

# Manejo de incertidumbre en el Problema de Localización de Cobertura Máxima: Una revisión con énfasis en el enfoque difuso

Virgilio Guzmán<sup>1,2</sup>, Antonio D. Masegosa<sup>1,2</sup>, David Pelta<sup>1,2</sup>, José Luis Verdegay<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, E.T.S. de Ingeniería Informática, Universidad de Granada, 18071, Granada, España, {admase, dpelta, verdegay}@decsai.ugr.es

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (CITIC), Universidad de Granada, 18071, Granada, España, vir7609@correo.ugr.es

## Resumen

La gestión de la incertidumbre en los problemas de localización de cobertura máxima (PLCM) es muy importante debido a la naturaleza imprecisa de algunos elementos de estos problemas en el mundo real. La demanda generada en los nodos, la distancia entre nodos, la disponibilidad del servicio y el radio de cobertura son los parámetros que comúnmente se pueden considerar inciertos. Los enfoques probabilísticos y los enfoques difusos han sido los más utilizados para modelar la incertidumbre en el PLCM, pero los de corte difuso no están estructurados o sistematizados. Por eso en este artículo se presenta una revisión de los trabajos que han abordado el PLCM con incertidumbre de tipo difuso, como paso previo para el planteamiento sistemático de modelos y soluciones para el mismo.

**Palabras Clave:** PLCM, Incertidumbre, Estocástico, Probabilístico, Difuso.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los problemas de localización con cobertura tratan de ubicar las instalaciones o servidores teniendo en cuenta que la distancia desde una instalación a un nodo de demanda sea razonable. El problema de localización de cobertura de conjuntos (PLCC) y el de localización de cobertura máxima (PLCM) son los modelos comúnmente utilizados para abordar estos problemas. El PLCC trata de encontrar un número mínimo de instalaciones que cubran todos los nodos, mientras que el PLCM maximiza la demanda cubierta por un número fijo de instalaciones conocido a priori.

El PLCM ha sido ampliamente estudiado y aplicado en numerosas situaciones, principalmente en aquellas donde se intenta cubrir la mayor demanda posible. Este problema fue

introducido por Church y Reville [7] y su objetivo consiste en, dado un conjunto de instalaciones y un conjunto discreto de puntos de demanda, encontrar las mejores ubicaciones para las instalaciones, de tal manera que se maximice la demanda cubierta con una distancia o tiempo crítico predefinido.

Aunque la mayor parte de las aplicaciones del PLCM han usado un enfoque determinista, es decir, se conocen con certeza los parámetros del problema, podemos encontrar muchas situaciones reales en las que este problema presenta dinamismo o incertidumbre en sus elementos. Los elementos que presentan una mayor incertidumbre o imprecisión en este problema son la demanda generada en los nodos, la distancia entre nodos, la disponibilidad del servicio y el radio de cobertura. Cabe aclarar que en algunos problemas se considera distancia física y en otros, distancia en tiempo. Esta diferenciación hace que el radio de cobertura se denomine tiempo de respuesta en algunos trabajos en los que la distancia se mide en tiempo.

En general, podemos distinguir dos tipos de enfoques para modelar la incertidumbre en el PLCM: el enfoque probabilístico y el enfoque basado en técnicas difusas. El primero modela los datos inciertos mediante distribuciones de probabilidad, mientras que el segundo usa conjuntos difusos.

Aunque existen trabajos de revisión sobre el tratamiento de la incertidumbre en problemas de localización [18, 22, 29], hasta donde sabemos no existe ninguna para el caso concreto del PLCM. Por este motivo, en este artículo pretendemos hacer una revisión de los trabajos que abordan el PLCM con manejo de incertidumbre, haciendo un especial énfasis en aquellos que han usado un enfoque difuso.

Este trabajo está estructurado de la siguiente forma: en la segunda sección se describe con mayor profundidad el PLCM y se proporciona la formulación matemática para las versiones determinista y con manejo de la incertidumbre. En la sección 3 se presenta la revisión de la literatura relativa al manejo de la incertidumbre en el MCLP mediante conjuntos difusos. Finalmente, las conclusiones obtenidas en este trabajo se dan en la última sección.

