalmente se debe contemplar que cada refugio tiene una capacidad limitada y que esto puede obligar a redefinir la ruta de algunos de los grupos humanos. En otras palabras a través de las distintas corridas de Dijkstra se determina, para cada grupo humano, que corresponden cada uno a un nodo, a cual refugio se deben dirigir, pero si la capacidad del refugio está copada se debe procurar asignar ese grupo humano a otro refugio. Si para algún grupo humano no se encuentra refugio con capacidad disponible, se asignará, este grupo, al refugio al cual cause menos sobre población.

En resumen el algoritmo a seguir, consistirá en:

Algoritmo: Recorrido de grupos humanos hacia refugios con capacidad limitada

Inicio

{Definir listas de partida}:

LNR: = {R1, R2, ... , Rn}; {LNR = Lista de nodos refugios}.

LNP: = {N1, N2, ... , Nm}; {LNP = Lista de nodos de personas}.

Para cada nodo de personas se determina cuántos grupos lo constituyen y el número de miembros de cada grupo.

Para cada nodo refugios se determina su capacidad máxima

Se asigna como capacidad remanente (CR) del refugio la capacidad máxima del mismo

Usando cada uno de los n refugios como raíz, se hacen n corridas del algoritmo de Dijkstra. {Una corrida para cada refugio}.

Se obtiene para cada nodo de persona un  $\pi$  desde cada uno de los nodos refugios

Se identifica la ruta desde el refugio hasta nodo de personas

Para cada nodo de personas se crea una lista ordenada de refugios de acuerdo a los valores de  $\pi$  y se conserva la ruta desde el nodo de personas hasta el refugio

Para cada grupo de personas pertenecientes a un nodo de personas se les asigna su  $\pi$  y su ruta

Se crea una lista de grupos de personas (LGP) ordenadas por los valores de  $\pi$

Partiendo desde el primer elemento de la LGP

Si el número de personas (NP) es menor o igual que la CR del refugio, se asigna este grupo de personas a este refugio y se actualiza  $CR = CR - NP$

Si no se calcula el valor de desviación (DES).  $DES = NP - CR$

Se pasa al próximo refugio de la lista

Si al finalizar la lista de refugios el grupo de personas no se pudo asignar a ningún refugio se asigna al refugio de menor DES y se actualiza la capacidad remanente de este refugio  $CR = CR - NP$

Se invierte la dirección de la ruta para tener la del nodo al refugio

Se pasa al próximo elemento de la lista LGP

Si no quedan grupos de personas en la lista LGP se culmina

Fin del algoritmo Recorrido de grupos humanos hacia refugios con capacidad limitada

Para visualizar como funcionaría el modelo, a continuación se presentará un caso hipotético.

### Validación del modelo a través de un caso hipotético

El modelo con el cual se va a trabajar, y tal como se ha dicho se basa en el algoritmo de Dijkstra y simplemente lo que hace es trabajarlo en forma invertida. En la figura 1, a través de nodos se presenta una población hipotética. En esta ilustración se tienen 20 nodos con ciudadanos, nodos desde el 01 hasta el número 20 y dos nodos que representan refugios R01 y R02.

