



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Centro Interdisciplinario de Posgrados
Investigación y Consultoría
Escuela de Ingeniería
Doctorado en Logística y la Dirección de la Cadena de
Suministro

Título de la investigación
**Análisis del Tráfico Comercial Por medio del Problema de
Asignación Cuadrática (QAP)**

Tesis que para obtener el Grado de Doctor
En Logística y la Dirección de la Cadena de Suministro

Presenta
Erika Granillo Martínez

Dr. Rogelio González Velázquez
Director de Tesis

Puebla, México.

Septiembre 2017



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Centro Interdisciplinario de Posgrados,
Investigación y Consultoría

Departamento de Ingeniería

Doctorado en Logística y Dirección de la
Cadena de Suministro

Se aprueba la Tesis:

**Análisis del Tráfico Comercial Por Medio del Problema de Asignación
Cuadrática (QAP)**

Erika Granillo Martínez

Comité Doctoral


Dr. Rogelio González Velázquez
Director de Tesis


Dra. María Beatriz Bernábe Loranca
Asesora


Dra. Patricia Cano Olivos
Asesora

Puebla, México.

Agosto del 2017

DEDICATORIA

Dios: Te agradezco por tener un cuerpo perfecto con el cual tengo la oportunidad de desarrollar mis habilidades así como usarlas en esta tierra para alcanzar la medida de mi creación, tu sabes Dios que pongo a tus servicio todo lo que he adquirido en este tiempo para engrandecer tu reino aquí en la tierra. Gracias por poner todo los medios y recursos a mi disposición para salir adelante en este proyecto que ya culmino, yo sé que siempre estás conmigo, que haz iluminado mi camino y por todo esto gracias.

Padres: Gracias papá y mamá por ser una guía en mi vida, ustedes me han apoyado en todo, me han enseñado a no darme por vencida, sus consejos así como su influencia han forjado mi carácter, no hay manera suficiente para expresar mi agradecimiento y amor por ustedes pero yo sé que lo saben.

Hermanos: Sari al inicio de mi doctorado tú me ayudaste con algunas materias difíciles y desconocidas para mí gracias por tu paciencia y tiempo que me dedicaste, Gesa gracias por el ánimo que me diste a lo largo de estos 4 años cuando las cosas no iban tan bien, Juanri aunque lejos estamos sé que me tienes presentes en tus oraciones.

Primo Rodrigo: Ya no estás aquí pero quiero dedicarte este trabajo como muestra de admiración por toda esa lucha que pasaste en esta vida, las publicaciones que componen esta obra llegaron a mi mente cuando tú estabas en mi casa, gracias primo por tu ejemplo, por tu fortaleza que me alentó a no desistir, primo espero que se te deje echar un vistazo a esta tierra y compartamos juntos este logro.

AGRADECIMIENTOS

Familia: Abuelos, tíos, tías, primos gracias por sus palabras alentadoras no los puedo mencionar a todos pero los llevo en mi corazón, tía Martha gracias por estar ahí para mi definitivamente tus palabras han sido alentadoras en todo momento.

Director de tesis: Doctor Rogelio si no hubiera sido por que Dios lo puso en mi camino creo que andaría perdida, gracias por su paciencia tiempo y sobre todo por confiar en mi sin conocerme, acuérdesse que esto no termina, seguimos en el camino y de aquí al estrellato.

CONACYT: Le agradezco a esta instancia el apoyo que me brindo durante 4 años para realizar este posgrado.

UPAEP: Le agradezco a la universidad por el apoyo que me brindo en mi formación académica a los largo del posgrado.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO 2. ARTÍCULO DE CONGRESO	10
2.1 Título	10
2.2 Resumen	10
2.3 Palabras Claves	10
2.4 Introducción	10
2.5 Revisión de la literatura	11
2.6 Metodología	13
2.7 Resultados	14
2.8 Conclusiones	15
CAPÍTULO 3. ARTÍCULO DE REVISTA	
3.1 Título	17
3.2 Abstract	17
3.3 Keywords	17
3.4 Introduction	17
3.5 Related work	18
3.6 Mathematical Model QAP	19
3.7 GRASP Meta- heuristic	20
3.8 GRASP for QAP	20
3.9 Experimental Result	21
3.10 Conclusions	22
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
REFERENCIAS	26
ANEXOS	
ANEXO A. Carta de aceptación de artículo de Congreso IBFR	33
ANEXO B. Certificado Outstanding Research Award IBFR	34
ANEXO C. Certificado de Presentación en congreso IBFR	35
ANEXO D. Certificado de Best in session Award IBFR	36
ANEXO E. Certificado de participación al congreso IBFR	37
ANEXO F. Session Chair Certificate del congreso IBFR	38
ANEXO G. Carta de aceptación de artículo publicado en Revista	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pseudo-código genérico GRASP	13
Figura 2. Matrices de Distancia, Probabilidad, Flujo y Vector Lambda	14
Figura 3. Representación del tráfico dentro del pasillo del centro comercial	15
Figura 4. Comparison Objective Value	22
.	
.	
.	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Neighborhood from initial solution s	21
Tabla 2. GRASP results	22
Tabla 3. ANT results	22
Tabla 4. Other GRASP's results	22

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La distribución de áreas o actividades dentro de un edificio, el diseño de estaciones mecanizadas de trabajo o de ensamble dentro de una industria, la ubicación de edificios en un campus universitario o dentro de un complejo industrial, representan ejemplos del problema de distribución de planta así como el de ubicación 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 tráfico de clientes en los pasillos de traslado Li & 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). 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 y 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 maquinados 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 es fija. En la realidad esto no típico ni práctico, sin embargo desde que se producen la mayoría de los problemas de diseño en un entorno de tráfico donde la congestión podría ser una de las principales preocupaciones.

La congestión ocurre principalmente en la circulación del sistema de manejo de material de las diferentes áreas de un edificio tales como los pasillos, elevadores, bandas transportadoras, escaleras eléctricas y aterrizajes. Por lo tanto, evitando el congestionamiento en un sistema de movimiento de clientes o personas se vuelve un asunto importante para el diseño de instalaciones. La colocación adecuada de actividades dentro de un edificio reduce la congestión en un sistema de movimientos y minimiza el tiempo de espera (tiempo de retardo total del cliente) creado por el índice de llegadas, flujo de tráfico que están rotando a través del sistema de movimiento.

El flujo de tráfico desde el cliente con la frecuente congestión mencionada son fenómenos esencialmente aleatorios, los problemas de ubicación y diseño estocásticos están formulados con el fin de mostrar los efectos en la congestión en el sistema de movimiento.