## 2 EL PROBLEMA DE LOCALIZACIÓN DE COBERTURA MÁXIMA (PLCM)

El PLCM considera un conjunto discreto de puntos o nodos y un peso asociado a cada punto, el cual representa su nivel de importancia. Se considera también un conjunto discreto de puntos donde se pueden localizar las instalaciones o servidores. El objetivo es encontrar las mejores ubicaciones para un número  $p$  de instalaciones de manera que se maximice la demanda cubierta con una distancia predefinida.

El PLCM se formula como sigue:

### Notación:

$i, I$  - índice y conjunto de los nodos de demanda.

$j, J$  - índice y conjunto de las localizaciones potenciales para las instalaciones.

$N_i$  -  $\{j | d_{ij} \leq S\}$  conjunto de ubicaciones potenciales que pueden cubrir al nodo  $i$  dentro del tiempo o distancia  $S$ .  $d_{ij}$  es la distancia entre el nodo  $i$  y la ubicación potencial para la instalación  $j$ .

$x_j$  - 1 si una instalación está ubicada en  $j$ , 0 en otro caso.

$y_i$  - representa la cobertura del nodo  $i$ , 1 si está cubierta ( $\exists j | x_j = 1 \wedge j \in N_i$ ), 0 en otro caso.

$w_i$  - valor entre 0 y 1 que representa el peso asociado al nodo  $i$ .

$S$  - distancia máxima para responder a una demanda.

$p$  - Número fijo de instalaciones a ubicar.

### Formulación:

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{i \in I} w_i y_i \quad (1)$$

### Sujeto a:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (3)$$

$$x_j = \{0, 1\} \quad \forall j \in J; \quad y_i = \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (4)$$

En esta formulación, la función objetivo (1) maximiza la demanda cubierta por el conjunto de instalaciones. La restricción (2) establece que una o más instalaciones estarán localizadas dentro la distancia predefinida  $S$  a partir del nodo de demanda  $i$ . La restricción (3) asegura que el número de instalaciones a ubicar sea  $p$ . Por último, las restricciones de (4) indican el carácter binario de las variables.

Como dijimos anteriormente, los elementos del PLCM que puede presentar incertidumbre son la demanda o el peso de los nodos ( $w_i$ ), la distancia entre los nodos ( $d_{ij}$ ), el radio de cobertura ( $S$ ) y la disponibilidad del servicio ( $f_{ij}$ ), donde  $f_{ij}$  indica la disponibilidad del servidor  $j$  en el momento de realizar una petición desde el nodo  $i$ . Dado que en la formulación original todos los valores se suponen perfectamente conocidos y los servidores siempre disponibles, esta no es válida para el caso en el que alguno de los anteriores elementos presente incertidumbre o la disponibilidad de los servidores no es total. Así, la formulación del PLCM que tiene en cuenta ambos factores sería la siguiente (los elementos que pueden presentar incertidumbre están marcados con  $\sim$ ):

### Formulación:

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{i \in I} \tilde{w}_i \tilde{y}_i \quad (5)$$

### Sujeto a:

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (6)$$

$$\tilde{y}_i = \sum_{j \in J} x_j \tilde{F}(\tilde{f}_{ij}, \tilde{d}_{ij}, \tilde{S}) \quad \forall i \in I \wedge j \in J \quad (7)$$

$$x_j = \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$\tilde{F}(\tilde{f}_{ij}, \tilde{d}_{ij}, \tilde{S})$  es una función genérica que indica en qué grado el nodo de demanda  $i$  está cubierto por el servidor  $j$ , y que depende de la disponibilidad del servidor, de la distancia a este y del radio de cobertura. Esta función podría corresponder por ejemplo a la probabilidad de que la demanda del nodo  $i$  sea cubierta por la instalación  $j$  o al grado de pertenencia de la cobertura del nodo  $i$ . También puede devolver un valor con incertidumbre, puesto que puede ocurrir que no se conozca con certeza el grado de cobertura del nodo de demanda  $i$  por parte de  $j$ . De esta manera, la cobertura de un nodo ( $\tilde{y}_i$ ), vendría dada por la cobertura agregada que recibe de todos los servidores.

