



SUBSECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN SUPERIOR

# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. MADERO

Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica



Dirección General de Educación Superior Tecnológica

## DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



# Análisis de los Problemas de Asignación de Rutas, Horarios y Cargas en una Distribuidora de Productos

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS DE LA  
COMPUTACIÓN**

PRESENTA:

**I.S.C. NELSON RANGEL VALDEZ**

ASESORES:

**DRA. LAURA CRUZ REYES  
LIC. JOSÉ APOLINAR RAMÍREZ SALDÍVAR**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**Análisis de los Problemas de Asignación  
de Rutas, Horarios y Cargas en una  
Distribuidora de Productos**

PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

PRESENTA:  
**I.S.C. NELSON RANGEL VALDEZ**

ASESORES:  
**DRA. LAURA CRUZ REYES  
LIC. JOSÉ APOLINAR RAMÍREZ SALDÍVAR**

JURADO:  
**Presidente: DRA. LAURA CRUZ REYES  
Secretario: DR. HÉCTOR JOAQUÍN FRAIRE HUACUJA  
Vocal: M.C. CLAUDIA GUADALUPE GÓMEZ SANTILLÁN  
Suplente: M.C. ANA GUADALUPE VÉLEZ CHONG**

# DEDICATORIA

Son muchos los sentimientos que quisiera expresar para mostrar mi gratitud a quienes me inspiraron a terminar la maestría, son pocas las palabras que existen para describir esos pensamientos. La única forma que tengo para demostrarles lo que representan para mí es dedicándoles este trabajo. Por eso, dedico mi tesis:

A mis padres: Oscar Aurelio Rangel Lozano y Lucila Valdez del Rosal, a quienes amo con todo mi corazón y son gran parte de la razón por la que me quiero superar en esta vida.

**Mamá, Papá**, cuando lean esto  
quiero que sepan que ustedes  
han hecho posible esto  
para mí  
**GRACIAS!!!**

A toda mi familia, en especial a  
mis hermanos, por estar  
conmigo siempre.

A Dios, por darme a todos esos seres queridos y brindarme las alegrías  
que hasta hoy me ha dado.

A la Dra. Laura Cruz Reyes, por todo el apoyo que me dio para desarrollar mi investigación y por convertirse en el guía, maestro y modelo inspirador de la excelencia que me hace sentir orgulloso de haber pertenecido a esta institución.

A mis compañeros de maestría y a mis amigos por hacerme más ameno el tiempo que estuve estudiando.

## **RECONOCIMIENTOS**

En agradecimiento a la guía y apoyo recibidos durante la elaboración de mi tesis, en estas breves líneas quiero plasmar el nombre de aquellos que fueron de gran ayuda para poder concluir con bien este trabajo de investigación. Agradezco a:

- La Doctora Laura Cruz Reyes, que vuelve a ser mi Directora de Tesis, por haber creído en mi, por aconsejarme, por darme observaciones y comentarios, y por ser el guía que me ayudo a hacer una investigación excelente.
- El Licenciado José Apolinar Ramírez Saldívar, por darle el rumbo adecuado a esta investigación.
- Mi comité de tesis, compuesto por el Dr. Hector Joaquín Fraire Huacuja, el M.C. Claudia Gómez Santillán y el M.C. Ana Guadalupe Vélez Chong, por contribuir con sus comentarios y correcciones para mejorar la calidad de este documento.
- Todos los maestros, por haberme brindado el conocimiento necesario para poder llevar a cabo un estudio de calidad en esta institución.
- Todos mis compañeros, quienes para mi fueron modelos a seguir, por que representaron siempre un incentivo y un aliento para superarme y seguir luchando.
- El personal del área con quien tuve contacto, por su trato amable que hacía más amena mi estancia y me ayudo a terminar todos los trámites necesarios.
- El CONACYT por haber brindado la oportunidad a tantos estudiantes como yo a realizar estudios que impulsen la ciencia en México.

