



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE POSGRADOS

PRESENTACIÓN PROPUESTA

TESIS DE MAESTRÍA: TRABAJO FINAL DE ESPECIALIZACIÓN:

1. PROPONENTE: Gabriela Alfonsina Salamanca Fajardo

CÓDIGO: 299625

2. PROGRAMA: Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación

3. DIRECTOR PROPUESTO: Luis Fernando Niño, Ph.D.

DEPARTAMENTO: Ingeniería de Sistemas

ASESORES:

4. TÍTULO: Sistema de Planeación de Rutas Vehiculares para Recolección de Desechos

ÁREA: Ciencias de la computación

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Sistemas Inteligentes

5. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN:

La planeación de Rutas ha sido un problema de gran interés en diversas áreas, debido a la complejidad que éste presenta. Los estudios realizados en ésta área se han centrado básicamente en dos problemas principales, como lo son el Problema del Agente Viajero (TSP por sus siglas en inglés “Traveling Salesman Problem”) y el Problema de Planeación de Rutas Vehiculares (VRP por sus siglas en inglés “Vehicle Routing Problem”).

Las investigaciones en éste ámbito, se deben fundamentalmente a los costos generados en la recolección o entrega de artículos a clientes desde un depósito o almacén [1][2][2], esto implica costos en el área logística, tales como la inversión en la flota de transporte, el mantenimiento de ésta, la

amortización, el combustible, seguros de los vehículos, contratación de conductores, para lo cual se han proporcionado diversas soluciones que permitan la minimización de costos.

Desde este contexto, cabe resaltar la existencia de los principales problemas de planeación de rutas que han sido ampliamente estudiados. El primero de ellos es el problema del Agente viajero (TSP) ha sido manejado desde diversas variantes [2] que han surgido teniendo en cuenta algunas restricciones, tales como que cada cliente debe ser atendido dentro de un determinado intervalo de tiempo (ventana de tiempo), que los puntos de suministro o depósitos sean varios (problema VRP con múltiples depósitos), que los clientes sean abastecidos por varios vehículos, que algunos datos del problema sean aleatorios tales como el número de clientes, sus demandas, etc.; que las entregas se realicen en determinados días. Bajo éstas restricciones se tienen algunas de las variantes de éste problema, las cuáles han sido objeto de algunos trabajos tales como el TSP Nómada en línea (NOLTSP), TSP Homing en línea (H-OLTSP), el TSP con tiempo de finalización (Deadline-TSP), el TSP de k-entregas. Por otro lado, el problema de rutas vehiculares también ha sido bastante estudiado y sobre este también se han desarrollado trabajos como el problema de rutas de vehículos capacitados (CVRP), los problemas de rutas vehiculares con ventanas de tiempo (VRPTW). Otros trabajo como el problema de los k-viajes del técnico (the k-traveling repairman problem), Planeación y Rutas de una Librería Móvil, también tienen relación con este tema.

El Problema del Agente Viajero (TSP) ha sido investigado desde hace algún tiempo y ha sido catalogado como un problema NP-completo debido a que el esfuerzo computacional que se debe realizar para encontrar una solución óptima crece de forma exponencial con el tamaño del problema. En teoría de grafos consiste en que dado un grafo de N vértices (ciudades) se debe encontrar el camino o ruta más corta (o de menor peso), que partiendo desde una ciudad origen, pase por todas las ciudades y lo haga sólo una vez. Para poder evaluar cuál será el camino más corto, todas las aristas existentes entre los vértices tendrán un valor que indicará la longitud (peso) entre una ciudad y otra (Ver Figura 1).