Los problemas de distribución y ubicación de instalaciones pueden estar enmarcados matemáticamente por el QAP. La versión estocástica del QAP ha sido planteada por Li & Smith (2001) con la cual modela el tráfico en un centro comercial, considerando la aleatoriedad de la llegada de los clientes y el traslado a cada uno de los locales, en otras palabras Stochastic Quadratic Assignment Problem (SQAP).

A lo largo de la cadena de suministro existen 4 tipos de problemas de interés: ubicación de instalaciones, producción, inventario y transporte-distribución. Cada uno de estos problemas pertenece a estratos de decisión diferentes a lo largo de la cadena. En la logística de la cadena de suministro hay tres tipos de decisiones que se deben analizar como son: estratégicas, o a largo plazo (meses o años), tácticas, o a mediano plazo (semanas o meses), y operativas, o a corto plazo (varias veces en un día o una semana). El QAP pertenece al área de planeación estratégica de una compañía, es decir que son decisiones a largo plazo y una buena decisión influye significativamente en la eficiencia de la cadena de suministro así como en los costos de instalación y finalmente en el servicio al cliente.

Ante la necesidad de dar respuesta a los problemas de distribución y ubicación de instalaciones es necesario diseñar herramientas de solución que proporcionen elementos confiables en la toma de decisiones estratégicas a una organización, con la finalidad de satisfacer las necesidades de los clientes en el lugar, en la cantidad y en el momento preciso.

Los resultados de este proyecto favorecerá la toma decisiones y mejores prácticas en la distribución y ubicación de instalaciones en ambientes estocásticos.

La trascendencia de este proyecto radica en proponer soluciones al problema de la distribución y ubicación eficiente de las instalaciones para que una organización incremente su competitividad.

La utilidad de los resultados obtenidos en este proyecto son: tener una herramienta que permita diseñar la distribución y ubicación de los puntos de abastecimiento por donde fluyen los productos o servicios para la eficiencia del sistema logístico.

En este documento se compilan y se presentan dos investigaciones que amplían el tema del Problema de Asignación Cuadrática, ambas investigaciones son complementarias y muestran lo siguiente: Plantea un modelo matemático de programación entera binaria y de optimización combinatoria de minimización de costos para representar la problemática de distribución y ubicación de instalaciones (QAP) en los casos determinístico y estocástico.

Resolver el QAP y el SQAP por medio de su planteamiento de programación entera binaria y utilizando un software para los casos de instancias de pequeña escala, diseña una metaheurística para encontrar soluciones aproximadas a la óptima para el QAP y SQAP como problema de optimización combinatoria e implementarlo para instancias de gran escala, genera y diseña escenarios e instancias de prueba que contenga datos y parámetros que se ajusten al modelo matemático de minimización de costos y a los requerimientos del método de solución de la problemática de ubicación de instalaciones y finalmente implementa el método de solución para el modelo matemático de minimización de costos con los escenarios e instancias de prueba que contenga datos y parámetros que se de conformidad a la problemática de distribución y ubicación de instalaciones.

Este documento se encuentra estructurado de la siguiente manera: el capítulo 2 presenta una primera investigación titulada “Análisis del Tráfico dentro de un Centro Comercial” la cual fue publica en la revista RIAF. En este artículo 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. En capítulo 3 se muestra la segunda investigación titulada “A neighborhood combining approach in GRASP's local search for Quadratic

Assignment Problem solutions” este artículo será publicado en la revista *Computacion y Sistemas Journal on Language & Knowledge Engineering*, esta publicación describe un estudio para la búsqueda de soluciones de optimización combinatoria para el problema de Asignación Cuadrática por medio de la implementación del proceso de búsqueda GRASP (Greedy Randomized Adaptative Procedure Search). Finalmente en el capítulo 4 se dan las conclusiones y recomendaciones con relación al tema.

CAPÍTULO 2. ARTÍCULO DE REVISTA

Este artículo será publicado en la Revista Internacional Administración y Finanzas (RIAF) Vol. 10(4), 2017

2.1 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

2.2 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.

2.3 PALABRAS CLAVE: QAP, tráfico, ubicación, localización.

TRAFFIC ANALYSIS WITHIN A MALL

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, traffic, allocation, location.

2.4 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.

2.5 REVISIÓN DE LA LITERATURA

Acerca 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: $z = tr(FXD X^t) = \sum_j \sum_j \sum_{k>i} \sum_{l \neq j} c_{ijkl} x_{i,j} x_{k,l}$

Donde Z es la traza de la matriz $FXD X^t$

Minimizar z (1)

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

$x_{ik} \in \{0, 1\}$ (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/ ∞ , 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 esta 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 terminos de optimización combinatoria.

2.6 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 Adpatative 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 esta 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 bilblioteca 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 intancias de gran escala en una computadora (datos de compu) en un tiempo razonable de computo.