## 3 MANEJO DE LA INCERTIDUMBRE Y SU APLICACIÓN EN EL PLCM

La incertidumbre es inherente a muchos de los problemas de localización de instalaciones y, por tanto, al PLCM, ya que a la hora de resolver este problema podemos tener valores o parámetros desconocidos o imprecisos. Por ello, y en base a la información disponible, puede ser necesario aproximar estos valores con una estimación de los mismos, una medición no exacta de su valor esperado o mediante la opinión de un experto. Además, estos datos pueden depender de factores como el tráfico, el clima o las condiciones

actuales de la carretera. Por este motivo, considerar la incertidumbre en este modelo proporciona una aproximación más realista a la solución del problema en cuestión.

Como se dijo en la introducción, los dos enfoques más usados para abordar la incertidumbre en el PLCM son el enfoque probabilístico y el difuso. El enfoque probabilístico fue el primero usado en la literatura, en modelos como el *Maximun Expected Covering Location Problem* (MEXCLP), planteado por Daskin en [9]. Este trabajo se considera dentro del contexto de los sistemas de emergencia. Su objetivo principal es ubicar de manera óptima un número fijo de  $p$  vehículos, maximizando la probabilidad de que cualquier llamada de emergencia sea atendida. Para ello considera una fracción de tiempo de ocupación media en los vehículos. Una variación de este modelo es el TIMEXCLP [24], el cual considera diferentes fracciones de ocupación media a lo largo del día.

Otra variación del MEXCLP es el *Adjusted-MEXCLP* (AMEXCLP) propuesto por Batta et al. [4]. En este trabajo se aplica un factor de ajuste a la función objetivo para considerar que los vehículos de emergencia no operan de forma independiente.

Además del MEXCLP y sus variaciones, Reville et al. [25] plantearon el *Maximum Availability Location Problem* (MALP). Este modelo busca maximizar la demanda cubierta que encontrará un servidor disponible con un nivel de confianza  $\alpha$ , asumiendo una fracción de ocupación igual para todas las localizaciones potenciales.

Dado que los modelos probabilísticos requieren de una distribución de probabilidad, resultan inadecuados cuando no se cuenta con suficientes datos históricos o cuando el proceso de recopilación de los mismos no es fiable o factible. Considerando esta situación, algunos investigadores han planteado la aplicación de la lógica difusa como una técnica apropiada para modelar la incertidumbre en los problemas de localización. Moreno et al. [20] afirman que la vaguedad en los problemas de localización puede ser modelada adecuadamente usando redes con valores difusos que describen los nodos, los pesos o importancia de nodos, las longitudes de los caminos, etc. Bajo este supuesto, podríamos formular el modelo difuso mediante la incorporación de definiciones verbales de los parámetros de entrada. Por ejemplo, podríamos estimar la demanda definiéndola como "aproximadamente 30 peticiones por día" o estimar el tiempo de respuesta expresándolo como "aproximadamente en 5 minutos", etc.

Debido al creciente interés en estos dos enfoques para el manejo de la incertidumbre en el PLCM y motivados por la ausencia, hasta donde sabemos, de una revisión en la que se expongan características relevantes de los modelos desarrollados bajo estos enfoques, en este trabajo hemos revisado la investigación realizada en la última década acerca de los modelos difusos y probabilísticos aplicados al PLCM

que consideran la incertidumbre.

Con este fin, se realizó una búsqueda en los repositorios científicos Scopus, ScienceDirect y Google Scholar, usando los términos "Maximal covering location problem AND Uncertainty", "MCLP AND Uncertainty", "Maximal covering location problem AND fuzzy", "MCLP AND fuzzy", "Maximal covering location problem AND (stochastic OR probabilistic)" y "MCLP AND (stochastic OR probabilistic)". Los elementos de los trabajos donde se ha realizado la búsqueda han sido el título, el resumen y las palabras claves y, hemos considerado tanto artículos en revista como artículos en congresos.