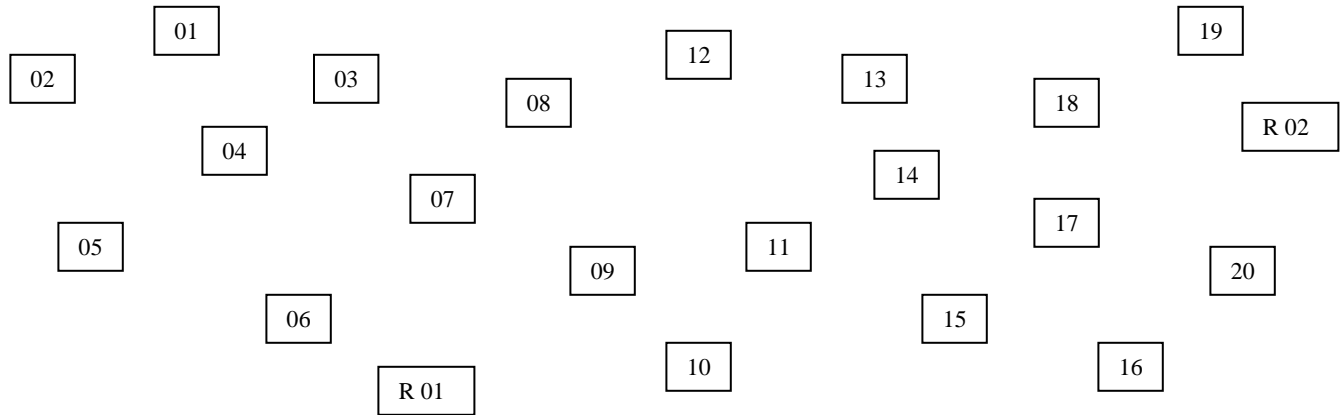


Figura 1.- Representación de una comunidad con dos refugios y veinte lugares con ciudadanos.

En la tabla 1, se incluyen las distancias entre cada uno de los nodos presentes en la figura 1.

Tabla 1. Distancias entre nodos y población (Pob) en cada centro.

Nodo- Pob	Nodos																					
	R01	R02	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R01	0	∞	∞	∞	4	3	4	1	2	3	2	3	3	5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
R02	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	6	∞	5	4	4	3	2	2	1	2
01- 6	∞	∞	0	1	1	1	2	∞	3	4	∞	∞	∞	6	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
02- 6	∞	∞	1	0	3	2	2	4	5	6	7	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
03- 8	4	∞	1	3	0	1	3	2	1	2	3	∞	5	4	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
04- 8	3	∞	1	2	1	0	2	2	2	3	4	6	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
05-10	4	∞	2	2	3	2	0	2	4	6	6	7	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
06-10	1	∞	∞	4	2	2	2	0	2	3	3	4	∞	6	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
07- 8	2	∞	3	5	1	2	4	2	0	1	1	3	4	3	5	5	∞	∞	∞	∞	∞	∞
08- 8	3	∞	4	6	2	3	6	3	1	0	2	∞	3	1	4	4	∞	∞	∞	∞	∞	∞
09- 6	2	∞	∞	7	3	4	6	3	1	2	0	1	2	2	3	3	4	∞	∞	∞	∞	∞
10- 6	3	∞	∞	∞	∞	6	7	4	3	∞	1	0	1	3	∞	∞	3	5	4	∞	∞	∞
11- 8	3	6	∞	∞	5	∞	∞	∞	4	3	2	1	0	2	2	1	2	∞	3	∞	∞	∞
12- 8	5	∞	6	∞	4	∞	∞	6	3	1	2	3	2	0	2	3	4	∞	∞	∞	∞	∞
13-10	∞	5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	5	4	3	∞	2	2	0	1	∞	∞	2	2	4	∞
14-10	∞	4	∞	∞	∞	∞	∞	∞	5	4	3	∞	1	3	1	0	1	3	1	2	∞	∞
15- 8	∞	4	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4	3	2	4	∞	1	0	2	1	2	∞	3
16- 8	∞	3	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	5	∞	∞	∞	3	2	0	1	∞	4	1

Tabla 1. Distancias entre nodos y población (Pob) en cada centro.														(Continuación)								
Nodos																						
Nodo- Pob	R01	R02	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
17- 6	∞	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4	3	∞	2	1	1	1	0	1	3	2
18- 6	∞	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	2	2	∞	1	0	1	2
19- 8	∞	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4	∞	∞	4	3	1	0	3
20- 6	∞	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3	1	2	2	3	0

En la figura 1, para los nodos que representan comunidades de ciudadanos, al lado de cada uno, en la primera columna, se muestran el número de ciudadanos que se pueden encontrar en el mismo. Los valores de la tabla 1 son las distancias directas y de no existir se ha colocado ∞.

