



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



Problema de Ruteo con Múltiples Ventanas de Tiempo para la Recolección de Leche

Informe de Proyecto de Grado de Ingeniería
de Producción

ALUMNOS

Danilo Alvez, Juan Pablo Chalupa, Diego Correa

TUTOR

Ing. Pedro Piñeyro

Montevideo
Mayo de 2019

Resumen

El presente proyecto de grado estudia la operativa de Conaprole sobre la recolección periódica de leche en tambos. Dicha realidad fue modelada como un Problema de Ruteo de Vehículos con Flota Heterogénea, Múltiples Depósitos y Múltiples Ventanas de Tiempo (en inglés Multi-Depot Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem With Multiple Time Windows and Assignment Restrictions o M-VRPTWAR). En este problema, los tambos deben ser visitados con distintas frecuencias y en distintos horarios en el período de planificación, utilizando una flota heterogénea que entrega la leche en las distintas plantas, haciendo múltiples recorridos de ser necesario.

Se realizó una revisión bibliográfica del tema profundizando en tres aspectos claves: variantes del problema (Flota Heterogénea, Múltiples Depósitos, Ventanas de Tiempo, entre otros); métodos de resolución (diferenciando exactos de heurísticas); y aplicabilidad a la realidad, siendo generalmente el motor de la investigación.

Se consideraron las restricciones más relevantes del caso. El modelo incorporó elementos adicionales a la forma actual de trabajo que fueron validados con Conaprole. Los parámetros fueron facilitados por la empresa ya que muchos de éstos son utilizados día por medio en la operativa.

Debido a la gran cantidad de variables y complejidad del problema (NP-hard) fue necesario simplificar el problema. Estas modificaciones se realizaron por limitaciones del método de resolución. El modelo completo fue validado, pero se estudiaron casos simplificados: Problema de Ruteo de Vehículos con Flota Heterogénea, Múltiples Viajes, Múltiples Ventanas de Tiempo y Restricciones de Asignación.

El informe incluye un análisis de sensibilidad con distintos conjuntos de tambos, a partir del cual se arribó a conclusiones de interés para la contraparte, mostrando la influencia de los distintos parámetros en la solución. Los parámetros analizados incluyen costo de transporte, frecuencia de visita y capacidad de camión.

El trabajo realizado abre la puerta a futuras investigaciones sobre el estudio de métodos de resolución eficientes, que logren aportar más información sobre el modelo propuesto y sean de interés para Conaprole.

Palabras claves: Problema de Ruteo de Vehículos, Múltiples Ventanas, Recolección de Leche, Programación Matemática.

Keywords: Vehicle Routing Problem, Multiple Time Windows, Milk Collection, Mathematical Programming.

Tabla de contenidos

1	Introducción	13
2	Marco Conceptual	17
2.1	Traveling Salesman Problem	17
2.2	Vehicle Routing Problem	18
2.3	Periodic Vehicle Routing Problem	18
3	Descripción del Problema	23
4	Formulación Matemática	25
4.1	Modelado Matemático	25
5	Validación del modelo	31
5.1	Testeo funcional por módulos	31
5.2	Casos de validación con datos reales	39
6	Validación con datos reales	49
6.1	Relevamiento de Datos	49
6.2	Ejecución con datos reales	49
7	Caso de estudio	61
7.1	Distribución de costos	62
8	Análisis de Sensibilidad	65
8.1	Análisis del costo por litro al variar parámetros	66
8.2	Análisis de kilómetros recorridos al variar parámetros	73
8.3	Análisis de tiempos de espera al variar parámetros	78
8.4	Observaciones del Análisis de Sensibilidad	83
9	Conclusiones y trabajos futuros	85
9.1	Conclusiones	85
9.2	Trabajos futuros	88
	Referencias	91
	Anexo: Estado del Arte	93
	Referencias del Estado del Arte	129