

Route selection for emergency logistics management

Maximiliano Osorio¹

Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.
`mosorio@inf.utfsm.cl`

Resumen *Route selection* es uno de los problemas fundamentales en la gestión de logística en caso de emergencia. En la literatura el problema ha sido tratado considerando la velocidad de viaje entre los nodos constante. Pero, la velocidad de viaje es variable con la extensión del desastre, especialmente en huracanes o inundaciones. En este documento dos modelos matemáticos son presentados para la selección de rutas para emergencia: el primero, un modelo de un objetivo que considera el efecto del desastre en tiempo de viaje entre cada arco, o sea, el objetivo del modelo es minimizar el tiempo total de viaje a lo largo del camino y el segundo, un modelo multi objetivo donde busca minimizar el tiempo y el número de los nodos en el camino. Ambos resueltos con el uso de *Ant colony system*.

Keywords: Ant Colony Optimization, Route guidance system, Disaster simulation

1. Introducción

En los recientes años, los frecuentes desastres naturales y no naturales han producido una gran daño a la población, por ejemplo en Chile: Terremoto de 2010 en Concepción y tsunami (27F), Gran Incendio de Valparaíso 2014, Inundación del Norte de Chile en 2015 e Incendio Zona Centro/Sur de Chile en 2017 por lo cual es interesante observar los procedimientos de logística asociados a este tipo de desastres. La logística es una de las mayores actividades durante y después de la emergencia, la entrega de alimentos, medicamentos, abrigo deben ser entregados desde la zona de almacenamiento al área afectada de la manera más rápida posible. Es por eso que el diseño de rutas en casos de emergencia es un tema interesante de desarrollar.

En este documento se busca entender las variables que afectan al problema, su historia, consideraciones a tomar y los avances que se han realizado en la literatura. Para luego, en las próximas secciones describir de manera más amplia el problema, sus modelos y sus estrategias de resolución. Finalizando con las secciones relacionadas a la implementación donde se describirá la utilización de *Ant Colony System* para el problema. Definición de variables y parámetros:

- Una red de emergencia es definida por un grafo regular directamente conectado $G(V, A)$, donde $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ es el conjunto de nodos y $A \subseteq V \times V$ es el conjunto de arcos donde v_1 es el nodo inicial y v_n es el nodo final.

II

- l_{ij} denota el largo de los arcos que se encuentra entre los nodos v_i y v_j , donde $(v_i, v_j) \in A$.
- s_{ij}^0 es la velocidad entre los arcos (v_i, v_j) en condiciones normales. Sea $s_{ij}(t)$ es la velocidad de viaje en el arco (v_i, v_j) bajos las condiciones del desastre en el tiempo t .

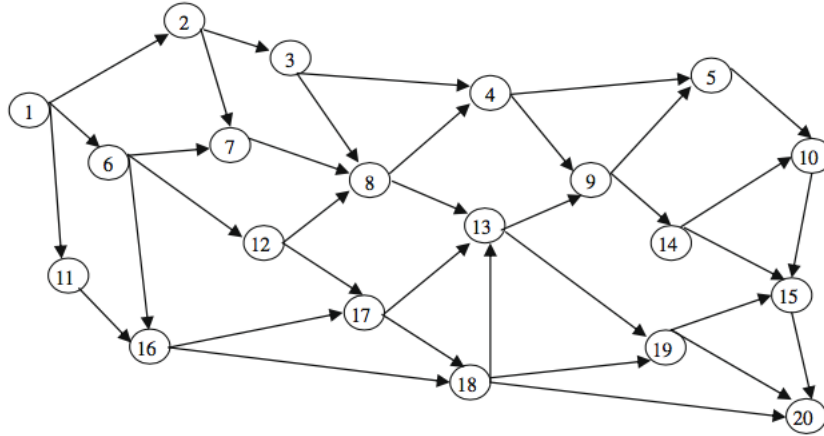


Figura 1. Estructura de una red de emergencia

A partir de la observación de desastre como huracanes e inundaciones Se afirma que la velocidad de viaje en cada arco de la red decrece con el impacto del desastre. [1] La disminución de la velocidad de viaje es dependiente a la posición del arco, el tipo de desastre, etc. Sin pérdida de generalidad, la función de velocidad puede representarse como:

$$s_{ij}(t) = s_{ij}^0 \alpha_{ij} e^{-\beta_{ij} t} \quad (1)$$

Donde α_{ij} y β_{ij} son los parámetros decrecientes que determinan la disminución de la velocidad del viaje $s_{ij}(t)$, α_{ij} y β_{ij} pueden ser estimados de acuerdo a factores como la distancia desde arco (v_i, v_j) al centro del desastre, la vulnerabilidad del arco, el tipo de desastre, etc.

