**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**

Facultad de Ingeniería

Instituto de Computación

“MVRP”

Introducción Estado del Arte de Proyecto de Grado

Javier de Prado

Alejandro García

Francisco Güella

Tutores

Sandro Moscatelli

Omar Viera

Índice

[Introducción 4](#_Toc403423004)

[El problema del agente viajero (TSP) 5](#_Toc403423005)

[El problema de rutas de vehículos o Vehicle Routing Problem (VRP) 6](#_Toc403423006)

[Variantes del VRP 8](#_Toc403423007)

[Multi-Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP) 10](#_Toc403423008)

[Bibliografía 13](#_Toc403423009)

# Introducción

Este documento trata sobre el estado del arte de MDVRP del proyecto de grado de la carrera Ingeniería en Computación de los estudiantes Francisco Güella, Alejandro García y Javier de Prado.

La gestión logística es un elemento clave en la estrategia empresarial, siendo una de sus funciones principales la distribución, y dentro de ella la capacidad para optimizar las rutas de transporte. En este contexto, las empresas deben analizar los factores más relevantes en el diseño de sus rutas vehiculares así como las metodologías más adecuadas para tal optimización. La optimización de una ruta engloba todas las acciones que contribuyen a la mejora de la función de distribución en términos de nivel de servicio, calidad y costos a través de decisiones de carácter estratégico, táctico y operativo.(REF)

El Problema de Ruteo de Vehículos con varios Depósitos (MDVRP, Multi Depot Vehicle Routing Problem) se define como una variante específica en el campo de la optimización combinatoria en el que un cierto número de clientes debe ser atendido por una flota de vehículos, de acuerdo a una serie de restricciones que definen las distintas variantes del problema. En este problema las empresas cuentan con depósitos distribuidos geográficamente en el territorio. Cada vehículo debe realizar una ruta que comience y finalice en un mismo depósito. Cada cliente está definido por una cierta demanda y sus coordenadas geográficas, utilizadas para determinar la distancia entre clientes y entre los clientes y los depósitos. El objetivo del MDVRP común sería el de asignar los diferentes clientes a cada uno de los depósitos y generar un conjunto de rutas para una flota de vehículos que visite un cierto número de clientes geográficamente dispersos y con una demanda conocida, minimizando la distancia total requerida en el proceso. REF

El problema MDVRP se suele presentar, o estudiar, como una generalización del problema VRP (Vehicle Routing Problem). El problema VRP consta de encontrar buenas rutas en el mismo contexto, con la diferencia de que la empresa cuenta con un único depósito.

Dichos problemas de encontrar “buenas rutas” para los vehículos se pueden ver como el problema de acercarnos a un valor mínimo para algún criterio como puede ser distancia, tiempo, consumo de combustible, etc. En general a este criterio se lo presenta como “costo”. Cuando planteamos que un vehículo brinda servicio a un cliente, en ejemplos prácticos de la vida real, se puede traducir como el hecho de “repartir  o “recoger” mercadería. Por ejemplo, cuando un camión de Conaprole levanta la leche de los tambos, o cuando un camión de Zillertal reparte cerveza en los bares. En estos casos se dice que el vehículo brinda servicio a los clientes. También se podría plantear un problema en el cual no hay mercaderías sino simplemente servicios.

((vrp-tsp y mdvrp EN UN PAPER CON DEFICICIONES Y RELACIONES ENTRE ELLOS) …

<http://ac.els-cdn.com.proxy.timbo.org.uy:443/037722178590284X/1-s2.0-037722178590284X-main.pdf?_tid=f0ae4080-6e9b-11e4-b870-00000aab0f01&acdnat=1416257856_816b4044e9eb3ab5ed2a01ea2d3b93e8>

con def formales de C/U.

## El problema del agente viajero (TSP)

El problema VRP se ha planteado como una generalización del problema TSP (Travelling Salesman Problem) en 1959 por Dantzig y Ramser [2]. Dicho problema, en castellano “Problema del Agente Viajero” es el siguiente: Dada una lista de ciudades y las distancias entre cada una de ellas, ¿cuál es la ruta más corta posible que visita cada ciudad exactamente una vez y regresa a la ciudad origen?

Es el problema de encontrar un ciclo simple que visite todos los nodos del problema y cuyo costo total sea mínimo.

