

ANÁLISIS DEL TRÁFICO DENTRO DE UN CENTRO COMERCIAL

Erika Granillo Martínez, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Rogelio González Velázquez, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
María Beatriz Bernabé Loranca, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
José Luis Martínez Flores, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

RESUMEN

En este trabajo se modela la asignación de tiendas a locales comerciales en un sistema de tráfico donde la tasa de llegada de clientes, la tasa de arribo de los clientes a un local específico y la tasa de dirigirse de un local a otro son estocásticos. La modelación se hace por medio del problema de asignación cuadrática, que es un problema clásico de optimización combinatoria. El sistema de tráfico se puede representar mediante un sistema de colas y se pretende optimizar el tráfico buscando una asignación óptima o aproximada de tiendas a locales. Se presenta un caso de aplicación de un centro comercial con 42 locales.

PALABRAS CLAVE: QAP, Tráfico, Ubicación, Localización

FOOT-TRAFFIC ANALYSIS: EVIDENCE FROM A MALL IN MEXICO

ABSTRACT

This paper models the assignment of locals to facilities in a system of traffic where the arrival rate of customers, the arrival rate of customers to a specific location, and the rate of address from a location to another are stochastic. Modeling is done by means of the quadratic assignment problem, which is a classic problem of combinatorial optimization. The traffic system can be represented by a system of queues. It aims to optimize traffic, finding the most efficient allocation of locals to facilities. It is presented as an application case of a mall with 42 premises.

JEL: C6

KEYWORDS: QAP, Foot Traffic, Allocation, Location

INTRODUCCIÓN

La contribución más relevante de este artículo es la búsqueda de soluciones a un problema complejo perteneciente a la clase NP-hard (QAP) por medio de la metaheurística GRASP aplicada a un caso de estudio real en un sistema de tráfico de un centro comercial tipo mall cuya dimensión es considerada de gran escala. GRASP resultó ser eficiente para las instancias de prueba obtenidas de la librería del QAP. Cabe señalar que el modelo QAP se transformó en el SQAP en virtud de que la matriz de transición es una matriz estocástica.

Dentro de la cadena de suministro se puede observar 4 áreas donde se suscitan problemas que marcan un interés especial tanto para el área de ingeniería, investigación y administrativa los cuales son: inventarios, producción la ubicación y designación de instalaciones finalmente el transporte y la

distribución, en la administración de la logística de la toda la cadena de suministro se deben tomar decisiones estratégicas, tácticas y operativas, para este caso se hablara del problema de ubicación y designación de instalaciones que pertenece al área de planeación estratégica de una compañía, donde la toma de decisiones a largo plazo surte un efecto significativo a lo largo de la cadena de suministro así como en los costos de instalación y por ende en el servicio satisfactorio del cliente.

En el diseño de redes logísticas existe un problema especial de los problemas de ubicación y designación que consiste encontrar la ubicación óptima de las instalaciones y asignar clientes a las instalaciones de tal manera que se minimicen los costos de satisfacer la demanda de los clientes Murat et al. (2010).

La ubicación de áreas o actividades dentro de un edificio, el diseño de estaciones de trabajo, de infraestructura Francis y White (1974) o de ensamble dentro de una industria, la ubicación de edificios en un campus universitario Dickey y Hopkins (1972) así como el diseño de hospitales Motaghi et al. (2011) representan ejemplos del problema de distribución de planta así como el de ubicación y designación de instalaciones. En estos problemas todas las actividades están interconectadas por el sistema de tráfico donde ocurre el congestionamiento. En la configuración óptima de las actividades en los centros de trabajos, el problema fundamental es el tráfico, por ejemplo en un centro comercial tipo Mall se observa el tráfico de clientes en los pasillos de traslado Wu-Ji y MacGregor (2001).

