

Capítulo 3

Estado del Arte

En la primer sección de este capítulo se muestra un diagrama de los problemas de optimización involucrados con el problema RoSLoP. En la segunda sección se presentan los trabajos que han abordado el problema VRP. La tercer sección proporciona una revisión del software comercial que ha resuelto el problema de transporte para situaciones reales. Se concluye este capítulo con un análisis de los trabajos relacionados.

3.1 Problemas de Optimización involucrados

En la Figura 3.1 se muestra un diagrama de árbol que describe la relación de todos los problemas que participan en la definición del problema RoSLoP. Como se puede ver en la Figura 3.1, el problema VRP forma parte de la definición de dos subproblemas de RoSLoP: enrutamiento y programación de horarios. Esto demuestra la importancia del estudio de este problema, y sus algoritmos de solución, para la construcción de metodologías que resuelvan el problema de transporte.

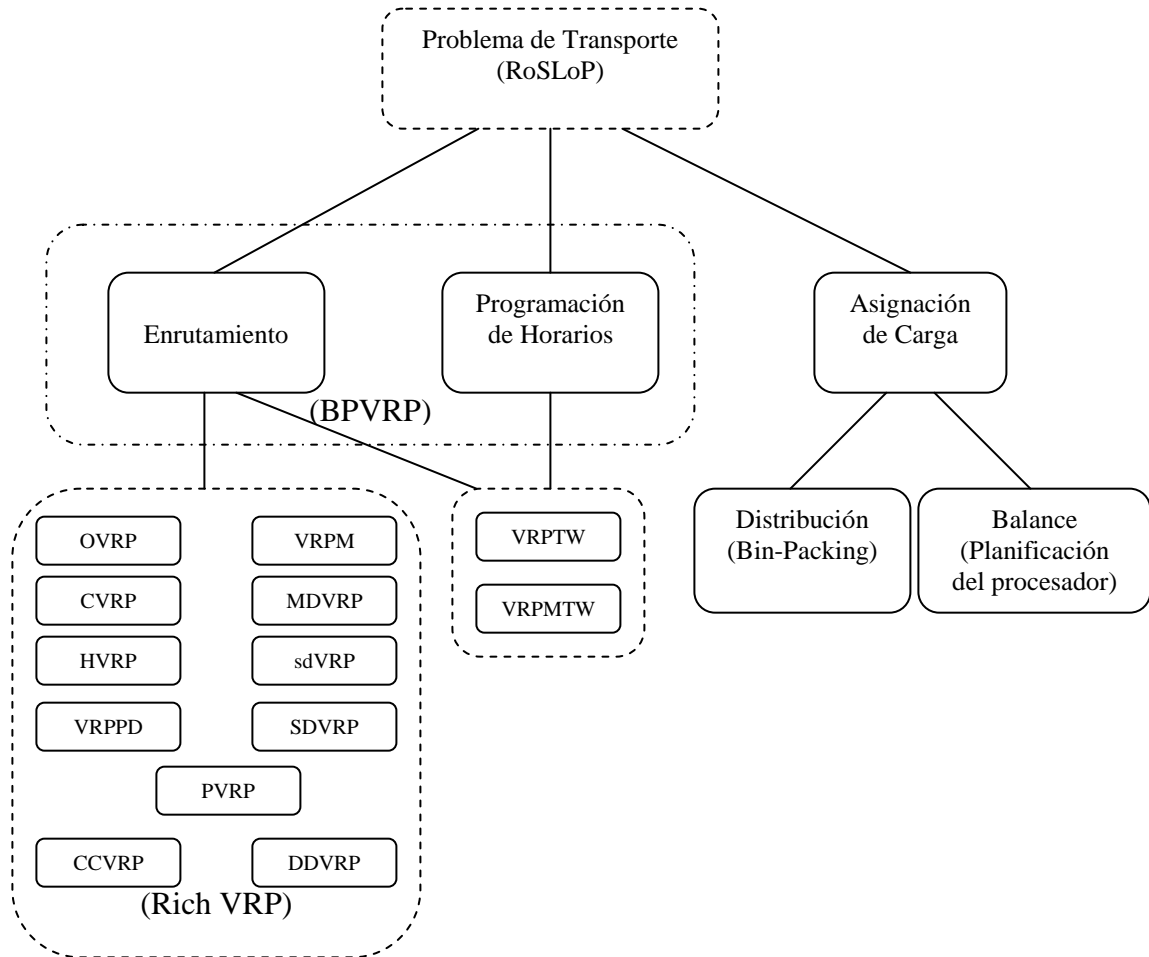


Figura 3.1. Relación de los problemas que participan en el Problema RoSLoP.