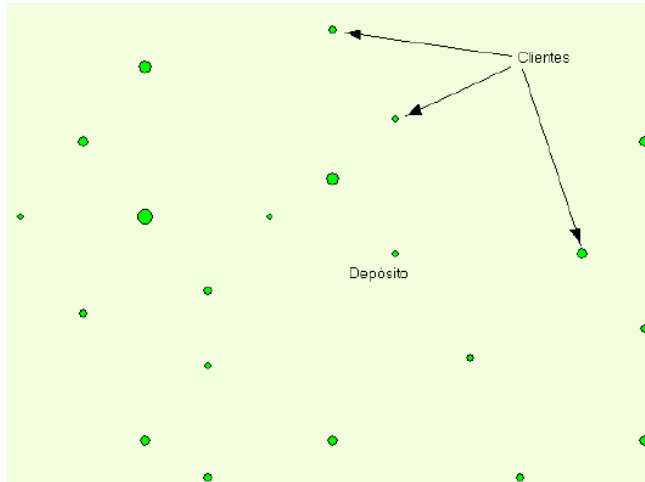


Fig. 1. Representación gráfica del problema del TSP

Para este problema se han presentado diversos variantes desde las cuales se proponen algunas soluciones [4].

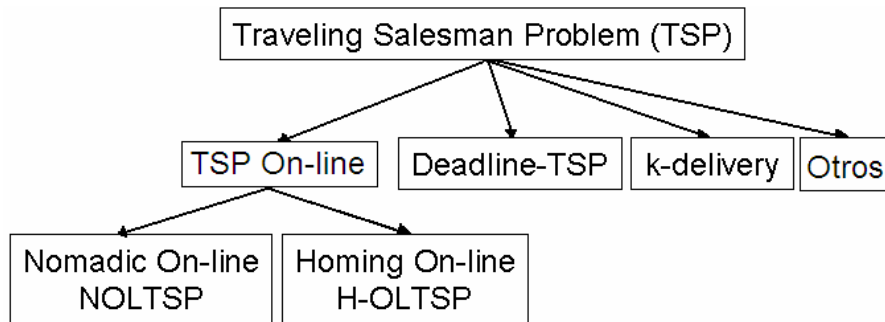


Fig. 2. Variaciones del TSP

La figura 2 se obtuvo del análisis de algunas de las variaciones encontradas acerca de este problema de planeación.

Las variaciones expuestas se pueden visualizar en el trabajo propuesto por Giorgio Ausiello et. Al [6] donde se presenta un modelo para el problema del agente viajero en línea "OLTSP", donde se consideran dos versiones del problema, el Nomadic On-line Travelling Salesman Problem (NOLTSP) que es definido como el tiempo de finalización requerido para atender todas las solicitudes presentadas, y el Homing On-line Travelling Salesman Problem – (H-OLTSP), definido como la minimización de tiempo de finalización requerido para servir todas las peticiones presentadas y retornar al origen. Los algoritmos On-line para los problemas N-OLTSP y H-OLTSP determinan

el comportamiento del servidor en un momento seguro como una función de todas las peticiones.

Por otro lado, la versión del problema del Agente Viajero con vencimiento "Deadline-TSP" implica que existe un número de ubicaciones que se deben visitar, pero esta visita sólo puede ser realizada dentro del tiempo que tiene cada punto a ser visitado. Este problema en forma general también es llamado problema de rutas de vehículos con ventana de tiempo. Se expone una aproximación en [7] para el caso general con terminación o ventanas de tiempo arbitrarias. Algunos algoritmos de aproximación basados en el problema de orientación, son propuestos para la solución de los problemas anteriormente descritos.

En contraste, otra variación del problema consiste en el transporte de un sólo artículo desde un conjunto de distribuidores a un conjunto de puntos de demanda, usando un vehículo de capacidad limitada y calculando una ruta de longitud mínima, empezando y terminando en un lugar fijo. Una generalización del Problema del Agente Viajero (TSP) es la k-delivery TSP la cual es referida en [8], donde si un carro puede tomar siempre la ruta más corta entre dos puntos cualquiera satisface la desigualdad triangular.