En la Figura 1 se muestra un diagrama de barras con la producción científica que hemos encontrado según los criterios de búsqueda definidos anteriormente. Las barras corresponden a los años considerados en la revisión, y sus alturas representan el número total de los artículos que se han publicado en dicho año. El color azul corresponde a los trabajos que se han desarrollado con un enfoque difuso, mientras que el color gris a los que usaron un enfoque probabilístico. En la gráfica se observa que en los primeros 5 años de la década el foco estaba principalmente en el enfoque probabilístico ya que hay una amplia mayoría de papers sobre este tema. Sin embargo a partir de 2009 esta tendencia cambia al crecer el interés en el enfoque difuso, equiparándose el número de publicaciones de ambos enfoques.

La Figura 2 muestra una clasificación de los trabajos encontrados en función del enfoque que usan (difuso o probabilístico) y de los parámetros en los que aplican dicho enfoque para abordar la incertidumbre. Estos parámetros son la demanda generada en los nodos, el tiempo de respuesta, la disponibilidad del servidor y el radio de cobertura. Aquellos círculos que se solapan indican que en dichos trabajos se ha considerado incertidumbre en más de un parámetro. Cuando se considera un sólo parámetro, la demanda y la distancia son los más utilizados. Así mismo, cuando se

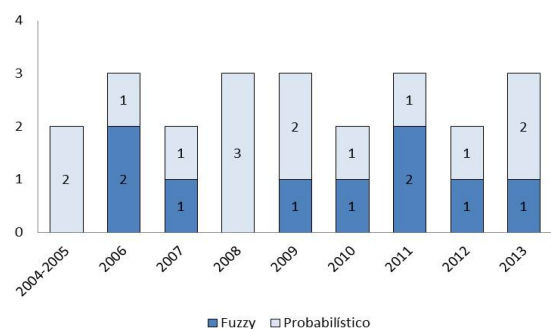


Figura 1: Diagrama de barras con el número de artículos por año que abordan la incertidumbre en el PLCM usando un enfoque difuso (azul) o probabilístico (gris)

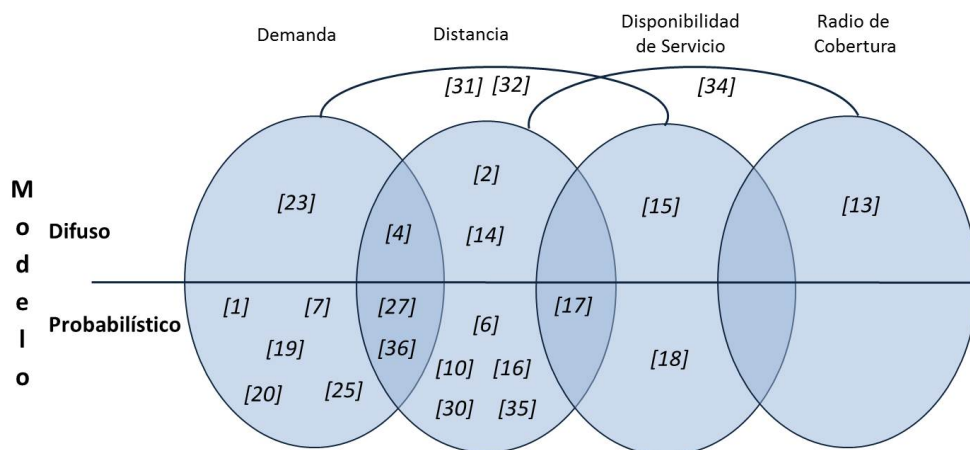


Figura 2: Clasificación de los trabajos que tratan la incertidumbre en el PLCM en función del enfoque (difuso o probabilístico) y del/los elemento/s en los que se considera la incertidumbre: demanda, distancia, disponibilidad del servicio y radio de cobertura

considera incertidumbre en más de un parámetro, la combinación de la demanda junto con la distancia y, la demanda junto a la disponibilidad del servicio son las más usuales.