Por otro lado, la tarea de asignación de carga de RoSLoP se puede relacionar con dos problemas de optimización comunes: BinPacking y el problema de la Planificación de uso del Procesador de una Computadora. El análisis de los mecanismos de solución de BinPacking se pueden aplicar para resolver la parte de distribución de la carga, lo cual queda como un trabajo futuro de esta investigación; mientras el uso de técnicas para planificar el uso del procesador, como la estrategia Round Robin empleada en este proyecto, pueden emplearse durante el balanceo.

3.2 Trabajos relacionados con VRP

El VRP ha sido ampliamente abordado por una gran cantidad de investigadores con diversas metaheurísticas y algoritmos exactos (los esfuerzos de éstos últimos han ido

encaminados a resolver sólo pequeñas instancias), en la Tabla 3.1 se muestra algunos de los trabajos más importantes, desarrollados para distintas variantes.

Tabla 3.1. Estado del Arte de las variantes del VRP.

Variante	Abordado por	Perspectiva Algorítmica	Enfoque de Solución
CVRP	[Fisher, 1994]	Ramificación y Poda	Exacto
	[Bullnheimer, 1997]	Sistema de Colonia de Hormigas	Metaheurístico
	[Blasum, 2002]	Ramificación y Poda	Exacto
	[Pisinger, 2005]	Búsqueda Adaptativa por entornos grandes	Metaheurístico
VRPTW	[Shawn, 1998]	Búsqueda por Entornos Grandes	Metaheurístico
	[Gambardella, 1999]	Múltiple Sistema de Colonia de Hormigas	Metaheurístico
	[Bräyssy, 2001a]	Algoritmo Genético	Metaheurístico
	[Baran, 2003]	Sistema de Colonia de Hormigas	Metaheurístico
	[Pisinger, 2005]	Búsqueda Adaptativa por entornos grandes	Metaheurístico
MDVRP	[Hjorring, 1995]	Búsqueda Local	Metaheurístico
	[Pisinger, 2005]	Búsqueda Adaptativa por entornos grandes	Metaheurístico
SDVRP	[Feillet, 2002]	Ramificación y Costo	Exacto
sdVRP	[Pisinger, 2005]	Búsqueda Adaptativa por Entornos Grandes	Metaheurístico
VRPPD	[Righini, 2000]	Algoritmos de particionamiento de recorridos	Heurístico
VRPB	[Jacobs, 1992]	Heurística de Asignación Generalizada	Heurístico
DVRP	[Tian, 2003]	Hormigas Híbrido	Metaheurístico
	[Chitty, 2004]	Hormigas Híbrido	Metaheurístico
SVRP	[Laporte, 1998]	Método Entero “Forma L”	Exacto
TDVRP	[Gambardella, 2003]	Sistema de Colonia de Hormigas	Metaheurístico
VRPM	[Taillard, 1995]	Búsqueda Tabú	Metaheurístico
HVRP	[Gendreau, 1998]	Búsqueda Tabú	Metaheurístico
PVRP	[Cordeau, 1997]	Búsqueda Tabú	Metaheurístico

A la par de la investigación del estado del arte, se realizó una indagación sobre el software similar existente, ésta se presenta en la siguiente sección.

3.3 Software Comercial Afín

En la Tabla 3.2 se muestra el software afín más utilizado en el área comercial. En la primer columna se muestra el nombre del programa comercial; la segunda columna presenta las variantes que logran resolver; la tercer columna corresponde a nuevas restricciones consideradas; la cuarta columna indica el país donde fue creado el software; por último la quinta columna proporciona los sistemas operativos compatibles con el software.

Tabla 3.2. Estado del Arte de software comercial afín.