El problema de la distribución y ubicación de instalaciones se puede formular generalmente como un problema de asignación cuadrática o QAP por sus siglas en inglés (Quadratic Assignment Problem), el objetivo es asignar un conjunto de instalaciones a ubicaciones a fin de minimizar el costo total de la asignación con las restricciones de que cada instalación sólo se asigna una ubicación y cada ubicación se asigna sólo una instalación Burkar et al. (1998). Para plantear el QAP es necesario un grafo con n nodos conectados por dos tipos de arcos los primeros están asociados con las distancias entre los nodos y los otros con el flujo de bienes entre los nodos, así se deben de tener dos tipos de entradas de datos, primero una matriz de distancias entre los nodos y segundo una matriz de flujo de bienes entre los nodos, la principal idea es que se minimice los costos de transporte.

Las distancias recorridas junto con los costos de localización posiblemente fijos y donde los flujos de tráfico se supone por lo general ser determinista. Por ejemplo la distancia entre las actividades, los centros de trabajo y edificios están medidos a lo largo del sistema de movimiento de tráfico interconectando a las actividades. El costo del flujo y la transportación están asociados con la distancia. El problema a menudo es formulado para minimizar el costo total de una asignación de actividades hacia un contexto de diseño como una generalización del QAP. Mientras que algunas formulaciones del QAP asumen un ambiente estático o determinístico, esto implica que el flujo y el tiempo recorrido entre actividades sean fijos.

El resto de esta investigación está organizado de la siguiente manera: en la revisión de la literatura se señalan las diferentes contribuciones actualizadas del QAP, sus métodos de solución y sus aplicaciones, así como la modelación del QAP y sus transformación en SQAP. En la sección de metodología se presentan los pseudocódigos de la metaheurística GRASP para obtener la solución del SQAP. En la sección de resultados se muestra un caso ilustrativo del SQAP de tamaño $n=6$, también se muestra la solución para un caso de estudio real de $n=42$, finalmente en las conclusiones se establece la eficiencia de la metodología de este artículo y una propuesta de trabajo futuro.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Acercas de estos problemas de distribución y ubicación de instalaciones Francis y White (1974) introdujo algunos modelos predominantes como el problema de ubicación múltiple/ simple, el problema de asignación cuadrática (QAP). Mirchandani y Francis (1990) escribieron acerca la teoría discreta de

ubicación. El libro de la teoría basada en la ubicación de redes por Daskin (1995) se enfocó en los problemas discretos de ubicación. Drezner (1995) representó algunos modelos y aplicaciones en ambientes de ubicación. Rendl (2002) publicaron un libro acerca de la teoría y aplicación de la ubicación y distribución de instalaciones. Nickel y Puerto (2005) hicieron un estudio extendido y completo en el área continua de redes basado en los modelos de ubicación y distribución principalmente en los problemas medianos de ubicación y distribución.

El QAP fue propuesto en primer instancia por Koopmans y Beckmann en (1957) y es un problema clásico en optimización combinatoria y básicamente consiste en encontrar una asignación de n recursos a n localidades con el propósito de minimizar el costo de transporte, dada una matriz de requerimientos de unidades a transportar y el costo de llevar esa unidad a las diferentes localidades. El QAP es uno de los problemas más complejos de optimización combinatoria pues pertenece a los NP-Hard, Shani y González (1976), esto quiere decir que no existe un algoritmo exacto que pueda encontrar soluciones óptimas un tiempo razonable de cómputo, ante esta ineficiencia es necesario diseñar métodos de búsqueda de soluciones aproximadas a la óptima pero en un tiempo razonable de cómputo; en los últimos años las metaheurísticas, Nehi y Gelareh (2007) han demostrado ser herramientas robustas para resolver problemas difíciles de optimización, Márquez (2014).

Existen varias aplicaciones reales y relevantes de logísticas para el QAP Bathi y Rasool (2014) como: diseño de aeropuertos, ubicación de contenedores en patios navieros, aduanas interiores, diseño de centros comerciales, otra aplicación interesante en logística concierne a la asignación de puertas para minimizar el costo de la carga del manejo de materiales en un crossdock rectangular, Bozer y Carlo (2008). A continuación, se presenta el modelo matemático de programación entera binaria para el problema mencionado.