Dado el creciente interés en los últimos años en la aplicación de un enfoque difuso para tratar la incertidumbre en el PLCM, en este trabajo vamos a hacer un especial énfasis en ellos. Por este motivo, en la siguiente sección se describirán los trabajos que se encuentran en la parte superior de la Figura 2.

### 3.1 MODELOS DIFUSOS PARA EL MANEJO DE LA INCERTIDUMBRE EN EL PLCM

En esta sección describiremos las características más importantes de los distintos trabajos del PLCM que han modelado la incertidumbre bajo un enfoque difuso, agrupados de acuerdo a los elementos imprecisos que se consideran en ellos y que se muestran en la Figura 2.

**Modelos con demanda difusa.** Lu et al. [19] utilizan conjuntos difusos para desarrollar un modelo de localización de cobertura máxima basado en colas para determinar las ubicaciones de las unidades de servicios que darán asistencia a la demanda generada por emergencias a gran escala, tales como, terremotos, ataques terroristas, etc. Mediante números difusos triangulares representan la demanda generada en los nodos. Ellos proponen un algoritmo de optimización basada en colonias de hormigas(ACO) para resolver el problema.

**Modelos con distancia difusa.** Araz et al. [2] abordan el problema de la localización de vehículos de servicios de emergencias y proponen un modelo de localización multi-objetivo basado en la programación por metas difusas para resolverlo. Los tres objetivos considerados para medir la

calidad del servicio son la maximización de la población cubierta por un vehículo, la maximización de la población con cobertura adicional y la minimización de la distancia total de viaje desde localizaciones a una distancia mayor que una distancia predefinida.

Davari et al.[11] presentan una versión difusa del PLCM donde los tiempos de viaje entre cualquier par de nodos de la red son considerados como números difusos triangulares. Utilizan la teoría de la posibilidad para modelar el problema y aplican una metaheurística de enfriamiento simulado para estimar la cobertura de la demanda esperada. La demanda de los nodos es generada aleatoriamente con una distribución uniforme con valores entre [0,100].

**Modelos con disponibilidad de servicios difusa.** Ding [12] considera que la calidad y la confiabilidad en los servicios de emergencias tienen una naturaleza incierta. Mediante números difusos representa la cantidad máxima de clientes que puede atender cada servidor y el tiempo de ocupación que implica atender un servicio. Utiliza la teoría de la posibilidad para desarrollar un modelo de localización de cobertura máxima difuso basado en colas. Aplica un algoritmo de evolución diferencial para resolver el problema.

**Modelos con radio de cobertura difuso.** Davari et al. [10] consideran el radio de cobertura como un número difuso triangular. Señalan que su modelo podría ser aplicado al problema de la instalación de redes inalámbricas de internet, donde la cobertura depende del tráfico de la red, de las condiciones del clima, de la topografía de la zona y de algunos otros factores que varían con el tiempo. En este trabajo se implementa una metaheurística de búsqueda por entornos variable (VNS) para resolver el problema.

**Modelo con demanda y distancia difusa.** Batanović, et al. [3] modelan el PLCM en redes considerando un ambiente con incertidumbre. Describen los pesos relacionados a la demanda mediante etiquetas lingüísticas que son representadas por conjuntos difusos triangulares. Además, amplían el concepto de cobertura al suponer que las fronteras entre el subconjunto de nodos cubiertos y el subconjunto de nodos no cubiertos son inexactas. Los algoritmos implementados en este trabajo se basan en la búsqueda de los nodos potenciales para las instalaciones mediante la aplicación de operaciones de comparación de conjuntos difusos discretos.

**Modelos con demanda y disponibilidad de servicios difusa.** Shavandi et al. [27] utilizan los conjuntos difusos junto a la teoría de colas para desarrollar un modelo difuso para el PLCM para la localización de centros de servicios de emergencias. Ellos consideran parámetros de colas y restricciones difusas en su modelo. El problema se resuelve usando un algoritmo genético. Bajo el mismo esquema de este trabajo, Shavandi et al. [28] formulan otro modelo de localización difuso en el que los parámetros del modelo son representados mediante números difusos triangulares y los nodos de demanda son asignados a los servidores en función de la distancia existente entre ellos, vista como grados de pertenencia. Esta situación genera que los nodos de demanda sean cubiertos de manera gradual por los servidores.