A partir de los valores de la tabla 1, se aplica el algoritmo de Dijkstra, primero usando como nodo de partida el R01 y luego partiendo desde el R02, en ambos casos el interés está centrado en los caminos opuestos, es decir hacia los R01 y R02. De los resultados de estas dos corridas de Dijkstra, para cada uno de los nodos donde se encuentran ciudadanos se representan en la figura 2a y 2b, la distancia más corta al refugio más cercano.

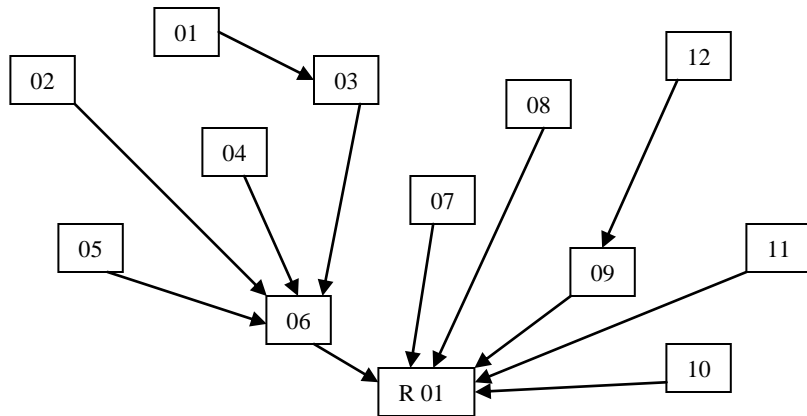


Figura 2a.- Nodos con ciudadanos, más cercanos al R01.

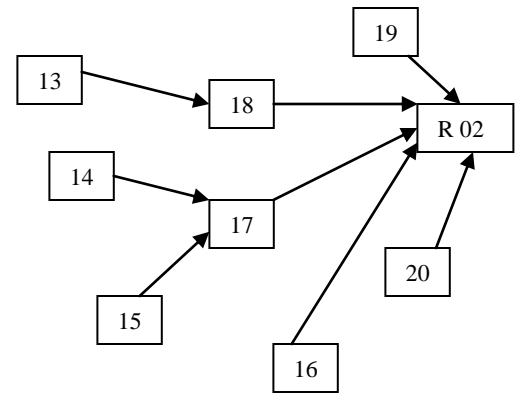


Figura 2b. Nodos con ciudadanos, más cercanos al R02.

Para conocer la distancia recorrida desde cada nodo, simplemente se ven los valores en la tabla 1, así desde el 01 hasta R01 se recorren 1 (desde 01 a 03) + 2 (03 a 06) + 1 (06 a R01) en total 4 unidades de distancia. De la misma manera se puede hacer para cualquier otro nodo. De tener capacidad ilimitada tanto R01 como R02, todos los ciudadanos se deberían dirigir a su refugio más cercano y de esta manera a R01 llegarían (6 + 6 + 8 + 8 + 10 + 10 + 8 + 8 + 6 + 6 + 8 + 8) 92 ciudadanos procedentes de los 12 nodos más cercanos y a R02 llegarían (10 + 10 + 8 + 8 + 6 + 6 + 8 + 6) 62 ciudadanos procedentes de los 8 nodos más cercanos a este refugio. En este caso el recorrido total de los ciudadanos que van a R01 sería (4 + 5 + 3 + 3 + 3 + 1 + 2 + 3 + 2 + 3 + 3 + 4) 36 unidades de recorrido, mientras los que se dirigen a R02

harían  $(4 + 3 + 3 + 3 + 2 + 2 + 1 + 2)$  20 unidades de recorrido. Y donde el recorrido mayor para un ciudadano sería de 5 unidades de recorrido, que deben hacer los ciudadanos ubicados en 02.

La situación cambia si los refugios, como es normal, tienen capacidad limitada, supóngase que cada refugio sólo tiene capacidad para 80 ciudadanos, es decir entre los dos refugios pueden recibir hasta seis ciudadanos más de lo que sería la población esperada. Pero ahora hay 12 ciudadanos que no podrán ser recibidos en el R01 y que deben desplazarse hasta el R02.