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}

```

igo 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.

2.7 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 obtenida 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

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

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

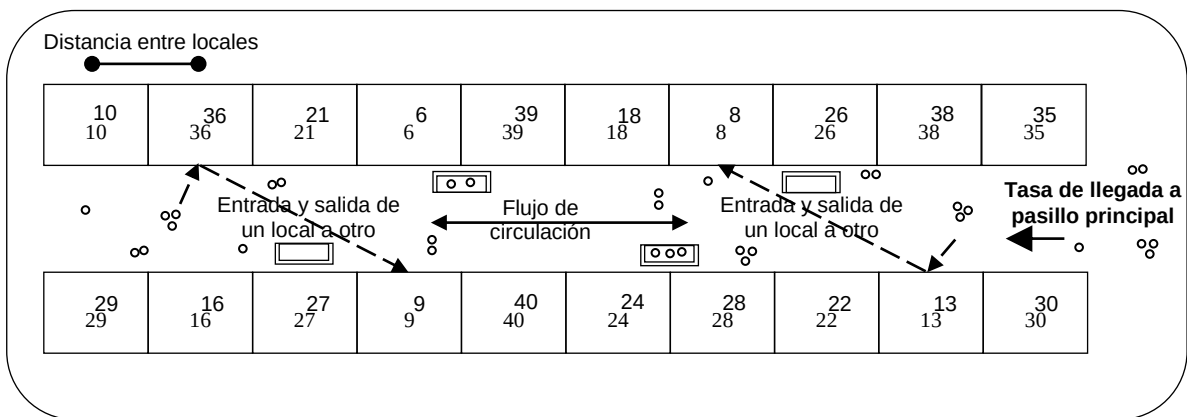
$$F = \begin{pmatrix} 0 & 0.52 & 0.8 & 0.6 & 1.48 & 0.6 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0.1 & 0.4 & 0 \\ 0.62 & 0 & 0 & 0.18 & 0.1 & 0.1 \\ 0.28 & 0.18 & 0.2 & 0 & 0.34 & 0 \\ 0.28 & 0.3 & 0 & 0.12 & 0 & 0.3 \\ 0.32 & 0 & 0 & 0 & 0.68 & 0 \end{pmatrix} \quad \lambda = \sum_{i=1}^6 \lambda_i = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6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

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 1a 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 descontinuas 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.

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



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.

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 $n > 20$

2.8 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 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

CAPÍTULO 3. ARTÍCULO DE REVISTA

This article will be published in the special issue of the **Computacion y Sistemas Journal on Language & Knowledge Engineering**

3.1 A neighborhood combining approach in GRASP's local search for Quadratic Assignment Problem solutions

Erika Granillo Martínez¹, Rogelio González Velázquez², María Beatriz Bernabé Loranca³ and José Luis Martínez Flores⁴

¹Departamento de ingenierías y Tecnologías de La información, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México
erika.granillo@upaep.edu.mx

²Facultad de Ciencias de la computación, Benemerita Universidad Autónoma de Puebla, México
rgonzalez@cs.buap.mx

³Facultad de Ciencias de la computación, Benemerita Universidad Autónoma de Puebla, México
Beatriz.bernabe@gmail.com

⁴Departamento de ingenierías y Tecnologías de La información, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México
Joseluis.martinez01@upaep.mx

3.2 Abstract. In this paper we describe a study for the search of solutions of the combinatorial optimization problem Quadratic Assignment Problem (QAP) through the implementation of a Greedy Randomized Adaptive Procedure Search (GRASP) and have been compared with the best solutions known in the literature, obtaining robust results in terms of the value of the objective function and the execution time. Also a comparison with the ant algorithm is presented with the aim of comparing the meta-heuristic. The most important contribution of this paper is the use of the combination of different neighborhood structures in the GRASP improvement phase. The experiment was performed for a set of test instances available in QAPLIB. The QAP belongs to the Np-hard class whereby this approximation algorithm is implemented

3.3 Keywords. Meta-heuristics, NP-hard, Neighborhood structure, combinatorial optimization, local search, GRASP, QAP.

Un enfoque de combinación de vecindarios en la búsqueda local de

3.4 Introduction

The use of optimization problems arise in different fields such as manufacturing, engineering design, control, optimization, economics etc., provide practical use in real life therefore there is a real need for efficient and robust computational algorithms which help to solve that kind of problems. Several NP-hard combinatorial optimization problems, such as assignment problem, the traveling sales problem, minimum spanning tree, vehicle routing problem, can be modeled as the Quadratic Assignment Problem (QAP) (Said, Mahmoud, El-Horbaty, 2014)

GRASP para buscar soluciones del QAP

Palabras clave. Meta-heurística, HP-hard, Estructuras vecinales, optimización combinatoria, búsqueda local, GRASP, QAP

Resumen. En este artículo se describe un estudio para la búsqueda de soluciones del problema de optimización combinatoria Quadratic Assignment Problem (QAP) por medio de la implementación de un Greedy Randomized Adaptive Procedure Search (GRASP) y se han comparado con las mejores soluciones conocidas en la literatura, obteniendo resultados robustos en cuanto al valor de la función objetivo y al tiempo de ejecución. Así mismo se presenta un comparativo con el algoritmo hormiga con el objetivo de comparar la meta-heurística. La aportación más importante de este artículo es el uso de la combinación de diferentes estructuras vecinales en la fase de mejoramiento de GRASP. El experimento se realizó para un conjunto de instancias de prueba disponibles en QAPLIB. El QAP pertenece a la clase Np-hard por lo cual se implementa este algoritmo de aproximación. Optimization is a process that finds a best or optimal solution for a problem. An combinatorial optimization is a topic that consist of finding an optimal object from a finite set of objects (Schrijver, 2006) find values of variables that minimize or maximize the objective function while satisfying the constrains. The principal factors of optimization problems are: an objective function which is to be minimized or maximized, a set of unknown or variables that affect the objective function and a set of constrains that allow the unknowns to certain values but exclude others.

There is more than one local solution in most optimization problems, in order to choose a good optimization method that look only in the neighborhood of the best solution rather than be a greedy one that mislead the search process and leave it stuck at a local solution. Nowadays there are multiple methods to solve optimization problems of both mathematical and combinatorial types, but if the optimization problem is difficult or the search space is large, it will become difficult to solve using conventional mathematics.

As a result of these problems many meta-heuristic optimization methods have been developed to solve such difficult problems (Alazzam and Lewis, 2013)

To understand combinatorial optimization is necessary define Combinatorial that in general means that the state space is discrete, now combinatorial optimization problems (COP) are those problems that have a finite set of possible solutions, experts in combinatorial optimization tend to search for particular poly nominal solvable version of NP- hard problems and research mechanisms to measure the difficulty of problem instances (Loila et. Al 2007). To solve combinatorial optimization problems it's necessary to check all feasible solutions in the search space. However, is not always possible to check all feasible solution especially when the search space is large, therefore many meta-heuristics algorithms haven been devised and modified to solve these problems. Due to the Meta heuristics does not provide a guarantee to find an optimal solution, but they try to explore different areas in the search space in a smart way to get a near optimal solution in less cost and time (Baghel, Agrawa, Silakari, 2012)

Many real world application require the solution of optimization problems which belong to a special class NP- complete problems as the quadratic assignment problem (QAP) which is one of the most difficult problems in the NP-hard class, (Shani and Gonzalez, 1978) models real life problems in several areas such facilities location, combinatorial data analysis and parallel and distributed computing. Combinatorial optimization problems such as maximal clique and graph partitioning can be formulated as a QAP.