Otros trabajos realizados acerca de este problema son por ejemplo el k-traveling repairman problem [9] donde la meta es encontrar las rutas o viajes sobre los cuales se envía al técnico que minimice el promedio de tiempo que un cliente tiene que esperar para que el técnico llegue, asegurando que todos los clientes se atiendan. Un trabajo bastante bueno, fue desarrollado para las bibliotecas ambulantes [10], que fueron especialmente diseñadas en carros para poder llevar material bibliográfico a lugares donde no es posible acceder a ello. Estas bibliotecas contienen variedad de material tal como libros impresos, periódicos, audiolibros y música. El problema es descrito y modelado, implementando satisfactoriamente el modelo de programación entera estándar para un escenario práctico.

Otro de los problemas manejados en el ámbito de planeación es el Problema de rutas vehiculares al igual que el del agente viajero o TSP también tiene algunas variaciones, realmente estos dos problemas están bastante relacionados, e igualmente tienen variaciones con respecto a las restricciones [11].

El objetivo principal del VRP es atender un conjunto de clientes con una demanda por servicio a un costo mínimo a través de rutas que tienen un

origen y un término en un depósito central. Este problema típicamente considera una flota de vehículos ubicados en un depósito central que pueden ser programados con el fin de proveer algún tipo de servicio a clientes geográficamente dispersos en una región a atender. Así, estos problemas consideran el diseño de rutas de atención (distribución o recolección) desde uno o más depósitos centrales a un conjunto de clientes dispersos. Se pueden definir varias versiones del problema, dependiendo del número de factores, restricciones y objetivos, donde se dispone de situaciones donde: El problema puede ser de distribución, recolección o ambos, la distribución se lleva a cabo desde un o varios depósitos, Los clientes ser atendidos dentro de una ventana de tiempo.

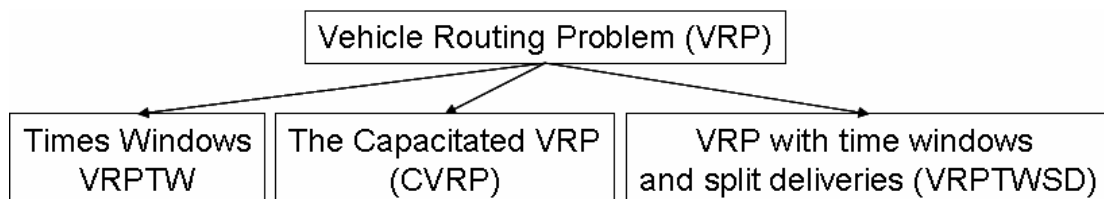


Fig. 3. Variaciones del VRP

La figura 3 se obtuvo del análisis de algunas de las variaciones encontradas acerca de este problema de planeación.

Las ventanas de tiempo en el Problema Rutas Vehiculares implican la existencia de un límite o intervalo de tiempo dentro del cual un cliente debe ser atendido. Una aproximación heurística robusta propuesta es propuesta en [12] para el problema de rutas de vehículos con ventanas de tiempo, usando un eficiente algoritmo genético. El principal objetivo del artículo es minimizar la distancia viajada. En los resultados presentados, el comportamiento de métodos heurísticos fue comparado con métodos exactos en términos de encontrar un óptimo global, robustez y esfuerzo computacional, usando las mismas suposiciones para la precisión del cálculo y la definición de la función objetivo.

Desde el problema clásico del Problema del Agente de Viajes (TSP) se consideraron dos variaciones, una de ellas es la de las rutas permitidas son limitadas por la necesidad de que los objetos deben ser entregados desde un punto fuente hasta su destino por un vehículo de capacidad finita, y los puntos que serán visitados, podrían estar en movimiento con una velocidad

conocida. Algunos de los trabajos relacionados son por ejemplo, The Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) [13] en este problema se tiene un conjunto de puntos en un espacio métrico, un grupo de vehículos de cierta capacidad y una colección de rutas de vehículos empezando en un origen, los cuales cada uno deben visitar un punto determinado. Otro de los trabajos es The Precedence-Constrained TSP[14] que implica la existencia de un número finito de puntos que se deben visitar antes de visitar un punto definido.