La definición formal de TSP establece minimizar el costo total:

Donde  es el costo de recorrer el tramo de  a , , una variable binaria que nos indica si se recorre o no dicho tramo y  el número de clientes. Estaría sujeto a las siguientes restricciones.

* De cada nodo parte uno y solo un arco:
* A cada nodo llega uno y solo un arco:
* Evitando la formación de sub-ciclos:

El problema TSP es un problema NP-Duro, demostrado por Richard Karp en 1972 [3]. De dicha demostración se puede deducir que los problemas VRP y MDVRP son problemas NP-duros también. Esta es la razón por la cual el objetivo que se plantea generalmente es encontrar una “buena solución” y no la solución optima.

La complejidad NP-Duro del MDVRP, que aumenta exponencialmente a medida que lo hace el número de clientes, dificulta el desarrollo de métodos que resuelvan el problema de manera óptima en un tiempo razonable. No obstante, y a pesar de su elevado costo computacional, existen ejemplos prácticos de métodos exactos aplicados al MDVRP que serán tratados posteriormente. El enfoque más habitual a la hora de resolver este problema es el de aplicar métodos heurísticos o metaheurísticos, capaces de generar soluciones cercanas a la óptima sin incurrir en altos tiempos de ejecución y carga computacional.

## El problema de rutas de vehículos o Vehicle Routing Problem (VRP)

Como ya mencionamos cada cliente tiene asociada una determinada demanda que debe ser satisfecha por la flota de vehículos. En el sentido más simplista del problema, los vehículos empiezan y terminan su recorrido en un mismo punto con capacidad ilimitada, no obstante, los vehículos tienen capacidades limitadas y pueden ser diferentes así como un costo fijo relacionado con su disponibilidad, de manera que se prime el maximizar cada vehículo al total de su capacidad frente al uso de un número mayor de vehículos.

La formulación del problema, según Toth y Vigo [poner referencia] sería:

Siendo el número de cliente y el número de vehículos.

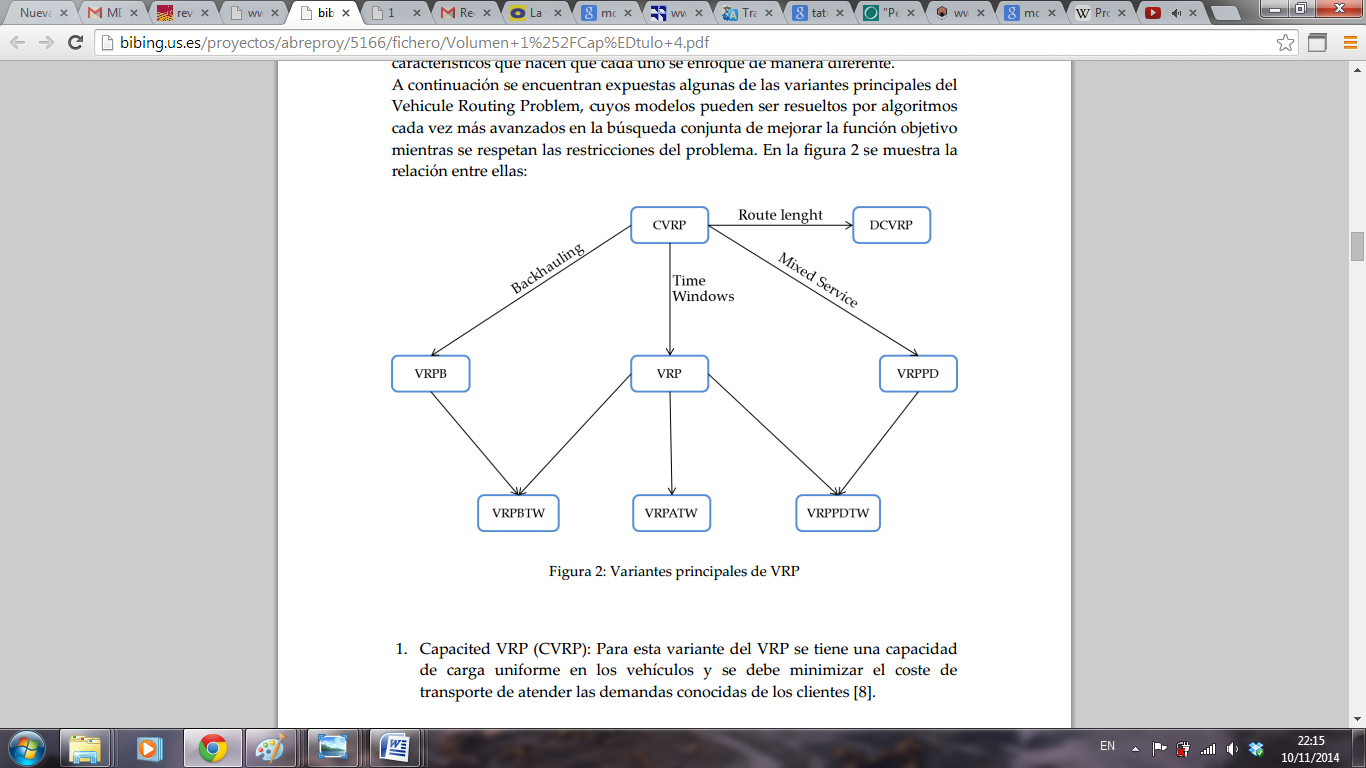
Sujeto a las siguientes restricciones:

* No pueden salir más vehículos de los que hay:
* El número de vehículos que salen del punto 1 es el mismo que el número que vuelven:
* Tenemos que respetar la capacidad máxima y evitar subciclos:

Siendo  y  variables enteras auxiliares y  la demanda total.

### Variantes del VRP

La base del problema es siempre el VRP original, pero en los casos reales, los diferentes VRP tienen una serie de restricciones con aspectos muy característicos que hacen que cada uno se enfoque de manera diferente. A continuación se encuentran expuestas algunas de las variantes principales del Vehicule Routing Problem, cuyos modelos pueden ser resueltos por algoritmos cada vez más avanzados en la búsqueda conjunta de mejorar la función objetivo mientras se respetan las restricciones del problema. En la siguiente figura se muestra la relación entre ellas:((( ver <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/4000/1/5196O75.pdf> ... punto 1.2 tipos de VRP)))



Variantes principales de VRP

1. Capacited VRP (CVRP): Para esta variante del VRP se tiene una capacidad de carga uniforme en los vehículos y se debe minimizar el coste de transporte de atender las demandas conocidas de los clientes [8]. Así, sobre el problema original VRP se añade la restricción de capacidad de que los vehículos poseen una capacidad de carga uniforme de un solo producto.
2. Periodic VRP (PVRP): Es la variante que tiene en cuenta que el periodo se extiende a varios días, y por lo tanto su planificación. En el VRP original, el periodo de planificación es de un día.
3. Heterogeneous Fleet VRP (HFVRP): En este caso, la flota de vehículos es heterogéneas, aparece cuando los diferentes vehículos que conforman la flota difieren en equipamiento, capacidad, antigüedad, estructura de costes o incluso nivel de emisiones, si éstas son consideradas.
4. Split Delivery VRP (SDVRP): En esta variante la restricción que limita la visita de un cliente a una sola vez es eliminada, y por lo tanto, un vehículo pasa a poder visitar a un cliente más de una vez a lo largo del horizonte temporal.
5. Stochastic VRP (SVRP): En este caso, uno o más de los datos que en el VRP original eran conocidos serán en este caso aleatorios. Podrían ser los clientes, las demandas, etc.
6. VRP with Backhauls (VRPB): La particularidad de esta variante es que existe la posibilidad de que se produzca una recogida o entrega de bienes a los clientes.
7. VRP with Pick-Up and Delivering (VRPPD): Como su propio nombre indica, se realiza una recogida de mercancía de ciertos clientes y se reparte en otros.
8. VRP with Satellite Facilities (VRPSF): Es un caso especial ya que se permite el reabastecimiento de vehículos sin necesitar que vuelvan al depósito.
9. VRP with Time Windows (VRPTW): Esta variante introduce las ventanas temporales. Se establece o puede establecerse un intervalo de tiempo en el que se permite o se restringe la entrega de mercancía a los clientes, también pudiendo tener restricciones temporales el acceso de los vehículos al depósito.
10. VRP with Access Time Windows (VRPATW): En el VRPATW se agrega una restricción temporal relacionada con el acceso a ciertas zonas de las ciudades. Este tipo de problemas surge de la restricción por parte de las administraciones locales de acceder a ciertas zonas de la ciudad (principalmente el centro de la ciudad) durante una franja horaria del día determinada debido a razones sociales, ambientales y económicas
11. Multiple Depot VRP (MDVRP): Se dispone de varios depósitos desde los que pueden ser atendidos los clientes. Si es posible separar grupos de clientes que estén cerca de cada depósito, podría resolverse el problema como un conjunto de problemas independientes VRP. En el MDVRP se requiere una asignación de cada cliente a un depósito, además de conocer el número de vehículos establecidos en cada depósito. Un vehículo inicia su ruta en un depósito, atiende a sus clientes y regresa al depósito. Esta última variante del VRP es la que se va a centrar nuestro proyecto de grado.