- Sea t_{ij} el tiempo necesario para viajar a través del arco (v_i, v_j) , se calcula como $t_{ij} = t_j - t_i$.
- Sea x_i la ciudad visitada en la posición i
- P denota el camino realizado, o sea la secuencia de nodos en la red que se elige. Sea p_k el numero de la secuencia del nodo v_{p_k} en la red, entonces P puede ser presentado como $(v_{p_1}, v_{p_2}, \dots, v_{p_k}, \dots, v_{p_K})$ donde $1 \leq p_k \leq n$ y k

es la secuencia del nodo v_{p_k} en el camino P. P debe iniciar en el nodo inicial $p_1 = 1$ y $p_K = n$. Y no deben existir ciclos.

- Sea $ET(P, v_{p_k})$ el tiempo de viaje desde el v_{p_1} que termina en v_{p_k} a lo largo de $(v_{p_1}, v_{p_2}, \dots, v_{p_k})$ donde $1 \leq p_k \leq n$. A partir de eso se determina que:

$$ET(P, v_{p_k}) = \sum_{m=1}^{k-1} t_{p_m p_{m+1}} = (t_{p_2} - t_{p_1}) + (t_{p_3} - t_{p_2}) + \dots + (t_{p_k} - t_{p_{k-1}}) = t_{p_k} \quad (2)$$

A partir de lo anterior podemos calcular el tiempo de un camino, dado que:

$$t_{p_1} = t_1 = 0 \quad (3)$$

$$\int_{t_{p_{k-1}}}^{t_{p_k}} s_{p_{k-1} p_k}(t) dt = l_{p_{k-1} p_k} \quad 2 \leq k \leq K \quad (4)$$

$$(5)$$

En la ecuación (4) conocemos el límite inferior de la integral, el integrando $s_{p_{k-1} p_k}$ y el resultado de $l_{p_{k-1} p_k}$ por lo tanto se puede obtener el limite superior t_{p_k} . Por recursividad se puede obtener los valores de t_{p_k} para los nodos v_{p_k} con $1 \leq p_k \leq n$.

1.1. Modelo matemático

Considerando lo descrito por [2,3]: se diseñan dos modelos con distintos objetivos: el primero busca la minimización del tiempo y el segundo busca múltiples objetivos: la minimización del tiempo y de la cantidad de nodos en la ruta.

Minimización del tiempo La formulación del *path selection model* se describe de la siguiente manera:

El objetivo del modelo es minimizar el tiempo empleado en el camino. Las ecuaciones (7), (8) y (9) son parte de la fórmula de recursión del tiempo total para el camino. En la ecuación (10) la función decreciente de la velocidad de viaje en el arco (v_i, v_j) . La restricción (11) asegura un camino factible desde v_1 hasta v_n y la restricción (12) asegura que no existan ciclos.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

$$\int_{t_i}^{t_j} s_{ij}(t) dt = l_{ij} \quad (7)$$

$$t_{ij} = t_j - t_i \quad (8)$$

$$t_1 = 0 \quad (9)$$

$$s_{ij}(t) = s_{ij}^0 \cdot \alpha_{ij} e^{-\beta_{ij} \cdot t} \quad (10)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n x_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n x_{ji} = \begin{cases} 1 & i = 1 \\ -1 & i = n \\ 0 & eoc \end{cases} \quad (11)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n x_{ij} = \begin{cases} \leq 1 & i \neq n \\ = 0 & i = n \end{cases} \quad (12)$$

$$x_{ij} = 0, 1; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

Multi-objetivo *path selection* Southworth (1991) [2] y Cova (2003) han mostrado que la mayor congestión sucede en las intersecciones de dos arcos en una red de emergencia, cuando se viaja en un camino con menor número de arcos es más fácil y rápido seguir el camino. La complejidad del camino puede obtenerse por el número de arcos incluidos en un camino.

$$\min f_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} \quad (14)$$

$$\min f_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (15)$$

Las restricciones se heredan del modelo anterior.