The main contribution of this paper is centered on the search for solutions to a complex problem belonging to the NP-hard class (QAP) through the Greedy

Randomized Adaptive Search Procedure metaheuristic (GRASP).

This paper is organized as follows. In section 2 the related work is presented with the methodology, solution, applications and in general some advances in the QAP. Section 3 the mathematical model for QAP is presented. In section 4 the development of the GRASP meta-heuristic, section 5 the design of GRASP for QAP, section 6 describes the experimental results obtained by the application of the presented model and finally in section 7 some conclusions and future work are presented.

3.5 Related Work

Koopmans and Beckmann(1957) first proposed the QAP as a mathematical model related with economic activities, since then, it has appeared in several applications: Steinberg (1961) used the QAP to minimize the number of connections between components in a backboard wiring; Heffley (1972,1980) applied as a Koopmans and Beckmann in economic problems; Francis and White (1974) developed a decision framework for assigning a new facilities here some of the applications: police pots, supermarkets, schools, hospitals in order to serve a given set of clients; Geoffrion and Graves (1987) focused on scheduling problems; Pollatschek et al.(1976) used the QAP to define the best design for typewriter keyboard and control panels; Krarup and Pruzan(1978) applied it to archeology; Hubert (1987) in a statistical analysis; Forsberg et al. (1994) used it in the analysis of reaction chemistry; Brusco and Stahl (2000) in numerical analysis. However, the most popular application for the QAP is the facilities layout problem, Dickey and Hopkins (1972) applied the QAP to the assignment of buildings in a university campus, Elshafei (1977) in a hospital planning and Bos (1993) in a related problem to forest park. Benjaafar (2002) introduced a formulation of the facility layout design problem in order to minimize work in process (WIP) in that work it shows that layouts obtained using a WIP- based formulation can be very different in comparison of the conventional QAP formulation because the QAP- optimal layout can be WIP Infeasible.

During the decade of the 90's there was new application related with the QAP, Bland and Dawson (1991,1994) Taboo search and design optimization, Layout of facilities using a heuristic hybrid algorithm, Balakrishnan et al. (1992) applied to

solutions for the constrained dynamic facility layout problem; Lacksonen and Ensore (1993) used the quadratic assignment algorithm for the dynamic layout; Philips and Rosen (1994) invoked the quadratic assignment formulation of the molecular conformation problema; Bozer and Suk- Chul (1996) applied to branch and bound method for solving the bidirectional circular layout problem; Talbot and Cawley (1996) used a quadratic index assignment algorithm for vector quantization over noisy transmission channels; White(1996) in a lagrangean relaxation approach for a turbine design quadratic assignment problem; Ball et al. (1998) in Network – based formulation of quadratic assignment problems; Haghani and Chen (1998) used to optimize the gates assignment at airport terminal; Kochhar et al. (1998) applied to a genetic algorithm for the unequal area facility layout problem; Sarker et al. (1998) applied to one dimensional machine location problems in a multi-product flowline with equidistant location; Tansel and Bilen (1998) in move based heuristic for the unidirectional loop network layout problem; Tavakkoli – Moghaddain and Shayan (1998) in Facilities layout design by genetic algorithm; Urban (1998) use to solve procedures for the dynamic facility layout problem; Gong et al. (1999) in a genetic algorithm method for one- dimensional machine location problems; Rossin and Klein (1999) applied in a complexity measure for the facility layout problem.

The applications of the QAP are extensive and have been of great interest for the researchers in real scenarios for that reason they are still looking for new alternatives that allow to have new inventions on this subject, for the decade of the 2000 researchers continue with this hard work implementing new methods: Bartolomei and Egbelu (2000) used quadratic assignment problem QAP with adaptable material handling devices; Ho and Moddie (2000) applied a hybrid approach for concurrent layout design of cells and their flow paths in a tree configuration; Urban et al. (2000) used to integrated machine allocation and layout problem; Hahn and Krarup (2001) used in a hospital facility layout problem; Ji and MacGregor (2001) applied to observe the customers traffic inside a mall; Siu and Chang (2002) In an optimal assignment in wavelength division multiplexing network with fixed regular virtual topologies; Wang and Sarker (2002) used to locating cells

with bottleneck machines in cellular manufacturing systems; Ciriani et al. (2004) in Room allocation polynomial subcase of the quadratic assignment problem; Solimanpur et al. (2004) applied to an Ant colony optimization algorithm to the inter-cell layout problem in cellular manufacturing.

Recent work shows the new trends and applications for these optimization problems that are modeled with the QAP: Nickel and Puerto (2005) did an extended and comprehensive study in the continuous area of networks based on location and distribution models mainly on medium problems of location and distribution; Another interesting application in logistics concerns the assignment of doors to minimize the cost of loading materials in a rectangular cross dock (Bozer y Carlo 2008).

In the design of logistics networks, there is a special problem of location and design problems, which consists of finding the optimal location of the facilities and assigning customers to the facilities in such a way as to minimize the costs of satisfying customer demand (Bozer y Carlo 2008); hospital design (Murat et al. 2010). Bathi and Rasool (2014) applied to the airport design, container location in shipping yards, interior customs. In recent years metaheuristics have proven to be robust tools for solving difficult optimization problems as is shown in this section.

3.6 Mathematical Model QAP

Next we present the mathematical model of combinatorial optimization

Given a set $\mathbb{N} = \{1, 2, n\}$ and $n \times n$ matrices $F = (f_{ij})$ and $D = (d_{kl})$ the QAP can be stated as follows:

$$\min_{p \in \Pi_{\mathbb{N}}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} d_{p(i)p(j)}$$

The objective is to find and optimal assignment of n facilities to n locations.

Where $\Pi_{\mathbb{N}}$ is the set of all permutations

of $\mathbb{N}$, f_{ij} is the flow of materials from facility i

to facility j and d_{kl} represents the distance

from location k to location l .

In this article we will implement the GRASP metaheuristics to find solutions to the QAP by means of a random combining approach of neighborhood structures, which will be tested for the instances taken from QAPlib.

3.7 GRASP Meta- Heuristic

GRASP is a metaheuristic that emerged during the 1980's in order to solve difficult problems in the field of combinatorial optimization.

It was originally developed by Feo and Resende in 1989 with the article a probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem.

GRASP is an iterative process. Each GRASP iteration consists of two steps: the construction phase and the post-processing phase. Once the two phases have been executed, the obtained solution is stored and iteration is carried out, saving each time the best solution that has been found so far.

Procedure 1: **A generic GRASP pseudo-code**