En general, cada problema VRP de la vida real supone en sí mismo una variante del problema original, ya que cada caso tiene sus características y restricciones propias.

## Multi-Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)

El problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos como ya se menciono es una variante del VRP clásico que incorpora varios depósitos con una localización predefinida. Cada depósito cuanta con una flota limitada de vehículos con capacidad fija, utilizada para repartir los productos demandados por los clientes, cuya localización y demanda es también conocida de antemano.

La nueva posibilidad que se plantea por la existencia de varios depósitos es que un vehiculo pueda partir de un depósito y terminar su recorrido en otro deposito distinto o visitar depósitos intermedios en las rutas. Por ejemplo para restablecerse de un producto un vehiculo puede pasar por otro deposito en su ruta. Esto se conoce como MDVRPI y se puede encontrar una simplificación del problema planteada por Jordan and Burns [19] ((] W.C. Jordan, L.D. Burns, Truck backhauling on two terminal networks, Transportation Research 18B (1984) 487–50)) y solución en [http://www.inf.u-szeged.hu/~cimreh/inter.pdf] para el caso de 6 depositos, 178 clientes y 4 vahiculos. El caso que es de particular interés para nosotros es que Cada vehículo debe comenzar y terminar su ruta en el mismo depósito, y cada cliente debe ser visitado una única vez.

A continuación se presenta el modelo y formulación matemática que formaliza las diferentes restricciones y la función objetivo que definen al MDVRP:

Poner la formula de grafos

Nombre proyecto: MDVRP

- Indice

- introducción FRAN

- Nombre proyecto: MDVRP

- Indice

- introducción

El problema de distribución y su correcta planificación del transporte es un problema estudiado ampliamente. En la práctica la utilización y asistencia por medio de programas informáticos para el proceso de planeación en casos de distribución ha permitido ahorrar entre un 5% y un 20% en los costos de transporte global. Asi mismo el costo de transporte representa entre el 10% y 20% del costo total de los bienes [1].

FRAN….ejemplo de MDVRP a forma de introducción al problema.

Puntualmente estaremos realizando un estudio de estado del arte del problema de MDVRP (multidepor Veichle routing Problem) que consiste desde un punto de vista muy simplista en el estudio de la distribución de bienes a un conjunto de clientes con varias restricciones importantes las cuales se detallaran a medida que se avance en la introducción del problema.

Para comenzar a hablar del MDVRP, es necesario mencionar previamente los subproblemas que él mismo contiene y el estudio formal de los mismos. Inicialmente el primero problema detectado y estudiado que abarca una pequeña parte del MDVRP es el “Problema del Agente Viajero”. En inglés se lo conoce como TSP (Travelling Salesman Problem).

El “Problema del Agente Viajero” o problema del viajante consiste en determinar la ruta mas corta necesaria para visitar un conjunto de ciudades y regresar a la ciudad de origen. Considerándolo como un problema de Grafos, consiste en encontrar un ciclo simple que visite todos los nodos y cuyo costo total sea mínimo.—referencia.

Dicho problema lo estudiaron ya en 1856 Kirkman y Hamilton y luego Kowalewsky en 1917. No está claro cuándo fue que se trató el problema matemáticamente por primera vez [2]. Un aspecto sumamente importante de este problema es el tiempo de resolución del mismo, en el caso de tener n ciudades la cantidad de posibles rutas son n!/2 [3]. Por lo tanto el uso de de métodos exactos de optimización para resolver este problemas con gran cantidad de ciudades nos darían tiempos de procesamiento muy altos. El Problema del agente viajero es un problema NP-Duro, demostrado por Richard Karp en 1972 [4].