2. Estado del Arte

Path selection es uno de los problemas fundamentales de logística. En los recientes años, los frecuentes desastres naturales ha incentivado la investigación en el área. En [4] se propone un modelo para diseño de rutas en caso emergencias, el objetivo es minimizar la demanda insatisfecha en la ruta planeada. El plan logístico de emergencia incluye los puntos óptimos donde recoger y entregar los materiales en las rutas, estas rutas son regeneradas mientras nuevos materiales y modos de transportes se vuelven disponibles, pero no considera que el tiempo de viaje puede variar según el efecto de la catástrofe sobre los caminos. Según [5, ?] es importante considerar el efecto de la catástrofe sobre los caminos dado que las condiciones de viaje entre los nodos pueden verse fuertemente afectadas por la extensión del desastre, especialmente en desastre como huracanes e inundaciones que se extienden en tiempo y espacio. Otros trabajos como [6] construyeron un modelo para expresar el efecto de la extensión de un desastre en los caminos, el efecto es representado con la variación de la velocidad de viaje. Para la resolución de este problema se utilizan dos técnicas: la primera basada en el algoritmo de Dijkstra, donde la idea es encontrar el camino más corto paso a paso y un

algoritmo que está basado en Ant colony optimization (ACO).

En [7] se propone un algoritmo inspirado en la biología observando y modelando el comportamiento de las ameboides para calcular las rutas de emergencia donde la velocidad de los arcos es variable.

Por otra parte investigaciones relacionadas [2,3] han mostrado que las mayores congestiones de un desastre son producidas en las intersecciones de dos arcos en una ruta de emergencia, produciendo un nuevo problema *Lane-based routing* donde la estrategia busca eliminar los cruces en las intersecciones. Por otra parte, en [8] se propone un método para resolver una evacuación considerando el cruce de intersecciones *lane-based* utilizando tabú search y relajación lagrangiana. En [9] se propone un modelo de programación entera para asignar la ruta óptima en caso de evacuación considerando el tiempo total, distancia total y posibilidad de bloqueo por congestión. En [10] entrega rutas de evacuación incluyendo planes para la distribución de vehículos y estrategias de enrutamiento, estas son determinados por un modelo difuso de evaluación basado en parámetros [10]. Dada la incertidumbre y complejidad del ambiente en la emergencia, estos modelos tienen serias limitaciones en manejar el proceso de evaluación basado en los comportamientos individuales [11].

En [12] describe una emergencia considerando múltiples aspectos: minimizar el camino de salida en un edificio con múltiples salidas y niveles, utiliza ACO modificado para encontrar una ruta posible para resolver el problema. Define distintos tipos de agentes según el sector: agente señal de salida, agente de pasillo, agente de escaleras y agente habitante. En [13,14] se presenta un ACO multi objetivo para resolver problemas de evacuaciones con dos objetivos: minimizar el tiempo total de la evacuación y minimizar el número de arcos en camino total. Además utiliza modelo *multi-ant colony system* para considerar la evacuación de automóviles y peatones. Los experimentos son realizados con una simulación del estadio *Wuhan Sports Center* que se representa 157 nodos dentro del estadio, 319 caminos fuera del estadio y 8 zonas de seguridad. En [15] se desarrolla un ACO para optimizar evacuaciones de personas en caso de tsunami considerando la seguridad, la calidad y la pendiente de los caminos. La simulación se realiza en la ciudad de Peuco Chile donde se representa con 67 nodos y dos zonas de seguridad.— En [16] se propone una mejora de ACO, que utiliza una nueva feromona llamada desodorante que elimina la feromona común de ACO cuando un camino peligroso ha sido encontrado, de esta manera poder entregar un mayor nivel de seguridad. En [11] se propone la utilización de *quantum ant colony algorithm (QACA)* utilizando conceptos y reglas de computación cuántica y ACO.

En [17] se utiliza un algoritmo evolutivo multi objetivo y sistemas de información geográfica para realizar una estrategia de evacuación. En el modelo se busca maximizar la capacidad de las áreas seguras y minimizar la distancia a ellos utilizando el algoritmo llamado **NSGA-II**.

En [18,19] se propone el uso *particle swarm optimization (PSO)* para la evacuación de peatones en áreas con alto tráfico, el uso de PSO busca poder utilizar la inteligencia individual y colectiva de los agentes. En [20] se presenta un modelo *discrete particle swarm optimization (DPSO)* para la evacuación de peatones

y vehículos en caso de emergencia realizando un modelado y simulación de los movimientos de evacuación y iteración entre ambos de peatones y vehículo.