A todos aquellos con quienes conviví estos dos años quiero decirles: GRACIAS.

## RESUMEN

En esta tesis se abordó el problema de transporte que incluye las tareas de enrutado, programación de horarios y asignación de carga. La literatura muestra que la mayoría de los trabajos relacionados con los Sistemas de Transporte sólo abordan la solución de las tareas de enrutado y programación de horarios, como una combinación de variantes del problema de enrutado de vehículos Rich VRP (de sus siglas en inglés, Rich Vehicle Routing Problem), dejando a un lado la tarea de asignación de carga. En esos trabajos de investigación, la variante Rich VRP más compleja involucra cinco variantes VRP básicas, lo cual no es suficiente para modelar casos reales más complejos.

Los casos reales de transportación de productos se definieron, para el desarrollo de esta investigación, a partir del conjunto compuesto por restricciones especificadas en seis variantes VRP existentes (CVRP, HVRP, VRPMTW, VRPM, sdVRP, SDVRP); una nueva condición que limita el número de vehículos que pueden ser atendidos simultáneamente en un cliente; y la tarea de asignación de carga.

Para la solución de instancias reales del problema de transporte se propone una metodología basada en algoritmos aproximados. La metodología integra dos estrategias heurísticas: un sistema de colonia de hormigas (ACS, Ant Colony System), que resuelve las tareas de enrutado y programación de horarios; y DiPro, un algoritmo determinista diseñado para resolver la tarea de asignación de carga.

La experimentación se llevó a cabo empleando un sistema desarrollado a partir de la metodología propuesta y casos pertenecientes a una embotelladora de productos. Los resultados mostraron que el sistema redujo considerablemente el tiempo requerido para la planeación del transporte, con respecto al diseño manual. Además, disminuyó el número de unidades empleadas para la transportación en el 20% de los casos.

## SUMMARY

This thesis deals with a real and complex transportation problem including the routing, scheduling and loading tasks. The literature shows that most of the work related with Transportation Systems involves only the solution of the routing and scheduling tasks, as a combination of vehicle routing problem variants (Rich VRP), leaving away the loading subproblem. On those approaches the most complex Rich VRP includes only five VRP variants which aren't enough to define more complex real-world cases.

A set of VRP variants such as HVRP, VRPMTW, MDVRP, VRPM, sdVRP and SDVRP; a new constraint that limits the number of vehicles that can be attended in a customer simultaneously; and the loading task were used to define the real-world instances of a product transportation company.

In this research work a methodology of solution, based on approximated algorithms, for real-world transportation problem instances is proposed. The methodology consists on an integrated system that involves the Ant Colony System (ACS) algorithm, which solves the routing and scheduling tasks, and DiPro, a deterministic algorithm that was designed to solved the loading task.

We carried out experiments using instances from a bottled product company. Results show that the system reduced from sixteen hours to ten minutes the transportation planning with respect to the manual design used in the company. Besides, it reduced the number of vehicles used for the transportation in 20% of the cases.

# DECLARACIÓN

Los resultados y aportaciones de esta investigación han sido presentados conjuntamente con mis asesores en las siguientes publicaciones:

“ILP and Heuristic Approaches for a New VRP Variant”. International Federation of Operational Research Societies, IFORS 2005. Honolulu, Hawaii, USA. July 11-15, 2005.

“Heuristic Programming for a Rich VRP Model”. International Transactions in Operation Research, ITORS. Journal. (En Revisión).

“A Transportations System Based on Heuristic Optimization Methods”, Modeling Decisions for Artificial Intelligence, MDAI 2006. Tarragona, Catalonia, España. April, 3-5, 2006. (En Revisión).

“A Distributed Metaheuristic for the Transportation Problem”, International Symposium and School on Advanced Distributed Systems, ISSADS 2006. Guadalajara, Jalisco, Méx. January 23-27, 2006. (En Revisión).