Para ilustrar esta situación, en la tabla 2, se muestra, de acuerdo a las corridas simultáneas de Dijkstra, desde cada uno de los refugios R01 y R02, como irían entrando los nodos y a que refugio se debería dirigir la población.

Tabla 2. Orden de entrada de cada uno de los nodos con ciudadanos.

R01					R02				
Nodo	Población	Orden de entrada	Distancia al refugio	Capacidad remanente del refugio	Nodo	Población	Orden de entrada	Distancia al refugio	Capacidad remanente del refugio
06	10	01	1	70	19	8	02	1	72
07	8	03	2	62	17	6	05	2	66
09	6	04	2	56	18	6	06	2	60
03	8	08	3	48	20	6	07	2	54
04	8	09	3	40	14	10	14	3	44
05	10	10	3	30	15	8	15	3	36
08	8	11	3	22	16	8	16	3	28
10	6	12	3	16	13	10	18	4	18
11	8	13	3	8	12	8	19	6	10
01	6	17	4	2	02	6	20	11	4

Con esta nueva distribución de los nodos los recorridos totales, tal como se puede ver en la figura 2, hacia los refugios serían 27 unidades de distancia hacia el R01 y 37 unidades de distancia hacia el R02, es decir un recorrido mayor en  $(64 - 56)$  8 unidades de distancia. Pero, más que este aumento en el recorrido total, es notorio que ahora la población del nodo 02, debe recorrer 11 unidades de distancia, lo que significa un aumento bastante considerable, con respecto a las 5 unidades que se deberían recorrer cuando los refugios no tenían capacidad limitada. Para mostrar este largo recorrido desde 02 hasta R02, en la figura 3, se han usado líneas punteadas, además los caminos que van a R02 se han señalado un poco más gruesos, que los que van a R01.

A simple vista, en la figura 3 y con apoyo de la tabla 2, se puede ver que si realiza el cambio del nodo 10, que tiene la misma población hacia el refugio R02 y se deja el nodo 02 hacia el refugio R01, se bajaría el recorrido total, aunque ahora sería a la población de 10 la que debe hacer un recorrido equivalente al

doble que hacía al dirigirse al R01. Igualmente si el intercambio se hace con el nodo 11, también se lograría una mejora total y en este caso la población del nodo 11 sólo tendría que recorrer una unidad de distancia adicional. Sin embargo estos serían arreglos realizados fuera del algoritmo. En todo caso, con lo presentado hasta ahora se pueden ofrecer algunas conclusiones y recomendaciones.