Sea X una matriz de variables binarias x_{ik} que es igual a 1 si la instalación k se asigna a localidad i y cero en otro caso. Sean F y D las matrices de flujo de mercancías y de distancias entre las localidades respectivamente, ambas simétricas. La función objetivo se representa por:

$$z = tr(FXDXT) = \sum_j \sum_j \sum_{k>i} \sum_{l \neq j} c_{ijkl} x_{i,j} x_{k,l} \quad (1)$$

Donde Z es la traza de la matriz $FXDXT$
 Minimizar z

$$\text{Sujeta a } \sum_{i=1}^n x_{ik} = 1 \text{ y } \sum_{k=1}^n x_{ik} = 1 \quad (2)$$

$$x_{ik} \in \{0, 1\} \quad (3)$$

Las ecuaciones (2) son las restricciones de asignación

Modelación del Problema de Tráfico a Través del QAP

El QAP es de los problemas que se adaptan más al diseño de redes de flujo, existen varios modelos de líneas de espera apropiados para emular un sistema de tráfico en red, para este caso se aborda el modelo $M/G/\infty$, este considera su dependencia en que la tasa de servicio a los clientes decrece con el aumento de tráfico de clientes en el sistema. Wu-Ji y Macgregor (2001) propusieron la transformación del QAP en SQAP (Stochastics Quadratic Assignment Problem) para modelar matemáticamente un sistema de tráfico con líneas de espera en un centro comercial al incluir una matriz de probabilidad como matriz de transición del posible traslado de los clientes de un local i a un local j para producir una matriz de flujo y la matriz de distancia es la distancia entre los locales.

Para la formulación matemática del SQAP se considera velocidad de traslado de clientes, distancia entre locales, tiempo de servicio al cliente que deja local i para ir a local j , la probabilidad de que un cliente salga del local i al local j , la tasa de llegada de los clientes al nodo j fuera del sistema, la tasa de llegada de un cliente al nodo j , la tasa de llegada al pasillo principal dado por la media del tiempo de servicio requerido por el cliente que está en el local i dado por la suma de los productos de las probabilidades por el tiempo y el número promedio de los clientes en el pasillo principal.

Se considera el pasillo principal del centro comercial como un servidor de capacidad ilimitada, es decir la línea de espera se comporta como si cada cliente tuviera su propio servidor o en otras palabras se comporta como un sistema de líneas de espera, es decir el tiempo promedio de estadía en el sistema es igual al tiempo promedio de servicio en la línea de espera, en este caso el tiempo de estadía en el sistema es el tiempo que el cliente tarda en el pasillo principal que es el tiempo necesario para trasladarse del local i al local j en el sistema. El tiempo de estadía para los clientes del pasillo central al local i es dado por la ley de Little (2008). Todo lo anterior se resume en encontrar la asignación de n tiendas a n locales, es decir una permutación que minimice $\frac{1}{v} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} d_{p(i)p(j)}$ que es la función objetivo del SQAP en términos de optimización combinatoria.

METODOLOGÍA

Ante la incapacidad de los métodos exactos para mejorar el uso de la computadora y el espacio de la memoria en la búsqueda de soluciones del QAP, así como la necesidad de ofrecer respuestas en un tiempo razonable, se han implementado metaheurísticas, Nehi y Gelareh (2007) que evitan la enumeración total como estrategias que efectúan búsquedas parciales en el espacio de factibilidad. Algunas de estas metaheurísticas que se han usado para darle solución al QAP son: Búsqueda Tabú, Algoritmos Genéticos, Búsqueda Dispersa y GRASP, inclusive se han usado computadoras con estructuras de arquitectura en paralelo, obteniendo muy buenos resultados, dentro de la página de internet QAPLIB se encuentran artículos, disertaciones e instancias de prueba para este problema.