3. Conclusiones

4. Referencias

1. S. Tufekci, "An integrated emergency management decision support system for hurricane emergencies," *Safety Science*, vol. 20, no. 1, pp. 39–48, 1995.
2. F. Southworth, "Regional evacuation modeling: a state-of-the-art review," 1991.
3. T. J. Cova and J. P. Johnson, "A network flow model for lane-based evacuation routing," *Transportation research part A: Policy and Practice*, vol. 37, no. 7, pp. 579–604, 2003.
4. L. Özdamar, E. Ekinici, and B. Küçükyazici, "Emergency logistics planning in natural disasters," *Annals of operations research*, vol. 129, no. 1, pp. 217–245, 2004.
5. K. Farahmand, "Application of simulation modeling to emergency population evacuation," in *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation*, pp. 1181–1188, IEEE Computer Society, 1997.
6. Y. Yuan and D. Wang, "Path selection model and algorithm for emergency logistics management," *Computers & industrial engineering*, vol. 56, no. 3, pp. 1081–1094, 2009.
7. X. Zhang, Z. Zhang, Y. Zhang, D. Wei, and Y. Deng, "Route selection for emergency logistics management: A bio-inspired algorithm," *Safety science*, vol. 54, pp. 87–91, 2013.
8. C. Xie and M. A. Turnquist, "Lane-based evacuation network optimization: An integrated lagrangian relaxation and tabu search approach," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 19, no. 1, pp. 40–63, 2011.
9. A. Stepanov and J. M. Smith, "Multi-objective evacuation routing in transportation networks," *European Journal of Operational Research*, vol. 198, no. 2, pp. 435–446, 2009.
10. Q. Tan, G. H. Huang, C. Wu, and Y. Cai, "If-em: An interval-parameter fuzzy linear programming model for environment-oriented evacuation planning under uncertainty," *Journal of Advanced Transportation*, vol. 45, no. 4, pp. 286–303, 2011.
11. M. Liu, F. Zhang, Y. Ma, H. R. Pota, and W. Shen, "Evacuation path optimization based on quantum ant colony algorithm," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 30, no. 3, pp. 259–267, 2016.
12. A. Rahman and A. K. Mahmood, "Feasible route determination using ant colony optimization in evacuation planning," in *Research and Development, 2007. SCO-ReD 2007. 5th Student Conference on*, pp. 1–6, IEEE, 2007.
13. X. Zong, S. Xiong, Z. Fang, and W. Lin, "Multi-objective ant colony optimization model for emergency evacuation," in *Natural Computation (ICNC), 2010 Sixth International Conference on*, vol. 6, pp. 2774–2778, IEEE, 2010.
14. X. Zong, S. Xiong, Z. Fang, and Q. Li, "Multi-ant colony system for evacuation routing problem with mixed traffic flow," in *Evolutionary Computation (CEC), 2010 IEEE Congress on*, pp. 1–6, IEEE, 2010.

15. E. Forcael, V. González, F. Orozco, S. Vargas, A. Pantoja, and P. Moscoso, “Ant colony optimization model for tsunamis evacuation routes,” *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 29, no. 10, pp. 723–737, 2014.
16. A. Ohta, H. Goto, T. Matsuzawa, M. Takimoto, Y. Kambayashi, and M. Takeda, “An improved evacuation guidance system based on ant colony optimization,” in *Intelligent and Evolutionary Systems*, pp. 15–27, Springer, 2016.
17. M. Saadatseresht, A. Mansourian, and M. Taleai, “Evacuation planning using multiobjective evolutionary optimization approach,” *European Journal of Operational Research*, vol. 198, no. 1, pp. 305–314, 2009.
18. J. Izquierdo, I. Montalvo, R. Pérez, and V. Fuertes, “Forecasting pedestrian evacuation times by using swarm intelligence,” *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 388, no. 7, pp. 1213–1220, 2009.
19. Y. Zheng, J. Chen, J. Wei, and X. Guo, “Modeling of pedestrian evacuation based on the particle swarm optimization algorithm,” *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 391, no. 17, pp. 4225–4233, 2012.
20. X. Zong, S. Xiong, and Z. Fang, “A conflict–congestion model for pedestrian–vehicle mixed evacuation based on discrete particle swarm optimization algorithm,” *Computers & Operations Research*, vol. 44, pp. 1–12, 2014.