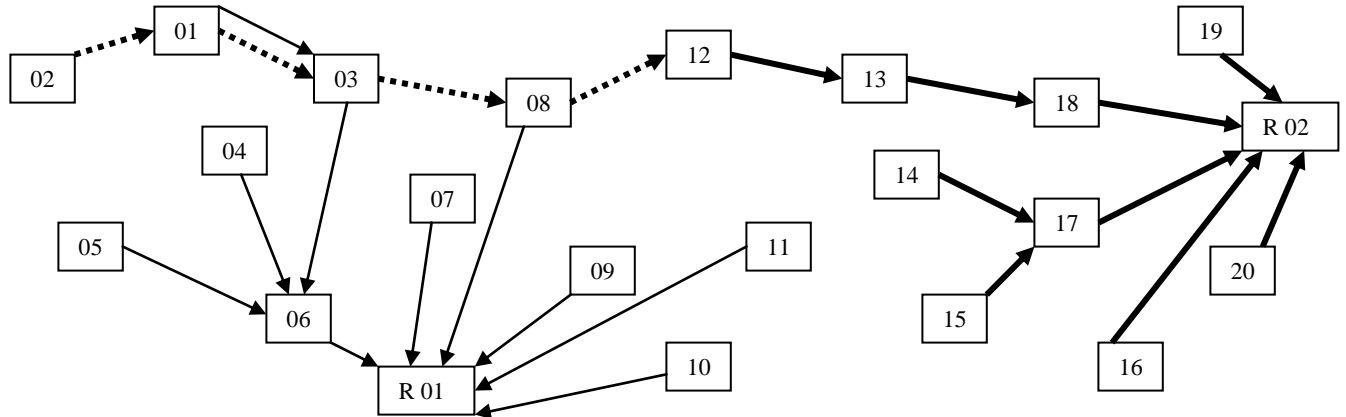


Figura 3.- Recorridos a los refugios R01 y R02, cuando se tienen capacidades limitadas.

### Conclusiones y recomendaciones

Aunque la situación estudiada en este trabajo es hipotética, puede representar la realidad de una pequeña población, para la cual se esté planificando las rutas a seguir desde cada uno de los núcleos poblacionales hacia los refugios inmediatos. Por supuesto en el momento de la catástrofe, las rutas pudiesen haber quedado comprometidas, así como los refugios previamente escogidos, sin embargo, desde el punto de vista de planificación, puede constituir un buen ejercicio, que incluso puede servir para preparar la población y con ello ofrecerle una mayor tranquilidad.

Con la ilustración presentada, se pudo ver la importancia del algoritmo de Dijkstra, así como lo importante que es disponer de posibles refugios, para los distintos tipos de catástrofes que pueden amenazar a una población dada. De esta manera se cumplieron los objetivos específicos establecidos. Al mostrar los cambios en las rutas de desplazamiento que se deben hacer si los refugios se saturan, se cumplió también con el objetivo general. Y aunque no se presentaron distintos casos, como pudiese ser cuando todos los refugios se saturan y deben recibir ciudadanos más allá de su capacidad, la ilustración presentada permitir tener una idea bastante clara, de cómo funcionaría el algoritmo e incluso, como se puede adaptar a una situación real, donde se pudieron haber perdido refugios que se habían preestablecido o se pudo haber perdidos caminos que se esperaba recorrer.

Sin embargo, la solución obtenida al usar una modificación de Dijkstra es una solución factible, en el sentido que a cada refugio llega la cantidad de personas que pueden llegar, pero no es una solución óptima, dado que no se usa ningún parámetro de optimización para obtener la misma. Por lo cual se

recomienda establecer algún parámetro de optimización, como pudiese ser el recorrido total mínimo y a partir de allí usar otros algoritmos de investigación de operaciones para conseguir esas soluciones óptimas.