En el presente trabajo se propone la implementación de la metaheurística Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP por sus siglas en inglés) para buscar soluciones al SQAP debido a que es un problema NP-hard Wu-Ji y Macgregor (2001). El diseño del GRASP está basado en Pardalos y Resende (1994) y codificado en Java con distintos métodos de búsqueda local como son 2 intercambio, lambda intercambio, entre otros. Este programa fue probado para 100 instancias de prueba de la biblioteca digital del QAP (2014) tomando como escenario un centro comercial en el mes de octubre del año 2016 obteniendo resultados robustos cuyo error no excede el 1% para instancias de gran escala en una computadora (datos de compu) en un tiempo razonable de cómputo. El pseudocódigo genérico de GRASP se muestra en la Figura 1, este código generará una solución inicial de calidad basada en una lista restringida de candidatos y elecciones de trayectorias aleatorias, finalmente una fase de mejoramiento de la solución inicial a través de métodos de búsqueda local.

Figura1: Pseudocódigo Genérico de GRASP

```

PROCEDURE: GRASP
Entrada de Instancia ();
WHILE (criterio de paro no satisfactorio) DO
  Construcción Solución Greedy Randmized Adaptative();
  Postprocesamiento ();
  Actualizar Solución ();
END {While}
RETURN (Mejor Solución)

End {GRASP}
    
```

El pseudocódigo genérico de GRASP se muestra en la figura 1, este código generará una solución inicial de calidad basada en una lista restringida de candidatos y elecciones de trayectorias aleatorias, finalmente una fase de mejoramiento de la solución inicial a través de métodos de búsqueda local.

RESULTADOS

Se propone un caso similar al de Wu-Ji y Macgregor (2001), para ejemplificar la aplicación y la metodología para una instancia de dimensión 6. Se considera el tráfico por el pasillo principal del centro comercial como se observa en la Figura 2, el esquema puede ser representado por una red con tipo nodo Steiner como se muestra en la Figura 3. Un nodo Steiner representa el área de circulación del sistema de flujo de clientes y se ofrece la oportunidad de modelar cuantitativamente este flujo. Para esto se requieren las matrices de la Figura 4 de distancia D , la matriz de transición P (probabilidad) y la matriz de flujo F , el vector columna λ_i así como la velocidad, Wu-Ji y Macgregor, 1993. Al aplicar GRASP a la instancia $n=6$ se obtuvieron los siguientes resultados: la asignación óptima obtenido está dada por la permutación $[4, 1, 3, 5, 6, 2]$ con 18.40 clientes que representan el tráfico en el pasillo. Para este resultado se utilizó 2-intercambio como método de búsqueda. La asignación de las tiendas a locales queda de la siguiente manera: tienda 1 a local 4, tienda 2 a local 1, tienda 3 a local 3, tienda 4 a local 5, tienda 5 a local 6 y tienda 6 a local 2, la corrida se realizó en un tiempo computado de 63 milisegundos.

Figura 2: Matrices de Distancia, Probabilidad, Flujo y Vector de Lambda

$$D = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 2 & 2 & 3 \\ 1 & 0 & 2 & 1 & 3 & 2 \\ 1 & 2 & 0 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & 0 & 1 \\ 3 & 2 & 2 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0.13 & 0.2 & 0.15 & 0.37 & 0.15 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0.1 & 0.4 & 0 \\ 0.62 & 0 & 0 & 0.18 & 0.1 & 0.1 \\ 0.28 & 0.18 & 0.2 & 0 & 0.34 & 0 \\ 0.76 & 0.1 & 0 & 0.04 & 0 & 0.1 \\ 0.32 & 0 & 0 & 0 & 0.68 & 0 \end{pmatrix} \quad \lambda_i = (4,1,1,1,3,1)^t$$

$$F = \begin{pmatrix} 0 & 0.52 & 0.8 & 0.6 & 1.48 & 0.6 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0.1 & 0.4 & 0 \\ 0.62 & 0 & 0 & 0.18 & 0.1 & 0.1 \\ 0.28 & 0.18 & 0.2 & 0 & 0.34 & 0 \\ 0.28 & 0.3 & 0 & 0.12 & 0 & 0.3 \\ 0.32 & 0 & 0 & 0 & 0.68 & 0 \end{pmatrix} \quad \lambda = \sum_{i=1}^6 \lambda_i = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 q_{ij} = 11$$