Software	Variantes VRP abordadas	Restricciones Adicionales	País de origen	Sistemas Operativos
A. MAZE routes	CVRP VRPTW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Restricciones de viaje ▪ Caminos de peaje ▪ Restricción de carreteras 	Canadá	Windows
A. MAZE zones	CVRP VRPTW DVRP HVRP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ninguna 	Canadá	Windows
ArcLogistics Route	CVRP VRPTW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ninguna 	E.E.U.U.	Windows
BUSTOPS	VRPTW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Restricción de carreteras 	E.E.U.U.	Windows
DynaRoute	CVRP VRPTW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ninguna 	E.E.U.U.	Windows
OPTRAK	CVRP VRPTW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ninguna 	Reino Unido	Windows
Compass	DVRP VRPTW PDVRP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ninguna 	E.E.U.U.	Windows
DirectRoute	CVRP VRPTW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ninguna 	E.E.U.U.	Windows
CATRIN	CVRP VRPTW Site Dependent VRP PVRP HVRP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conexiones asimétricas ▪ Costo de entrega dependiente de la hora ▪ Cambios en información del cliente ▪ Restricción de carreteras 	Alemania	Windows
ILOG Dispatcher	CVRP VRPMTW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelado de restricciones complejas para rutas, p.ej. cliente fuera de servicio durante cierto tiempo por causas externas 	E.E.U.U.	Windows Linux
ROADNET	CVRP VRPTW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Restricción de Equipo 	E.E.U.U.	Windows
RoutSmart	CVRP VRPTW Site Dependent VRP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ninguna 	E.E.U.U.	Windows
RoutTronic	CVRP VRPTW PDVRP Site Dependent VRP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ninguna 	E.E.U.U.	Windows
ShipConsII	CVRP VRPTW DVRP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ninguna 	E.E.U.U.	Windows
STARS	CVRP VRPMTW HVRP PVRP Site Dependent VRP MDVRP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ninguna 	E.E.U.U.	Windows UNIX

3.4 Análisis de Trabajos Relacionados

Un área emergente en el estudio del problema VRP es la investigación sobre un tipo de casos especiales que involucran la solución de variantes complejas (formadas por un conjunto de variantes VRP). Estos nuevos problemas se denominan Rich VRP, y representan un área emergente sobre la cual se están llevando a cabo análisis profundos. La Tabla 3.3 resume alguno de los trabajos más significativos al respecto, muestra las variantes de interés para la definición de RoSLoP y las compara con las abordadas por diferentes autores.

Tabla 3.3. Análisis de trabajos de investigación sobre variantes Rich VRP

Autor	Variantes que aborda											
	CVRP	OVRP	VRPTW	VRPMTW	HVRP	VRPM	MDVRP	SDVRP	sdVRP	VRPPD	CCVRP	DDVRP
[Feillet, 2002]	✓		✓					✓				
[Dondo, 2003]	✓											
[Hajri, 2003]	✓		✓		✓		✓					
[Ralph, 2004]	✓											
[Pisinger, 2005]	✓	✓	✓				✓	✓				
[Ropke, 2004]	✓		✓				✓			✓		
RoSLoP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Como se puede observar en la Tabla 3.3, la mayoría de los investigadores científicos se han centrado en estudiar hasta cuatro variantes de VRP en conjunto; la única excepción es [Pisinger, 2005], quien aborda cinco variantes empleando una sola técnica de solución. Aún así su trabajo es muy limitado para tomarse como base de solución del problema RoSLoP ya que, aunado a esto, se encuentra la desventaja de no contar con una variante que aborde también la tarea de asignación de carga.

Por otro lado, como puede apreciarse en la Tabla 3.2 del software comercial, la mayoría de los sistemas desarrollados resuelven cuatro variantes del VRP o menos, sólo CATRIN y STARTS abordan cinco y seis de ellas respectivamente. Además la mayoría de este tipo de software es endémico de la región donde fue desarrollado, pues utiliza bases de datos de carreteras del país en el cuál se diseñó, por lo que su uso en México es poco probable.

También se presenta como una desventaja el costo de los programas comerciales. De acuerdo a una revisión de los programas hecha en [Hall, 2004], el precio de las aplicaciones que se pueden encontrar hoy en día varía de ocho mil a diez mil dólares, sin incluir los costos de mantenimiento.

Debido a esto, se puede decir que los métodos desarrollados y publicados en la comunidad científica resuelven problemáticas de VRP muy limitadas y no pueden ser escaladas a versiones más complejas del mismo, ni utilizadas en problemáticas de transporte que involucran otras tareas diferentes de enrutamiento.

La metodología que se propone en esta tesis pretende resolver mediante un enfoque heurístico, un conjunto amplio de variantes de VRP, y mediante un enfoque integral resolver simultáneamente tareas de enrutamiento, programación de horarios y carga de vehículos, las cuales definen problemas del mundo real.