De otro lado, se tiene una variación que incluye ventanas de tiempo y entregas divididas (VRPTWSD por sus siglas en inglés “*VRP with time windows and split deliveries*”) y consiste en dada una escuadra de vehículos homogéneos estacionados en un almacén central y un conjunto de clientes requiriendo que sus demandas sean satisfechas, se deben encontrar las rutas de los vehículos empezando y terminando en el almacén cuando cada cliente sea visitado. Para la solución de este problema [15] proponen una búsqueda heurística tabú con cuatro diferentes estructuras de vecindad. Este problema también es abordado con el estudio del poliedro asociado al Problema de Rutas de Vehículos con Demanda Compartida [16], problema de distribución que surge cuando hay que repartir mercancías a un conjunto de clientes utilizando una flota fija de vehículos de capacidad limitada. El objetivo es diseñar las rutas de forma que se minimice la distancia total recorrida. Se diferencia de otros problemas mas conocidos de rutas con capacidades en que se permite abastecer la demanda de cada cliente utilizando más de un vehiculo.

También se considera el Multi-depot VRP, el cual consiste básicamente en que se tienen diversos depósitos desde donde los vehículos pueden partir y regresar. En [17] se enfoca principalmente en la asignación (agrupamiento) de los clientes a los almacenes, y compara los resultados obtenidos por seis heurísticas con asignación (asignación a través de urgencias, asignación paralela, asignación simplificada y barrido de asignación) obtenidos para resolver un problema de transporte para los mismos casos. Estos resultados fueron obtenidos utilizando una herramienta llamada STAAR, desarrollada bajo el software ArcView 3.0, plataforma GIS. Con estas pruebas, se concluye que los algoritmos de urgencia son los más recomendables en problemas grandes de la vida real.

6. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:

La recolección de desechos involucra una serie de elementos que cumplen una función primordial en este problema. Éste servicio debe ser proporcionado en un área de población específica distribuida geográficamente a través de unas rutas de recolección, que deben ser planteadas de acuerdo a los tipos de clientes, para ello los clientes deben ser agrupados teniendo en cuenta el itinerario de cada uno de ellos. Los tipos de clientes se establecen de acuerdo a la cantidad y el tipo de desechos que producen. Actualmente se están aplicando algunas soluciones que no son muy eficientes, debido a que las rutas generadas no son balanceadas para cada vehículo recolector.

El sistema está constituido por un Sistema de Información Geográfico que contiene los datos espaciales de la ubicación de cada cliente. Los camiones recolectores tienen un dispositivo GPS que les permite enviar la cantidad de desechos recogidos, la hora de llegada y la hora de partida, para tener un control de cada uno de los camiones, estos son las estaciones móviles que interactúan con la estación base, quien monitorea los vehículos y proporciona una ruta de recolección. Las rutas de recolección se pueden ver afectadas por usuarios nuevos o por usuarios temporales o transitorios, quienes en el momento que requieren el servicio lo solicitan. Existe la posibilidad que por falta de tiempo no se alcance a abastecer a todos los clientes, por tanto, estos clientes quedan pendientes y se deben atender al siguiente día.

Existen dos tipos de restricciones que afectan nuestro problema. Las de tipo temporal está relacionada con:

El horario de las visitas a los usuarios, debido a que algunos tienen una hora fija establecida y en la cual se les tiene que realizar el servicio y otros tienen un rango de horario que proporciona flexibilidad. Además de ello, las rutas se deben calcular cada quince días y ser informadas a los clientes por escrito.

Los días festivos deben ser previstos en la planeación, debido a que para clientes pequeños se puede presentar desfase, para ello se pueden reprogramar clientes pequeños para su recolección en los días anteriores o posteriores al festivo.