```

1 Input instance ();
2 while (criteria no satisfied) do
3
4 ConstGreedyRandomizedSolution();
5 Post-processing();
6 Update solution();
7 End {while}
8 Return(BestSolutionFound)
9 End {GRASP}

```

The objective of the construction phase is to generate a feasible solution of good quality and it is expected that the work of the post-processing phase will be less, so each GRASP iteration would occur faster. In the construction phase, GRASP generates a list of candidates formed by elements of high quality, this list is called candidate restriction list (CRL). The initial solution is constructed iteratively.

In each iteration of the constructive procedure, an element is randomly chosen from the list of candidates to be added to the substructure as part of the solution being constructed, better say the method is greedy, random and adaptive. In the post-processing phase, local search algorithms are used to improve the solution produced

in the first phase to obtain local optimization.

3.8 GRASP for QAP

According with Li et al. The first phase of GRASP has components that are linked together into an iterative method that constructs a feasible solution. This solution will be improved in a second phase through a local search strategy.

The first phase consists of two stages, in the first one generates a restricted list of candidates that needs two parameters alpha and beta, from this process the first two assignments are given in the permutation of the solution being constructed, in step 2 The remaining $n-2$ are added, the process ends when the whole permutation is complete, then we have an initial solution ready to improve it

Construction phase for the QAP:

The elements of the flow matrix are arranged in a list in ascending order and the elements of the distance matrix are arranged in a list in decreasing order, the two lists are constrained by an alpha (α) parameter and both lists are multiplied from component to component. To generate a new list with the elements $f_{ij}d_{kl}$ which is trimmed by an beta (β) parameter, in this restricted list of candidates, presented in decreasing order an element is selected randomly producing the assignments to $p(i) = k$ and $p(j) = l$.

The second phase of the construction consists in including one by one the new assignments by calculating the cost of each of the possible assignments and selecting from a list the ones of lesser value, thus being continued until the permutation is complete. See procedure 2 modified from figure 2 of Li, Pardalos and Resendes (1994).

The input parameters for this algorithm are two assignments obtained from the restricted list of candidates, as can be seen the cardinality of the gamma set in line 1 is 2, while the permutation is not complete, a procedure is followed to calculate the costs of possible assignments of the following components of the permutation in this way is selected the lowest cost.

Procedure 2: **Pseudo- code of stage 2**

of GRASP construction phase