Modelación cuantitativamente del flujo usando las matrices de distancia D, la matriz de transición P (probabilidad), la matriz de flujo F, el vector λ_i y velocidad

Para un caso de interés práctico se realizó una aplicación real dentro de un centro comercial para 42 locales, este ejemplo se considera de gran escala; para modelar este caso se utilizaron los siguientes datos: la matriz de distancia que se obtuvo por medir las distancias entre los 42 locales del centro comercial, la matriz de probabilidad que se logró por generar aleatoriamente una distribución uniforme de probabilidad y finalmente la matriz de flujo se obtuvo por un vector de componentes enteros de λ_i que representa la tasa de llegada al local i que fueron obtenidos aleatoriamente.

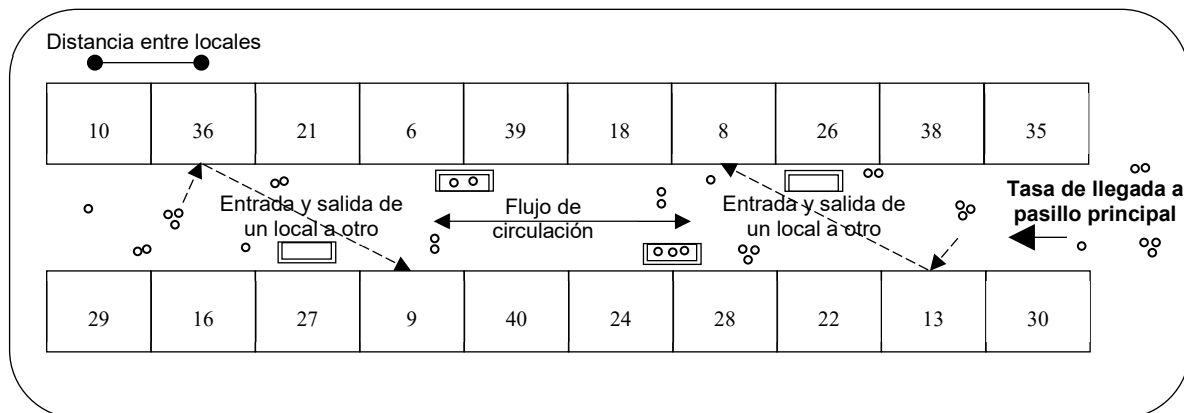
En la Figura 3 se muestra una representación del tráfico en el pasillo del centro comercial donde la solución que arrojo el pseudocódigo genérico al correr las matrices antes mencionadas fue el siguiente: la solución óptima obtenida es la permutación

[10,36,21,6,39,18,8,26,38,35,29,16,27,9,40,24,28,22,13,30,42,7,31,34,15,33,2,17,20,14,11,5,19,37,41,12,1,23,3,32,25,4]

esto representa la asignación de las tiendas a los locales del centro comercial quedando de la siguiente manera (solo por mencionar algunas de las asignaciones): tienda 1 a local 10, tienda 2 a local 36, tienda 3 a local 21, tienda 4 a local 6, tienda 5 a local 39 y tienda 6 a local 18, así sucesivamente hasta cubrir todos los locales, los círculos pequeños en la Figura representan el tráfico de clientes y la tasa de llegada de estos al pasillo principal, también se observan unas flechas discontinuas que muestran la entrada y salida de los clientes de un local a otro, el flujo de circulación en el pasillo se señala en ambos sentidos ya que los usuarios transitan por lo general de esa manera, la de distancia recorrida por los clientes es de 5373 en la distribución del pasillo, para este resultado se utilizó el método de búsqueda de 2-intercambio. La corrida de las matrices y su resultado se realizó en un tiempo computado de 63 milisegundos.