**Modelos con distancia y radio de cobertura difuso.** Takaçi et al. [30] presentan un modelo de localización de cobertura máxima difuso. En este modelo, tanto los tiempos de viaje como el radio de cobertura son considerados como números difusos. Con esta representación difusa, se define un grado de cobertura para los nodos de demanda, donde no existe un corte nítido entre los nodos cubiertos y los no cubiertos. Usan un método de optimización por enjambre de partículas (PSO) para resolver el problema.

## 4 CONCLUSIONES

En este artículo se ha realizado una revisión de los trabajos que tratan la incertidumbre en el problema de localización de cobertura máxima (PLCM). Los parámetros que se suelen considerar como inciertos en el PLCM son la demanda generada en los nodos, la distancia entre nodos, la disponibilidad del servidor y el radio de cobertura. En este artículo hemos intentado clasificar los distintos trabajos encontrados de acuerdo a estos parámetros.

En esta revisión hemos observado que aunque los primeros modelos que abordaron la incertidumbre en el PLCM usaron un enfoque probabilístico, en los últimos años, se hace notable la aplicación del enfoque que proporcionan los conjuntos y sistemas difusos como una técnica eficaz, aceptada por los investigadores para modelar este problema. Esto se

debe, en gran medida, a la necesidad de modelar situaciones que reproduzcan cuanto más mejor el comportamiento de los seres humanos, con una importante componente lingüística-cualitativa difícil de modelar con herramientas probabilísticas. Por este motivo, en este trabajo nos centramos en mayor medida en aquellos trabajos que usaban este enfoque.

Al analizar dichos trabajos, comprobamos que las etiquetas lingüísticas y los números difusos, son las técnicas más comúnmente utilizados para modelar la incertidumbre en los distintos parámetros del PLCM bajo un enfoque difuso. Además en la mayoría de ellos se usan metaheurísticas para resolver el problema de optimización subyacente.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto TIN2011-27696-C02-01 del Ministerio de Economía y Competitividad, P11-TIC-8001 de la Junta de Andalucía y Fondos FEDER. El primer autor posee una beca otorgada por el PROMEP, México, establecida en el convenio PROMEP/103.5/12/6059.

### Referencias

- [1] O.I. Alsalloum and G. K. Rand. Extensions to emergency vehicle location models. *Computers & Operations Research*, 33:2725–2743, 2006.
- [2] C. Araz, H. Selim, and I. Ozkarahan. A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services. *Computers & Operations Research*, 34:705–726, 2007.
- [3] V. Batanović, D. Petrović, and R. Petrović. Fuzzy logic based algorithms for maximum covering location problems. *Information Sciences*, 179:120–129, 2009.
- [4] R. Batta, J.M. Dolan, and N.N. Krishnamurthy. The maximal expected covering location problem revisited. *Transportation Science*, 23:277–287, 1989.
- [5] O. Berman, I. Hajizadeh, and D. Krass. The maximum covering problem with travel time uncertainty. *IIE Transactions*, 45:81–96, 2013.
- [6] O. Berman and J. Wang. The probabilistic 1-maximal covering problem on a network with discrete demand weights. *Journal of the Operational Research Society*, 59(10):1398–1405, 2008.
- [7] R. Church and C. Reville. The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, 32:101–118, 1974.
- [8] F.D.A. Corrêa, L.A.N. Lorena, and G.M. Ribeiro. A decomposition approach for the probabilistic maximal covering location-allocation problem. *Computers & Operations Research*, 36(10):2729–2739, 2009.