Definición formal de TSP: (grafos)

Continuando con el análisis del los subproblemas de MDVRP y ya siendo presentado el TSP, el siguiente problema es el problema de enrutamiento de veiculos. En inglés se lo conoce como VRP (Vehicle Routing Problem).

Dicho problema se puede ver como el TSP para varios agentes viajeros que parten de la misma ciudad agregando restricciones de capacidad. Consiste en determinar rutas de vehículos para darle servicio a un conjunto de clientes, los cuales tiene una determinada demanda, y los vehículos tienen una determinada capacidad. Dicha generalización del VRP a partir de TSP fue planteada en 1959 en “The Truck Dispatching

Problem” por Dantzig y Ramser [3].

Definición formal de VRP: (grafos)

MDVRP es una variante de VRP, en la cuál bla bla bla bla, referencia[] en el anexo I se pueden ver otras variantes de VRP en su forma básica. Continuando así analizando las variantes de MDVRP.

Puntualmente el probema de MDVRP fue planteado por por primera vez en …. Bla bla bla

Definición formal ---Ver celular and colony reference.

MDVRP fue plantedo pr primera vez òr … en ….

---Ver celular and colony reference.

La definion formal del problema.

Definicion Metods exactos y heuristicas, que es cada uno y como se relacionan (en funcion de la solucion y el tiempo).

La resolución de este problema se puede realizar en dos etapas una de zonificación y otra de asignación y una segunda etapa de Ruteo. Otra forma de resolver este problema es de forma unificada, donde la asignación zonificación y ruteo se realizan akl mismo tiempo. En este informe nos enfocaremos en la resolución por etapas pues esta es la sugerencia de los tutores asi como lo recomendado en casos de muchos clientes (poner referencia, ver papers de omar).

-- resoucion unificada de MDVRP y sus variantes. JAVIER

El Chino Yuanzhi Wang propone una resolución unificada en el articulo (RESEARCH OF MULTI-DEPOT VEHICLE ROUTING PROBLEM BY CELLULAR ANT ALGORITHM)

Cómo análisis actual del problema de MDVRP y su resolución en un solo paso, se puede consultar la referencia [poner al chino] en este método se aplica distintas técnicas de resolución generando una solución de un paso. En este caso puntual se resolvió el problema MDVRP para 15 clientes y 3 depósitos obteniendo un resultado factible y eficiente. [ref al chino]

Otra opción es Gallego Mateo IMDVRP, IVNDS (<http://revista.jacobea.edu.mx/n5/3.Desarrollo%20de%20un%20m%C3%A9todo%20h%C3%ADbrido%20para%20la%20resoluci%C3%B3n%20del%20MDVRP%20V2.pdf)>}

(buscar info)

-- resoulucion en dos faces (zonificacion y asignacion) de MDVRP y sus variantes.

---zonificacion yy asignacion

---- zonificacion de MD solo. (Averiguar si hay métodos exactos para zonificación/asignacion)

------ uno de los papers de Omar. ALE

Ejemplo <http://www.laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP029.pdf> ALE

---- zonificacion de sus variantes

------- el otro paper de Omar (para TW).

------- buscar otras variantes.

Con capacidad <http://www.laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP029.pdf>

--- Ruteo

Introduccion.

Tecnicas exactas (maestria Alfredo)

* **Heurísticas de construcción.**
* **Heurísticas de dos fases.**

**Heurísticas de mejora iterativa**

Complementar con <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5166/fichero/Volumen+1%252FCap%EDtulo+4.pdf>

- Explicar VRPTW, CVRP, etc

- Explicar que el MD se aplica para los variantes anteriores.

- Explicar que es el TSP

---- VRP clasico (clark and wite)

---- VRPTW (salomon Y PARAELO)

---- CVRP  (buscar)

---- VRP flota heterogenea ver informe

---Post Optimizacuion

----lamda opt

----no se que genus

# Bibliografía

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | P. Toth y D. Vigo, The Vehicule Routing Problem. |
| [2] | A. Schrijver, «On the History of Combinatorial Optimization,» 1960. |
| [3] | G. B. Dantzig y J. H. Ramser, «The Truck Dispatching Problem,» pp. 80-91, 1959. |
| [4] | R. M. Karp, «Reducibility Among Combinatorial Problemas,» 1971. |