Una restricción de tipo espacial, debido a que los usuarios se encuentran ubicados en un área geográfica extensa, como lo es la ciudad de Bogotá, implica que el sistema debe agrupar los clientes que se encuentren más

cerca, con el fin de que se puedan abastecer a los usuarios en su fecha y horario predefinido. La solución para este problema debe abastecer cada uno de estos ítems, proporcionar, evaluaciones mensuales y una solución más eficiente comparable con la actual.

7. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

- [1] Takkula. Overview over optimization models in transportation, 2000.
- [2] Alexander Schrijver. On the history of the transportation and maximum flow problems. *Math. Program., Ser. B* 91: 437–445 (2002).
- [3] F. Semet N. Jozefowicz and El-Ghazali Talbi. Parallel and hybrid models for multi-objective optimization: Application of the vehicle routing problem. *Parallel Problem Solving from Nature – PPSN VII: 7th International Conference, Granada, Spain, September 7–11, 2002. Proceedings.*
- [4] A.P. Gutin, G.; Punnen, editor. *The Traveling Salesman Problem and Its Variations*, volume 12 of *Combinatorial Optimization*. Kluwer Academic, 2002.
- [5] D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, and W. Cook. On the solution of traveling salesman problems. *Documenta Mathematica, Extra Volume Proceedings ICM III (1998):645–656*, 1998.
- [6] Giorgio Ausiello, Esteban Feuerstein, Stefano Leonardi, Leen Stougie, and Maurizio Talamo. Algorithms for the on-line travelling salesman. *Algorithmica*, 29(4):560–581, 2001.
- [7] N. Bansal, A. Blum, S. Chawla, and A. Meyerson. Approximation algorithms for deadline-tsp and vehicle routing with time-windows, 2004, *STOC 2004*: 166–174.
- [8] M. Charikar, S. Khuller, and B. Raghavachari. Algorithms for capacitated vehicle routing, *SIAM Journal on computing*, Volume 31, Number 3, pages 665 – 682, 2001.
- [9] Jittat Fakcharoenphol, Chris Harrelson, and Satish Rao. The k-traveling repairman problem. *Symposium on Discrete Algorithms, Proceedings of the fourteenth annual ACM–SIAM symposium on Discrete algorithms, Maryland*, p. 655 – 664, 2003.
- [10] Les Foulds, Stein W. Wallace, John Wilson, and Liv Sagvolden. *Bookmobile routing and scheduling in buskerud county, norway.*
- [11] Alejandro Garcia del Valle. *Optimización de rutas, seguridad en el transporte y sistemas gis. SEMAOL, Noviembre 2004.*

- [12] G. de Tomi G. B. Alvarenga, G. R. Mateus. Finding near optimal solutions for vehicle routing problems with time windows using hybrid genetic algorithm. In: Second International Workshop on Freight Transportation – ODYSSEUS 2003, 2003, Mondello. Second International Workshop on Freight Transportation – ODYSSEUS 2003, 2003. v. CD. p. 1–13.
- [13] Prasad Chalasani and Rajeev Motwani. Approximating capacitated routing and delivery problems. SIAM Journal on Computing, 28(6):2133–2149, 1999.
- [14] L. Bianco, A. Mingozzi, S. Riccardelli, and M. Spadoni. Exact and heuristic procedures for the traveling salesman problem with precedence constraints, based on dynamic programming. INFOR, 32(1):19–32, 1994.
- [15] Sin C. Ho and Dag Haugland. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and split deliveries.
- [16] E. Mota C. Martinez. Del poliedro del agente viajero grafico al de rutas de vehículos con demanda compartida. SORT – QUESTIÓ (ISSN 0210–8054), 24:34, 2000.
- [17] Libertad Tansini, Maria Urquhart, and Omar Viera. Comparing assignment algorithms for the multi-depot vrp.

FECHA: 28/08/2006