## Referencias

- Anaya-Arenas, A. M., Renaud, J. & Ruiz, A. “*Relief Distribution Networks: A Systematic Review*”, Working paper (Document de travail), CIRRELT-2012-55, Faculté des sciences de l’administration, Université Laval Québec, Québec, Canada, 1-23 (2012).
- Barreto O., E. A. “*Gestión del conocimiento a través del Gerente de Proyectos de un modelo logístico*”, Disertación Maestría en Administración, mención Gerencia de empresas, Universidad Metropolitana, Caracas, Venezuela (2012).
- Biswal, S. & Mohanty, S. P. “*Shortest Path Problem under Rough and Uncertain Environment*”, American International Journal of Research in Science, Technology, Engineering & Mathematics, 7(2), 117-124 (2014).
- Bayram, V. & Yaman, H. “*Shelter location and evacuation route assignment under Uncertainty: A Benders decomposition approach*”, Optimization Online, disponible, enero 2016 en: [http://www.optimization-online.org/DB\\_HTML/2015/12/5253.html](http://www.optimization-online.org/DB_HTML/2015/12/5253.html) (2015).
- Boin, A. & McConnell, A. “*Preparing for Critical Infrastructure Breakdowns: The Limits of Crisis Management and the Need for Resilience*”, Journal of Contingencies and Crisis Management, 15(1), 50-59 (2007).
- Belozerovsky, C. & Sensel, D. “*Sistema de apoyo a la toma de decisiones en caso de una catástrofe natural*”. Trabajo especial de grado. Venezuela: Universidad Metropolitana (2002).
- Caha, J. & Dvorský, J. “*Optimal path problem with possibilistic weights*”, in Proceedings GIS Ostrava 2014 - Geoinformatics for Intelligent Transportation, 1-9 (2014).
- Carley, K. M. & Harrald, J. R. “*Organizational Learning under Fire: Theory and Practice*”, American Behavioral Scientist, 40(3), 310-332 (1997).
- Cui, Ch., Zhang, X., Li, Y & Deng, Y. “*A Novel Approach to Multi-criteria Route Selection Problem Based on Fuzzy AHP and Amoeba Algorithm*”, Journal of Information & Computational Science, 10(16), 5217-5224 (2013).
- Deng, Y., Chen, Y., Zhang, Y. & Mahadevan, S. “*Fuzzy Dijkstra algorithm for shortest path problem under uncertain environment*”, Applied Soft Computing, 12, 1231-1237 (2012).
- Ebrahimnejad, S., Mousavi, S. M. & Vahdani, B. “*A new algorithm for the discrete Shortest Path Problem in a network based Fuzzy Sets*”, Journal of Optimization in Industrial Engineering, 13, 27-37 (2013).
- Escuadrón. “*Escuela de Lenguajes `Palabras Mágicas`. Ensayo de evacuación jornada de la mañana*”, disponible, enero 2016 en: <http://escueladelenguajepalabramagicas.blogspot.com.es/2015/03/primer-ensayo-de-evacuacion-por-sismo.html> (2015).

Eglese, R., Maden, W. & Slater, A. “A road Timetable <sup>TM</sup> to aid vehicle routing and scheduling”, *Computers & Operations Research*, 33(12), 3508-3519 (2006).

Ferrando A., F. J. “*En torno a los desastres ‘naturales’: Tipología, conceptos y reflexiones*”, *Boletín INVI*, 18(47), 13-29 (2003).

Foschiatti, A. M. H. “*Vulnerabilidad Global y Pobreza. Consideraciones conceptuales*”, *Revista Geográfica Digital IGUNNE*, 1(2), 1-20 (2004).

Gamboa, D. & Peña, D. “*Sistema de apoyo para manejo de inventarios en presencia de donaciones*”. Trabajo especial de grado. Venezuela: Universidad Metropolitana (2004).

García G., M. J., Hernández G., G. J. & Hernández R., J. G. “*Training to Confront Catastrophes with a Multiattribute Model: Selection of Possible Shelters*”, in *Intelligent Networking and Collaborative Systems*, International Conference INCOS, 2010, doi:10.1109/INCOS.2010.49, IEEE Computer Society, 490-495 (2010).

García G., M. J., Hernández G., G. J. & Hernández R., J. G. “*A Methodology of The Decision Support Systems applied to other projects of Investigation*”, in Mehdi K. (Ed.), *Encyclopedia of Information Science and Technology*, Third Edition: Hershey, PA: IGI Global, V3, 1978-1990 (2014).

García, M. J., Hernández, J. G. & Hernández, G. J. “*Una Metodología Integradora-Adaptable para desarrollar Sistemas de Apoyo a las Decisiones (MIASAD)*”, en J. Valderrama (Ed.), *Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Procesos CAIP'2011*, España: Universidad de Girona, 753-760 (2011a).

García G., M. J., Hernández R., J. G. & Hernández G., G. J. “*Los dígitos decrecientes y el modelo A, B, C: una propuesta para el manejo de poblaciones en albergues*”, *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 18(1), 163–175 (2011b).

Gómez, M. & Zapata, E. “*Catástrofes naturales: Plan de acción para evaluación y asistencia*”. Trabajo especial de grado. Venezuela: Universidad Metropolitana (2001).

Grove, K. “*Preempting the next disaster: Catastrophe insurance and the financialization of disaster management*”, *Security Dialogue*, 43(2), 139-155 (2012).