```

1  $\Gamma = \{(j_1, l_1), (j_2, l_2)\};$ 

```

```

2 While  $|\Gamma| \leq n$  do
3  $z=0$ ;
4 for  $i = 1$  to  $n$ ;
5   for  $j = 1$  to  $n$ ;
6     if  $(i, j) \notin \Gamma$  then
7        $c_{ik} = \sum_{(i,j) \in \Gamma} f_{ij} d_{kl}$ ;
8       in heap
9        $(c_{ik})$ ;
10      end {if};
11    end {if};
12  end {if};
13   $s = \text{random}(1, \dots, [az])$ ;
14   $c_{ik} = \text{outheap}(s)$ ;
15   $\Gamma = \Gamma \cup \{(i, k)\}$ ;
16  end {while};
end {stage2};

```

The second phase of GRASP called post-processing consists of improving the solution produced in the first phase by means of a local search algorithm that depends on the designed neighborhood structure. In procedure 3, the solutions P , s and the neighborhood structure $N(s)$

Procedure 3: **Pseudo-code local search**

```

1 While  $s$  is not locally optimal do
2 Find a better solution  $r \in N(s)$ ;
3 Lets  $s = 1$ ;
4 End ; {while}
5 Return ( $s$  as local optimal for  $P$ )
end local;

```

This paper implements the random combination of neighborhood structures 2 – *exchange*, λ – *exchange*, proposed by Li, Pardalos and Resendes

(1994), *swap* by Álvarez, Toro and Gallegos (2008). The quest to find the best solution in a neighborhood for a given solution will be the first decrease shown by some neighbor in neighborhoods of 2 – *intercambio*

$$C_2^n = \frac{n!}{2!(n-2)!}$$

the neighborhood from initial solution is shown in table 1. The neighbors of the initial solution are ten, additionally a column with its corresponding evaluated costs of the matrix Nug 5

$$Nug\ 5 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 2 & 3 \\ 5 & 0 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 0 & 1 & 2 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 & 5 & 0 \end{pmatrix}$$

Table 1 Neighborhood from Initial solution s

$N(s)=2\text{-Exchange}$						Cost
S	2	3	5	1	4	74
s1	3	2	5	1	4	74
s2	5	3	2	1	4	90
s3	1	3	5	2	4	60
s4	4	3	5	1	2	62
s5	2	5	3	1	4	74
s6	2	1	5	3	4	72
s7	2	4	5	1	3	50*
s8	2	3	1	5	4	61
s9	2	3	4	1	5	80
s10	2	3	5	4	1	74

3.9 Experimental Results

In this section, we report experimental results describing the testing of a Java implementation of the GRASP described in this paper on a wide range of tested problems, including most instances from the suite of QAP tested problems QAPLIB, Li, Pardalos y Resendes (1994).

The experiment was conducted on Intel (R) Core (TM) i7-7500 CPU 2, 7 GHz, 2.90 GHz with RAM: 16, 0.

Throughout the experiment we used the following parameters: $\alpha = 0.2$, $\beta = 0.3$ Iteration 500.

The figure 1 shows the comparison of the algorithms, the instance and the target value obtained by GRASP and Ant, as it is observed the difference that is recorded is not great.

implemented by Tillard and adapted to compare it.

Figure 4. Comparison objective value

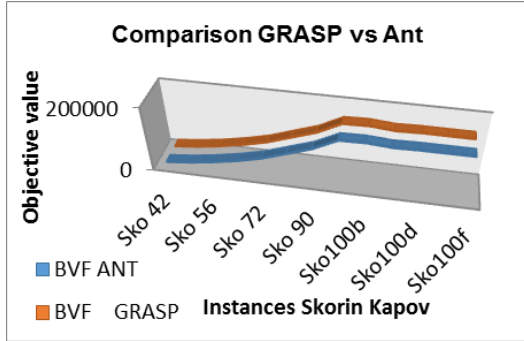


Table 2 shows the results obtained of the execution of the sequential program in Java code to solve the QAP by means of GRASP and combination of neighborhoods, in the first column the large scale instances proposed by Skorin Kapov from $n = 42$ to $N = 100$ and its different variants, it is worth mentioning that these instances are the most complex to obtain robust results. The second column shows the combination of the neighborhood represented by N applied in the local search in the second phase of GRASP where C.R. means Combination Random, λ -E: Lambda Exchange, 2- E: 2 exchange, SW: swap, In the third column the best known objective values with the acronyms BKV are shown and in the fourth column the results are shown with the abbreviations GRF, the fifth column shows the gap less than 1% in all cases, Finally the CPU time in seconds.

Table 2. GRASP Results

Instance	N	BKV	BVF GRASP	GAP	CPUT
Sko 42	C. R.	15812	15862	0.32	319
Sko 49	C. R.	23386	23552	0.71	64
Sko 56	λ - E.	34458	34694	0.68	121
Sko 64	λ - E.	48498	48686	0.39	207
Sko 72	λ - E.	66256	66686	0.65	283
Sko 81	2- E.	90998	91640	0.71	538
Sko 90	C. R.	115534	116176	0.56	860
Sko 100a	Sw.	152002	152830	0.54	1718
Sko 100b	2- E.	153890	154916	0.67	1263
Sko 100b	C.R.	153890	154928	0.67	1060
Sko 100c	2- E.	147862	148736	0.59	1290
Sko 100d	C. R.	149576	150772	0.80	1197
Sko 100e	λ - E.	149150	150454	0.87	1141
Sko 100f	λ - E.	149036	150320	0.86	470

Table 3 shows the same results as in table 2, but now for the ant algorithm

Table 3. Ant Results

Instance	BKV	BVF ANT	GAP ANT	CPUT ANT
Sko 42	15812	15812	0	19,573
Sko 49	23386	23386	0	53,185
Sko 56	34458	34520	0,18	38,993
Sko 64	48498	48498	0	16,05
Sko 72	66256	66356	0,15	50,932
Sko 81	90998	91118	0,13	72,304
Sko 90	115534	116010	0,41	103,26
Sko100a	152002	152396	0,26	58,856
Sko100b	153890	153914	0,02	79,32
Sko100c	147862	148454	0,4	37,51
Sko100d	149576	150106	0,35	180,12
Sko100e	149150	150106	0,64	180,12
Sko100f	149036	150106	0,71	180,12

Finally, in Table 4, the GRASP results are shown with the combination of neighborhood structures for $n=64$ to $n= 250$ instances and their variants proposed in QAPLIB for which the optimum values were obtained in a minimum time of computation.

Table 4. Other GRASP's results

Instance	N	BKV	BVF GRASP	GAP	CPUT
Sko 42	C. R.	15812	15862	0.32	319
Sko 49	C. R.	23386	23552	0.71	64
Sko 56	λ - E.	34458	34694	0.68	121
Sko 64	λ - E.	48498	48686	0.39	207
Sko 72	λ - E.	66256	66686	0.65	283
Sko 81	2- E.	90998	91640	0.71	538
Sko 90	C. R.	115534	116176	0.56	860
Sko 100a	Sw.	152002	152830	0.54	1718
Sko 100b	2- E.	153890	154916	0.67	1263
Sko 100b	C.R.	153890	154928	0.67	1060
Sko 100c	2- E.	147862	148736	0.59	1290
Sko 100d	C. R.	149576	150772	0.80	1197
Sko 100e	λ - E.	149150	150454	0.87	1141
Sko 100f	λ - E.	149036	150320	0.86	470

3.10 Conclusions

In this paper we describe the important aspects of a GRASP implementation to find

solutions to the QAP, adapting the improvement phase through the combination of the 2-exchange, λ -exchange, exchange, combinatorial random neighborhood structures, the implemented algorithm In java was tested for a set and instances obtained from sko42, sko49, sko 56, sko 64, sko72, sko81, sko 90, sko 100 a , sko100b, sko 100c, sko 100d, sko100e, sko100f and esc 64a, esc 128,Tai 250. The contribution of this paper is the execution of a basic GRASP methodology with the variants in their post-processing phase through the combination of different neighborhood structures which led us to obtain approximate solutions with an error of no more than 1% In 90% of the cases and was executed for all type of arrays considered of great scale

The main difficulties faced were the CPU time for the Sko100a arrays up to Sko100f, as its execution time varied between 1060 and 1717 seconds, however the error taken as a reference of the best known value is less than 1%.



Erika Granillo Martínez

Professor of the business school at Benemerita Universidad Autónoma de Puebla and engineering school at Anahuac University, she obtained the bachelor's degree in foreign trade and customs by the Iberoamericana University, she has a master degree in business management by the UMAD, candidate to Phd in Logistics and Supply Chain by the Centro Interdisciplinario de posgrados of Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. She is currently directing logistic and optimization projects for the automotive companies. Her research interests are: combinatorial optimization, Quadratic Assignment Problem (QAP), humanitarian logistics.



Rogelio González Velázquez

obtained a PhD in Logistics and Supply Chain from the Autonomous Popular University of the State of Puebla, the master degree in Operations Research at the National Autonomous University of Mexico, since 1985 is a research professor at the Faculty of Sciences

As future work, it is proposed to modify the improvement phase with the same neighborhood structures by formulating a union of local structures and on the other hand to apply variable speed search with the four neighborhood structures and to generate instances for the case of the stochastic QAP problem to model the traffic in a shopping center.

Also the execution of the algorithm is presented Method: FANT, described in E. D. "FANT: Fast ante system", technical report IDISIA-46- 98, IDISIA, Lugano, 1998. Available on:

<http://www.eivd.ch/ina/collaborateurs/etd>