Es importante señalar que para la obtención de los resultados para instancias donde $n > 6$ el uso de un software de optimización resultó ineficiente en cuanto a tiempo de ejecución y aproximación, en cambio el resultado de la metodología propuesta fue en un tiempo de respuesta inmediata sin desperdicio de memoria así como tiempo de cómputo para instancias consideradas de gran escala es decir $n > 20$

Figura 3: Representación del Tráfico Dentro del Pasillo del Centro Comercia



Esta figura se muestra el comportamiento del tráfico generado por los clientes dentro del centro comercial así mismo se puede apreciar la tasa de llegada de los usuarios, las diferentes entradas y salidas de un local a otro por parte de los mismo para nuevamente incorporarse al flujo de circulación en el pasillo principal. También se señala la secuencia de asignación de locales.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se modelo un sistema de tráfico de personas en dentro de un centro comercial por medio del problema de optimización combinatoria QAP que incluyendo los conceptos de líneas de espera se transformó en el problema SQAP. El problema SQAP es un problema NP-hard por lo cual fue necesario implementar una metaheurísticas para la búsqueda de su solución, la metaheurística utilizada es conocida como GRASP. La instancia propuesta de dimensión 42 está integrada por una matriz de distancias entre los locales y una matriz de transición que representa la probabilidad de flujo de los clientes en el sistema, la matriz de distancia fue obtenida con la medición en metros de un local a otro para todos los locales y la matriz de probabilidad fue generada aleatoriamente. Por medio de la aplicación de GRASP se obtuvo una asignación aproximada a la óptima de tiendas a locales para ser más eficiente el tráfico en el sistema, el caso de estudio presentado fue una instancia de dimensión 42, está asignación se representa con la permutación

[10,36,21,6,39,18,8,26,38,35,29,16,27,9,40,24,28,22,13,30,42,7,31,34,15,33,2,17,20,14,11,5,19,37,41,12,1,23,3,32,25,4]

considerando una tasa de llegada al centro comercial obteniendo el valor de la función objetivo de 5373 que es la distancia recorrida por los clientes. La contribución de este artículo es el diseño de una metaheurística para resolver un caso de estudio modelado con optimización combinatoria, la limitante de este estudio es la inexistencia de un software comercial que pueda resolver estos problemas.

Se ha demostrado la utilidad del problema de asignación cuadrática para modelar el tráfico de personas en un centro comercial, teniendo en consideración los siguientes elementos: la distribución de probabilidad de los clientes al llegar al centro comercial, la probabilidad de visitar las diferentes tiendas de un centro comercial así como la salida de los clientes de cada tienda para dirigirse a otra tienda. Este tipo de modelo permite hacer más más eficiente el diseño de centros comerciales en beneficio de los clientes y minimizando su traslado en todo el sistema. Con la consideración de que al llegar un cliente al corredor principal es como si estuviera anexándose a una línea de espera, esto también es tomado en cuenta en la modelación.

La metaheurística propuesta en este trabajo demostró su robustez al ser probada con instancias de 42 locales considerada de gran escala con un tiempo de cómputo razonable y finalmente en una aplicación real de la industria de servicios.

Como trabajo futuro se plantea diseñar una instancia para un caso real de un sistema de tráfico en un centro comercial de dimensión 100, lo cual implica generar un matriz simétrica de distancias entre los locales, una matriz de flujo (llamada matriz de transición) de los clientes entre los locales y el tránsito en los pasillos principales aplicando dos procedimientos metaheurísticos para comparar los resultados