Guerrero M., L. E. “*Indicadores de gestión para el Gerente de Picking del Modelo Logístico Basado en Cargos (MoLoBaC)*”, *Disertación Maestría en Ingeniería gerencial*, Universidad Metropolitana, Caracas, Venezuela (2013).

Hernández, J. G. & García, M. J. “*Mathematical models generators of Decision Support Systems for help in case of catastrophes. An experience from Venezuela*”, in *Advanced ICTs for Disaster Management and Threat Detection: Collaborative and Distributed Frameworks*, E. Asimakopoulou and N. Bessis, Eds. USA: IGI Global, 201-220 (2010).

Hernández R., J. G., García G., M. J. y Hernández G., G. J. “*Matrixes Of Weighing and Catastrophes*”, *International Journal of Distributed Systems and Technologies*, 2(1), 14-28 (2011).

Hernández R., J. G., García G., M. J. & Hernández G., G. J. “*Shelter Selection with AHP Making Use of the Ideal Alternative*”, in Mehdi K. (Ed.), *Encyclopedia of Information Science and Technology*, Third Edition: Hershey, PA: IGI Global, V3, 2003-2015 (2014).

Hernández, J., Nieto, C., García, M., Hernández, L. & Rodríguez V. “*Control poblacional, con la ayuda de modelos, en caso de una catástrofe*”, 1er Encuentro Internacional. 2do Encuentro Nacional Educación Superior y Riesgos. Hábitat y Riesgo. El rol de las Universidades; Universidad Central de Venezuela; Caracas, Venezuela, publicado en CD del evento (2005).

Hernández, L. & Rodríguez, V. “*Herramienta de apoyo para la ayuda del control poblacional y preservación del núcleo familiar ante una catástrofe*”. Trabajo especial de grado. Venezuela: Universidad Metropolitana (2005).

H&S. “*Emergency evacuation drills*”, disponible, enero 2016 en: <http://www.healthandsafety.gov.yk.ca/our-health-safety-system/emergency-preparedness/emergency-evacuation-drills> (2016).

Jeney, A. “*Impacto del Gerente de Sistemas de Información y Redes del Modelo Logístico Basado en Cargos en la gestión del conocimiento de una organización, medido a través de una Matriz De Ponderación*”, Disertación Maestría en Gerencia de Sistemas, Universidad Metropolitana, Caracas, Venezuela (2014).

López, L. & Pérez, M. “*Deslaves e inundaciones: Sistema de emergencia para el municipio Baruta*”. Trabajo especial de grado. Venezuela: Universidad Metropolitana (2006).

Loudni, S., Boizumault, P. & David, P. “*On-line resources allocation for ATM networks with rerouting*”, *Computers & Operations Research*, 33(10), 2891-2917 (2006).

Moleiro, A. & Rojas, K. “*Sistema de apoyo para el manejo de afectados en una catástrofe*”. Trabajo especial de grado. Venezuela: Universidad Metropolitana (2006).

Noji, E. K. “*Naturaleza de los desastres: sus características generales y sus efectos en la salud pública*”, en E. K. Noji (Ed.), *Impacto de los desastres en la salud pública* (Fabio A. Rivas & Carlos A. Hernández Trad.). Colombia: Organización Panamericana de La Salud, 3-20 (2000).

Olson, R. S. “*Toward a Politics of Disaster: Losses, Values, Agendas, and Blame*”, *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, 18(2), 265-287 (2000).

Osha. “*Evacuation plans and procedures etools*”, disponible, enero 2016 en: <http://www.osha.gov/SLTC/etools/evacuation/implementation.html> (2016).

Pathirage, Ch, Seneviratne, K., Amaratunga, D. & Haigh, R. “*Managing Disaster knowledge: Identification of Knowledge Factors and challenges*”, *International Journal of Disasters Resilience in the Built Environment*, 3(3), 237-252 (2012).

Quilicura. “*Colegio San Carlos Quilicura. Ensayos de Evacuación*”, disponible, enero 2016 en: <http://colegiosancarlosquilicura.cl/ensayos-de-evacuacion/> (2013).