The GRASP results shows that with neighborhood combination has a robust consistency because it was implemented in large scale arrays with a gap of less than 1% in most cases in relation with the best known values and in comparison with the fant algorithms. It is shown that the simplicity of GRASP is competitive with bioinspired algorithms.

Of Computing at the Autonomous University of Puebla, in Puebla, México, develops the line of investigation and generation of research knowledge of operations in the academic body of mathematical computation and is a member of the register of BUAP researcher. He is a member of S.N.I. Level I.



María Beatriz Bernábe Loranca

She was born in the city of Puebla, Mexico. He received the B.S. degree in Computer Science from Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Mexico in 1993 and the M.I. degree in quality engineering from Universidad Iberoamericana (UIA), Mexico in 2003. In January 2010, she received the Doctorate degree in Operations Research from the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM.). Since 1995, she has been a professor at the School of Computer Science of BUAP, where she works in databases and statistics. Her research interests are: combinatorial optimization, territorial design and multiobjective techniques. She is a member of S.N.I. Level I.



Dr. José Luis Martínez Flores

He holds a bachelor's degree in mathematics, a master's degree in management science and a doctorate in engineering from UANL. He was Vice-President of the Mexican Association of Logistics and Supply Chain in the period 2012-2015 and obtained the National Logistics Award 2013. He has directed research and consulting projects in different companies such as Nestlé and ECOPETROL. He has been a lecturer at different international events and has published articles in different journals such as: International Journal of Production Research, Production Planning and Control, Transactions of the Society for Modeling and Simulation International, Mathematical Problems in Engineering. He is currently directing logistic projects for The Dow Chemical Company. He is also a member of international academic associations such as: Mexican Association of Logistics and Supply Chain, American Mathematical Society, Society for Industrial & Applied Mathematics, Mexican Society of Operations Research. He is a member of S.N.I.

Level 1

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se muestran los resultados de una investigación para la búsqueda de soluciones de un problema de alta complejidad computacional como lo es el Problema de Asignación Cuadrática (QAP por sus siglas en inglés), el cual pertenece a la clase NP-hard. Las aportaciones principales de la investigación son: la modelación de un sistema de tráfico de personas dentro de un centro comercial por medio del problema de optimización combinatoria QAP que incluye los conceptos de líneas de espera y la matriz de transición cuyo contenido es la probabilidad de que un cliente salga de una tienda i a una tienda j , de esta manera el QAP se transformó en el problema SQAP. El problema SQAP también es un problema NP-hard así que fue necesario implementar una metaheurística para la búsqueda de su solución, dicha metaheurística es conocida como GRASP.

La instancia propuesta para un caso de estudio real propuesta fue de dimensión 42 que representa a un centro comercial con 42 tiendas, esta instancia se integra 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.

Una segunda aportación es el diseño de una meta-heurística para resolver el problema QAP para buscar soluciones aproximadas. Otra contribución de esta investigación es el análisis experimental para afirmar la robustez de esta meta-heurística, las instancias de prueba fueron tomadas de la QAP Lib, obteniendo resultados favorables.

Como trabajo futuro se propone diseñar una meta-heurística híbrida entre GRASP y el algoritmo hormiga para mejorar el tiempo de búsqueda de las soluciones del problema QAP. También se propone diseñar instancias mayores a las propuestas en este documento.

.

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. 221-23

Alazzam Azmi and. Lewis H. W., 2013 "A New Optimization Algorithm for Combinatorial Problems", (IJARAI) International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence, Vol. 2, No.5

Álvarez, M.D., Toro, O.E., Gallegos, R.R., 2008. Algoritmo recocido simulado aplicado al problema de secuenciamiento de tareas en sistemas de producción lineal flow- shop. *Scientia et Technica* 15(40), 159- 164.

Balakrishnan, J., Jacobs, F.R., Venkataramanan, M.A., 1992. Solutions for the constrained dynamic facility layout problem. *European Journal of Operational Research* 15, 280–286.

Ball, M.O., Kaku, B.K., Vakhutinsky, A., 1998. Network-based formulations of the quadratic assignment problem. *European Journal of Operational Research* 104 (1), 241–249.

Baghel. M., Agrawa. S., and Silakari.S, 2012."Survey of Meta-heuristic Algorithms for Combinatorial Optimization", *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887) Volume 58– No.19

Bartolomei-Suarez, S.M., Egbelu, P.J., 2000. Quadratic assignment problem QAP with adaptable material handling devices. *International Journal of Production Research* 38 (4), 855–873.

Benjaafar, S., 2002. Modeling and analysis of congestion in the design of facility layouts. *Management Science* 48 (5), 679–704.

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.

Bland, J.A., Dawson, G.P., 1991. Taboo search and design optimization. *Computer Aided Design* 23 (3), 195–201.

Bland, J.A., Dawson, G.P., 1994. Large-scale layout of facilities using a heuristic hybrid algorithm. *Applied Mathematical Modeling* 18 (9), 500–503.

Bos, J., 1993. A quadratic assignment problem solved by simulated annealing. *Journal of Environmental Management* 37 (2), 127–145.

Bozer, Y.A., Suk-Chul, R., 1996. A branch and bound method for solving the bidirectional circular layout problem. *Applied Mathematical Modeling* 20 (5), 342–351.

Bozer, Y. A., & Carlo, H. J. (2008). Optimizing inbound and outbound door assignments in less-than-truckload cross docks. *IIE Transactions*, vol. 40(11), pp.1007-1018

- Brusco, M.J., Stahl, S. 2000.** Using quadratic assignment methods to generate initial permutations for least-squares unidimensional scaling of symmetric proximity matrices. *Journal of Classification* 17 (2), 197–223.
- Burkard, R.E., Karisch, S., and Rendl, F.1993.** QAPLIB a quadratic assignment problem library, European *Journal of Operations Research* 55 (1991), 115.119, Updated version Feb.1993
- Ciriani, V., Pisanti, N., Bernasconi, A., 2004.** Room allocation: A polynomial subcase of the quadratic assignment problem. *Discrete Applied Mathematics* 144 (3), 263–269.
- Dickey, J.W., Hopkins, J.W., 1972.** Campus building arrangement using Topaz. *Transportation Research* 6, 59–68.
- Elshafei, A.N., 1977.** Hospital layout as a quadratic assignment problem. *Operations Research Quarterly* 28 (1), 167–179.
- Forsberg, J.H., Delaney, R.M., Zhao, Q., Harakas, G., Chandran, R., 1994.** Analyzing lanthanide-included shifts in the NMR spectra of lanthanide (III) complexes derived from 1, 4, 7, 10-tetrakis (N, N-diethylacetamido)-1, 4, 7,10tetraazacyclododecane. *Inorganic Chemistry* 34, 3705–3715.
- Francis, R.L., White, J.A., 1974.** Facility Layout and Location: An Analytical Approach. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Geoffrion, A.M., Graves, G.W., 1976.** Scheduling parallel production lines with changeover costs: Practical applications of a quadratic assignment/LP approach. *Operations Research* 24, 595–610.
- Gong, D., Yamazaki, G., Gen, M., Xu, W., 1999.** A genetic algorithm method for one-dimensional machine location problems. *International Journal of Production Economics* 60-1, 337–342.
- Haghani, A., Chen, M.-C., 1998.** Optimizing gate assignments at airport terminals. *Transportation Research A* 32 (6), 437–454.
- Hahn, P.M., Krarup, J., 2001.** A hospital facility layout problem finally solved. *Journal of Intelligent Manufacturing* 12, 487–496.
- Heffley, D.R., 1977.** Assigning runners to a relay team. In: Ladany, S.P., Machol, R.E. (Eds.), *Optimal Strategies in Sports*. North Holland, Amsterdam, pp. 169–171.
- Heffley, D.R., 1980.** Decomposition of the Koopmans–Beckmann problem. *Regional Science and Urban Economics* 10 (4), 571–580.

- Ho, Y.C., Moodie, C.L., 2000.** A hybrid approach for concurrent layout design of cells and their flow paths in a tree configuration. *International Journal of Production Research* 38 (4), 895–928.