REFERENCIAS

- Bhati, R. K., & Rasool, A. (2014). "Quadratic assignment problem and its relevance to the real world: a survey". *International Journal of Computer Applications*, vol. 96 (9), June, pp.42-47.
- Bozer, Y. A., & Carlo, H. J. (2008). Optimizing inbound and outbound door assignments in less-than-truckload crossdocks. *IIE Transactions*, vol. 40(11), pp.1007-1018.
- Burkard, R. E., Cela, E., Pardalos, P. M., & Pitsoulis, L. S. (1998). "The Quadratic Assignment Problem". In : *Handbook of combinatorial optimization* pp. 1713-1809. USA. Springer
- Daskin, M.S. (1995). "Network and discrete location: Models, algorithms and application". John Wiley & Sons, New York.
- Dickey, J. W., & Hopkins, J. W. (1972). "Campus building arrangement using TOPAZ". *Transportation Research*, vol.6 (1), March, pp. 59-68.
- Drezner, T. (1995). "Competitive Facility Location in the Plane". In Z. Drezner (ed.), *Facility Location: A survey of Application and Methods*. Berlin: Springer, pp. 285-300.
- Francis, R. L., & White, J. A. (1974). "*Facility layout and location: An analytical approach*". Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall.
- Koopmans, T. C.; and Beckmann, M.J. (1957). "Assignment Problem and the location of economics activities": *Encometrica*, vol. 25(1), January, pp. 53-76.
- Little, J. D. C.; and Graves, S. C. (2008). "Little's Law". *Building Intuition*. International Series in Operations Research & Management Science vol.115, p.81.
- Márquez Gómez, Mervyn; (2014). Las metaheurísticas: tendencias actuales y su aplicabilidad en la ergonomía. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, Enero-Junio, pp.108-120.
- Mirchandani, B. P.; and Francis, L.R. (1990). (Eds): "Discrete location theory". John Wiley & Sons-Interscience, New York, pp.439-478
- Motaghi, M., Hamzenejad, A., Riahi, L., & Soheili Kashani, M. (2011). "Optimization of Hospital Layout through the Application of Heuristic Technique (Diamond Algorithm) in Shafa Hospital (2009)". *International Journal of Management and Business Research*, vol.1 (3), summer, pp.133-138.
- Murat, A., Verter, V., & Lapote, G., (2010). "A continuous analysis framework for the solution of location-allocation problems with dense demand". *Computers & Operations Research*, vol.37 (1), January, pp.123-136.
- Nickel, S., & Puerto, J. (2005). "Location Theory: A unified approach". Berlin, Springer.

Nehi, M.H.; and Gelareh, S. (2007). "A survey of Meta- Heuristic solution Methods for the Quadratic Assignment Problem": *Applied Mathematical Sciences* vol.1 (46), pp.2293-2312.

Pardalos, L., & Resende, M. (1994). "A greedy randomized adaptive search procedure for the quadratic assignment problem". *Quadratic Assignment and Related Problems, DIMACS Series on Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, vol.16, pp. 237-261.

QAPLIB - A Quadratic Assignment Problem Library. (2012). Retrieved May 2014, from: <http://www.seas.upenn.edu/qaplib>

Rendl, F.(2002). "The Quadratic Assignment Problem". En Drezner, Z., & Hamacher H. (ed.), *Facility location: Applications and theory*. Berlin: Springer, pp.339-455.

Sahni, S., & Gonzalez, T. (1976). "P- Complete approximations problems": *Journal Association Computing Machinery* vol. 23, July, pp. 555-565.

Wu-Ji Li & Macgregor, J.S. (2001). "Quadratic Assignment Problem and M/G/C/C States Dependent Network Flows". *Journal of Combinatorial Optimization*, vol.5 (4), December, pp. 421– 443.

Wu-Ji, L.,& Macgregor, J.S. (1993). "Quadractic Assignment Problem" *DIMACS Series in Discret Mathematics and Theoretical Science*, vol.16, pp. 221-236

BIBLIOGRAFIA

Erika Granillo Martínez candidata a doctora de Logística y la Dirección de la Cadena de Suministro por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla es profesor en la facultad de Administración impartiendo cátedra en Comercio Internacional y Negocios Internacionales se puede contactar en el correo electrónico erika.granillo@upaep.edu.mx

Rogelio González Velázquez es Doctor en Logística y la Dirección de la Cadena de Suministro por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla es profesor investigador en la facultad de Ciencias de la computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla se puede contactar en el correo electrónico [@cs.buap.mx](mailto:rgonzalez@cs.buap.mx)

Beatriz Bernébe Loranca es Doctora en Investigación de Operaciones por la Universidad Nacional Autónoma de México es profesor investigador en la Facultad de Ciencias de la computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla se puede contactar en el correo electrónico beatriz.bernabe@gmail.com

José Luis Martínez Flores es Doctor en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Autónoma de Nuevo León es profesor investigador en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla se puede contactar en el correo electrónico joseluis.martinez01@upaep.mx