Rodríguez, D. & Zabala, J. “*Trasporte para el traslado de heridos y afectados desde refugios a centros de asistencia y albergues*”. Trabajo especial de grado. Venezuela: Universidad Metropolitana (2002).

Sakarovitch, M. “*Techniques mathématiques de la recherche opérationnelle III – Optimisation dans les réseaux*”, France: Université Scientifique et Médicale Institut National Polytechnique de Grenoble (1979).

‘t Hart, P. “*Symbols, Rituals and Power: The Lost Dimensions of Crisis Management*”, Journal of Contingencies and Crisis Management, 1(1), 36-50 (1993).

Tepatitlán. “*Guía practica para la realización de simulacros de Evacuación*”, disponible, enero 2016 en: [http://www.tepatitlan.gob.mx/ciudadanos/documentos/sabias\\_que/proteccion\\_civil/guia\\_practica\\_para\\_la\\_realizacion\\_de\\_simulacros\\_evacuacion.pdf](http://www.tepatitlan.gob.mx/ciudadanos/documentos/sabias_que/proteccion_civil/guia_practica_para_la_realizacion_de_simulacros_evacuacion.pdf) (2014).

Ucl. “*Guide to carrying out a supervised fire evacuation drill*”, disponible, enero 2016 en: [http://www.ucl.ac.uk/estates/maintenance/fire/documents/UCLFire\\_TN\\_103.pdf](http://www.ucl.ac.uk/estates/maintenance/fire/documents/UCLFire_TN_103.pdf) (2015).

Uwa. “*The University of Western Australia. Fire and evacuation drills*”, disponible, enero 2016 en: [http://www.ucl.ac.uk/estates/maintenance/fire/documents/UCLFire\\_TN\\_103.pdf](http://www.ucl.ac.uk/estates/maintenance/fire/documents/UCLFire_TN_103.pdf) (2015).

Wang, H., Lu, X., Zhang, X., Wang, Q. & Deng, Y. “*A Bio-Inspired Method for the Constrained Shortest Path Problem*”, The Scientific World Journal, Article ID 271280, 1-11 (2014).

Wilson, D. T. “*Online Optimisation of Casualty Processing in Major Incident Response*”, Doctoral dissertation, Durham University, Durham, United Kingdom (2014).

Wilson, D. T., Hawe, G. I., Coates, G. & Crouch, R. S. “*Evaluation of centralised and autonomous routing strategies in major incident response*”, Safety Science, 70, 80-88 (2014).

Xu, W. “*Development of a Methodology for Participatory Evacuation Planning and Management: Case Study of Nagata, Kobe*”, Doctoral Dissertation, Kyoto University, Kyoto, Japan (2007).

Xu, W., Okada, N., Hatayama, M. & Takeuchi, Y. “*A model analysis approach for reassessment of the public shelter plan focusing both on accessibility and accommodation capacity for residents - Case study of Nagata ward in Kobe city, Japan*”, Journal of Natural Disaster Science, 28(2), 85-90 (2008).

Zhang, X., Wang, Q., Adamatzky, A., Chan, F. T. S., Mahadevan, S. & Deng, Y. “*An Improved Physarum polycephalum Algorithm for the Shortest Path Problem*”, The Scientific World Journal, Article ID 487069, 1-9 (2014).

Zhang, X., Zhang, Y., Zhang, Z., Mahadevan, S., Adamatzky, A. & Deng, Y. “*Rapid Physarum Algorithm for shortest path problem*”, Applied Soft Computing, 23, 19-26 (2014).

Zhang, X., Zhang, Z., Zhang, Y., Wei, D. & Deng, Y. “*Route selection for emergency logistics management: A bio-inspired algorithm*”, Safety Science, 54, 87-91 (2013).

Zheng, Y., Chen, S. & Ling, H. “*Evolutionary optimization for disaster relief operations: A survey*”, Applied Soft Computing, 27, 553-566 (2015).