- Hubert, L., 1987.** Assignment methods in combinatorial data analysis. *Statistics: Textbooks and Monographs Series*, vol. 73. Marcel Dekker.
- Kochhar, J.S., Foster, B.T., Heragu, S.S., 1998.** Hope: A genetic algorithm for the unequal area facility layout problem. *Computers and Operations Research* 25 (7–8), 583–594.
- Koopmans, T.C., Beckmann, M.J., 1957.** Assignment problems and the location of economic activities. *Econometrica* 25, 53–76.
- Krarp, J., Pruzan, P.M., 1978.** Computer-aided layout design. *Mathematical Programming Study* 9, 75–94.
- Lacksonen, T.A., Ensore Jr., E.E., 1993.** Quadratic assignment algorithms for the dynamic layout. *International Journal of Production Research* 31 (3), 503–517.
- Li, Y., Pardalos, P.M., Resende, M.G.C., 1994.** A Greedy Randomized Adaptive Search Procedure for the Quadratic Assignment Problem. In P.M. Pardalos and H. Wolkowicz, editors, *Quadratic Assignment and related problems*, vol. 16 of DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, pp 237–261. American Mathematical society.
- Loiola, M.E., Abreu, N., M., Boaventura-Netto, P., O., Hahn, P., Querido, T., 2007.** A survey for the quadratic assignment problem. *European Journal of Operational Research* 176, 657–690
- 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.
- Phillips, A.T., Rosen, J.B., 1994.** A quadratic assignment formulation of the molecular-conformation problem. *Journal of Global Optimization* 4 (2), 229–241.
- Pollatschek, M. A., Gershoni, N., Radday, Y.T., 1976.** Optimization of the typewriter keyboard by simulation. *Angewandte Informatik* 17, 438–439.
- Rossin, D.F., Springer, M.C., Klein, B.D., 1999.** New complexity measures for the facility layout problem: An empirical study using traditional and neural network analysis. *Computers and Industrial Engineering* 36 (3), 585–602.

- Said, G., A., El-N., A., Mahmoud. A., M., El-Horbaty. El., M. 2014.** A Comparative Study of Meta-heuristic Algorithms for Solving Quadratic Assignment Problem International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 5, No. 1,
- Sarker, B.R., Wilhelm, W.E., Hogg, G.L., 1998.** One-dimensional machine location problems in a multi-product flowline with equidistant locations. European Journal of Operational Research 105 (3), 401–426.
- Schrijver, Alexander (February 1, 2006). A Course in Combinatorial Optimization*
- Scriabin, M., Vergin, R.C., 1975.** Comparison of computer algorithms and visual based methods for plant layout. Management Science 22, 172–187.
- Siu, F., Chang, R.K.C., 2002.** Effectiveness of optimal node assignments in wavelength division multiplexing networks with fixed regular virtual topologies. Computer Networks 38 (1), 61–74.
- Solimanpur, M., Vrat, P., Shankar, R., 2004.** Ant colony optimization algorithm to the inter-cell layout problem in cellular manufacturing. European Journal of Operational Research 157 (3), 592–606.
- Steinberg, L., 1961.** The backboard wiring problem: A placement algorithm. SIAM Review 3, 37–50.
- Talbot, N.L.C., Cawley, G.C., 1996.** A quadratic index assignment algorithm for vector quantization over noisy transmission channels. In: Proceedings of the Institute of Acoustics Autumn Conference (Speech and Hearing 96) 18, 195–199.
- Tansel, B.C., Bilen, C., 1998.** Move based heuristics for the unidirectional loop network layout problem. European Journal of Operational Research 108 (1), 36–48.
- Tavakkoli-Moghaddain, R., Shayan, E., 1998.** Facilities layout design by genetic algorithms. Computers and Industrial Engineering 35 (3–4), 527–530.
- Tillard, E.,D. 1998.** FANT, described in E. D. “FANT: Fast ante system”, technical report IDISIA-46- 98, IDISIA, Lugano, Available on: <http://www.eivd.ch/ina/collaborateurs/etd>
- Urban, T.L., 1998.** Solution procedures for the dynamic facility layout problem. Annals of Operations Research 76, 323–342.
- Urban, T.L., Chiang, W.C., Russell, R.A., 2000.** The integrated machine allocation and layout problem. International Journal of Production Research 38 (13), 2911–2930.

Wang, S.J., Sarker, B.R., 2002. Locating cells with bottleneck machines in cellular manufacturing systems. *International Journal of Production Research* 40 (2), 403–424.

White, D.J., 1996. A Lagrangean relaxation approach for a turbine design quadratic assignment problem. *Journal of the Operational Research Society* 47 (6), 766–775.

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.

ANEXO A. Carta de aceptación de artículo de Congreso IBFR

El artículo será publicado en la revista RIAF V10 (4), 2017.

IBFR The Institute for Business and Finance Research

PO BOX 4908
Hilo, HI 96720
USA

Phone: 808-959-9120
Fax: 800-928-6595

www.theibfr.com
Email: admin@theibfr.com

07 de febrero de 2017

Erika Granillo Martínez
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Ingenierías y Tecnologías de la información
17 sur 901 Barrio Santiago
Puebla Puebla 72980
México

Referencia No. LV092216010

Estimado Maestra Granillo Martínez:

Felicitaciones! Basados en la recomendación de dos árbitros y la opinión del editor, su manuscrito titulado "**Análisis del Tráfico Dentro de un Centro Comercial**" ha sido aceptado para publicación en *Revista Internacional Administración & Finanzas (RIAF)*. Aceptación y publicación de manuscritos en *Revista Internacional Administración & Finanzas (RIAF)* es muy competitivo. Por tanto, su esfuerzo y contribución académica merece un gran reconocimiento. Para finalizar su publicación, usted debe de completar los siguientes pasos:

1. Baje el Formulario de Permiso para Publicar en ingles "*Permission to Publish Form.*" Este formulario se encuentra disponible en www.theibfr.com/forms.htm.
1. Su formulario completo y formado por todos los autores debe ser enviado utilizando nuestro portal ubicado en www.theibfr.com/pp.htm
2. Realice el pago de su factura. Formas aceptadas de pago se encuentran en www.theibfr.com/metodospago.htm
3. El autor contacto debe de visitar <http://www.theibfr.com/shipping-journal.htm> para que procese su formulario de dirección postal. Asegúrese de indicar su dirección exacta. El Instituto enviara una sola vez el ejemplar de la revista que contiene su artículo. Su envío se realizara utilizando USPS correo aéreo. Este tipo de envío no ofrece rastreo. Si desea utilizar EMS, FEDEX, UPS or DHL, contáctenos para brindarle una cotizarle los costos de este tipo de envío.

Usted debe de completar esta pasos antes de **marzo 7, 2017**. El Instituto programará su artículo para publicación una vez recibido sus formularios y pago. Los editores se reservan el derecho de realizar cambios editoriales a su manuscrito una vez aceptado. Estos cambios pueden incluir modificar o eliminar secciones, tablas o figuras.

No dude en comunicarse conmigo si tiene alguna duda.

Saludos Cordiales,

Terrance Jalbert

Terrance Jalbert, Ph.D.
Editor in Chief
editor@theibfr.com

ANEXO B. Certificado Outstanding Research Award en congreso IBFR

Este certificado es otorgado por The Institute Business and Finance Research en el marco del Congreso “Global Conference on Business and Finance” que hace merito a los mejores trabajos de investigación.



ANEXO C. Certificado de Presentación en congreso IBFR

Certificado otorgado por The Institute Business and Finance Research en el marco del Congreso “Global Conference on Business and Finance” por la participación con la ponencia Análisis de tráfico dentro de un centro comercial.



ANEXO D. Certificado de Best in session Award en el congreso IBFR

Certificado otorgado por The Institute Business and Finance Research en el marco del Congreso “Global Conference on Business and Finance” por mejor presentación en sesión del congreso.



ANEXO E. Certificado de participación al congreso IBFR

Certificado otorgado por The Institute Business and Finance Research en el marco del Congreso “Global Conference on Business and Finance” por participación en congreso internacional.



ANEXO F. Session Chair Certificate del congreso IBFR

Certificado otorgado por The Institute Business and Finance Research en el marco del Congreso “Global Conference on Business and Finance” por participación en la mesa de jurado de la sesión.



ANEXO G. Carta de aceptación de artículo publicado en Revista

El artículo será publicado en un Special Issue on Language & Knowledge Engineering (LKE 2016)