- [9] M.S. Daskin. A maximum expected covering location problem: formulation, properties and heuristic solution. *Transportation Science*, 17:48–70, 1983.
- [10] S. Davari, M. H.F. Zarandi, and I.B. Turksen. A greedy variable neighborhood search heuristic for the maximal covering location problem with fuzzy coverage radii. *Knowledge-Based Systems*, 41:68–76, 2013.
- [11] S. Davari, M.H. Fazel Zarandi, and A. Hemmati. Maximal covering location problem (MCLP) with fuzzy travel times. *Expert Systems with Applications*, 38:14535–14541, 2011.
- [12] S. Ding. An uncertain location-allocation model. *Advanced Materials Research*, 204:449–452, 2011.
- [13] E.T. Erdemir, R. Batta, P.A. Rogerson, A. Blatt, and M. Flanigan. Joint ground and air emergency medical services coverage models: A greedy heuristic solution approach. *European Journal of Operational Research*, 207:736–749, 2010.
- [14] E. Erkut, A. Ingolfsson, T. Sim, and G. Erdoğan. Computational comparison of five maximal covering models for locating ambulances. *Geographical Analysis*, 41(1):43–65, 2009.
- [15] R. D. Galvão, F. Y Chiyoshi, and R. Morabito. Towards unified formulations and extensions of two classical probabilistic location models. *Computers & Operations Research*, 32:15–33, 2005.
- [16] H. Jia, F. Ordóñez, and M. M. Dessouky. Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. *Computers and Industrial Engineering*, 52(2):257–276, 2007.
- [17] O. Karasakal and E.K. Karasakal. A maximal covering location model in the presence of partial coverage. *Computers & Operations Research*, 31:1515–1526, 2004.
- [18] F.V. Louveaux. Stochastic location analysis. *Location Science*, 1:127–154, 1993.
- [19] X. Lu, Y. Hou., and S. Qiang. A fuzzy queuing facility location model with ant colony optimization algorithm for large-scale emergencies. pages 55–60, 2010.
- [20] J.A. Moreno, J.M. Moreno Vega, and J.L. Verdegay. Fuzzy location problems on networks. *Fuzzy Sets and System*, 142:393–405, 2004.
- [21] P. Murali, F. Ordóñez, and M.M. Dessouky. Facility location under demand uncertainty: response to a large-scale bio-terror attack. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46:78–87, 2012.
- [22] S.H. Owen and M.S. Daskin. Strategic facility location: a review. *European Journal of Operational Research*, 111:423–447, 1998.
- [23] R. Rahmaniani and M.A. Shafia. A study on maximum covering transportation network design with facility location under uncertainty. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 30(2):78–93, 2013.
- [24] J.F. Repede and J.J. Bernardo. Developing and validating a decision support system for locating emergency medical vehicles in Louisville, Kentucky. *European Journal of Operational Research*, 74:567–581, 1994.
- [25] C. ReVelle and K. Hogan. The maximum availability location problem. *Transportation Science*, 23:192–200, 1989.
- [26] K. Shahanaghi and V. R. Ghezavati. Efficient solution procedure to develop maximal covering location problem under uncertainty (using GA and simulation). *International Journal Of Industrial Engineering And Production Research*, 19:21–29, 2008.
- [27] H. Shavandi and H. Mahlooji. A fuzzy queuing location model with a genetic algorithm for congested systems. *Applied mathematics and computation*, 181:440–456, 2006.
- [28] H. Shavandi, H. Mahlooji, K. Eshghi, and S. Khanmohammadi. A fuzzy coherent hierarchical location-allocation model for congested systems. *Scientia Iranica*, 13:14–24, 2006.
- [29] L. V. Snyder. Facility location under uncertainty: a review. *IIE Transactions*, 38:547–564, 2006.
- [30] A. Takaçi, M. Marić, and D. Drakulić. The role of fuzzy sets in improving maximal covering location problem (MCLP). *10th IEEE Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, SISY 2012*, pages 103–106, 2012.
- [31] R. Tavakkoli-Mogahddam, V. R. Ghezavati, A. Kaboli, and M. Rabbani. An efficient hybrid method for an expected maximal covering location problem. *Studies in Computational Intelligence*, 134:289–298, 2008.
- [32] X. Wang, D. Li, C. Ma, and M. Chen. Emergency resource location and allocation under uncertainty of disaster degree. *ICIC Express Letters*, 5(2):311–316, 2011.