

## **Propuesta de Proyecto de Investigación a ser financiado por el Decanato de Investigación y Desarrollo de la Universidad Simón Bolívar.**

Febrero 2.000

1. Area: Computación.
2. Especialidad: Algoritmos en Grafos y Optimización Combinatoria.
3. Título del Proyecto:

Aplicación de Metaheurísticas a Problemas de Enrutamiento.

4. Objetivos:
  - a) Estudio de Problemas de Enrutamiento (Routing Problems) y su resolución a través de algoritmos heurísticos.
  - b) Análisis, Diseño e Implementación de un prototipo de software que permita resolver de la manera mas eficiente y efectiva posible algunos problemas sobre enrutamiento.

La investigación contempla:

- a) Estudio del estado del arte en el uso de métodos exactos y heurísticos para la resolución de problemas de Enrutamiento.
- b) Estudiar especialmente los siguientes sub-problemas: Cartero Rural (Rural Postman Problem), Problema del cartero con intesecciones (Crossing Postman Problem) e Índice de Transmisión de un grafo.
- c) Desarrollo de un Software (prototipo) de apoyo a la resolución de problemas en el área de Enrutamiento.
- d) Formación de recursos humanos: Este proyecto de investigación involucra en su primera fase al menos dos estudiantes de pregrado y uno de postgrado.

### 5. Significado de la Investigación:

El Problema de Enrutamiento ([Bod&al. 83], [Lap 92], [EGL 95]) constituye un área de estudio muy importante en Investigación de Operaciones, y más concretamente en el área de Optimización Combinatoria. El área de Enrutamiento, en general, engloba los problemas del siguiente tipo: determinación de las rutas óptimas que deberán seguir un conjunto de vehículos ubicados en puntos de abastecimiento de productos, para satisfacer la demanda en ciertos puntos, sujetos a un conjunto de restricciones.

Muchos problemas importantes en las áreas de servicios y del sector productivo pueden formularse como problemas de Enrutamiento, tal es el caso del transporte de combustible a través de oleoductos (escoger la mejor manera de transportar combustible a través de una red de oleoductos a los lugares de almacenamiento), el suministro ó transporte de energía eléctrica a lugares poblados, la recolección de basura en una ciudad, el transporte de mensajes en una red de computadoras evitando la sobrecarga de las computadoras, etc.

El Problema del Cartero Rural, por ejemplo, se encuentra en muchas aplicaciones donde se debe atravesar calles o trayectos para mantenimiento, recolección de basura, reparto de correo, transpote público, lectura de contadores eléctricos, inspecciones de líneas eléctricas o de gas, etc. Millones de dólares se gastan cada año en tales operaciones y el ahorro que puede significar la optimización es enorme. En [EGL 92] se puede encontrar una descripción mas detallada de las posibles aplicaciones.

Los problemas de Enrutamiento en general pueden formularse mediante una estructura matemática, conocida con el nombre de Grafo,. Resolver el problema de enrutamiento se reduce a resolver un problema en un Grafo. Por lo general estos problemas son de gran complejidad desde el punto de vista computacional (en términos de Teoría de la Complejidad Computacional, decimos que son problemas Polinomiales No Determinísticos Completos). Por lo tanto, aparte de estudiar soluciones exactas al problema, se estudian técnicas heurísticas ([Ree 93]) que permitan dar soluciones algorítmicas aproximadas de buena calidad, tanto cotas inferiores como cotas superiores.

Nuestro propósito es investigar principalmente en tres problemas de enrutamiento: el Problema del Cartero Rural ([GW 00], [EGL 95]), El "Crossing Postman Problem" ([GW 00]) y el Índice de Transmisión de un Grafo ([Chu&al. 87], [HMS 89]). Nuestro objetivo es proponer buenos algoritmos, para dar tanto valores exactos, como cotas superiores e inferiores a la solución de estos problemas.

Por otro lado, haremos el análisis, diseño e implementación de un prototipo de software de apoyo a la resolución de problemas de enrutamiento, que incluya los resultados alcanzados en la investigación. Esta herramienta deberá ser lo suficientemente flexible para permitir extensiones. Por lo que debemos hacer un estudio de metodologías de desarrollo de software para escoger la que se adapte a nuestras necesidades, así como una evaluación de ambientes de desarrollo de software para llevar a cabo la implementación del prototipo. Se pretende a mediano plazo ofrecer una herramienta ajustada a las necesidades locales que pueda ser comercializable.

## 6. Fundamentación y Viabilidad.

El Problema de Enrutamiento juega un papel central en los campos de distribución física y logística, y constituye un área clásica de la Investigación de Operaciones y Teoría de Grafos que ha venido siendo estudiada desde hace varios años [Lap 92].

Muchos enfoques y técnicas han sido utilizados para tratar este tipo de problemas. La Programación Matemática ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de soluciones [BCS 99]. En los últimos años han surgido nuevos esquemas de algoritmos heurísticos, o Metaheurísticas, para dar soluciones aproximadas a problemas de Optimización Combinatoria [Ree 93], y que han producido buenos resultados en el área de Enrutamiento. Entre estas técnicas podemos citar: Algoritmos Genéticos, Simulated Annealing, Grasp, Tabu Search, etc. Existe experiencia entre los investigadores participantes en el

desarrollo y manejo de algoritmos heurísticos y estructuras de datos eficientes, así como en el análisis y diseño de software ([Anc&al. 99], [OAS 96], [GW 00], [Fre&al. 97], [MLO 96], [MLO 95], [Los&al. 94]).

En [GW 00], Garfinkel y Webb proponen una nueva formulación en Programación Entera Mixta del Cartero Rural (Rural Postman Problem: RPP) y proponen un nuevo problema en el área, el cual denominan "Crossing Postman Problem" o CPP. A partir de este trabajo los profesores Garfinkel, Elena Fernández, Maruja Ortega y Oscar Meza, han venido estudiado las bondades de la nueva formulación del RPP con miras a la obtención de cotas inferiores. Sin embargo es preciso contar con el Software (CPLEX) y Equipos necesarios para continuar la investigación comenzada en la U.P.C. y hacer el desarrollo de la herramienta de software.

El índice de transmisión fue introducido por F. Chung [Chu&al. 87] para formalizar problemas de envío de información entre redes de computadoras. Sobre el cálculo del índice de transmisión de un grafo utilizando Metaheurísticas existen pocos resultados ([Bar 96], [Loe 97]). Estamos interesados en encontrar mejores algoritmos heurísticos que los propuestos hasta el momento y que sean competitivos en tiempo de ejecución.

Entre las actividades de investigación a realizar se encuentran:

- Estudio del estado del arte en la aplicación de técnicas heurísticas al problema de Enrutamiento.
- Desarrollo del código de un algoritmo de planos de corte para obtener buenas cotas inferiores.
- Incorporación de un algoritmo branch-and-bound al algoritmo de planos de corte con el fin de obtener soluciones exactas.
- Determinar desigualdades válidas para ser incorporadas en los algoritmos de Planos de Corte que se propongan a la formulación de Garfinkel.
- Estudiar formas de disminuir el número de variables involucradas en la formulación de Garfinkel [GW 00].
- Estudio de soluciones, aproximadas y/o exactas, del "Crossing Postman Problem".
- Aplicación de la Metaheurística GRASP en el problema del Índice de Transmisión de un grafo.
- Estudio de metodologías y herramientas de desarrollo de software.
- Análisis, Diseño e Implementación de un prototipo de software que permita resolver de la manera mas eficiente y efectiva posible algunos problemas sobre enrutamiento.

El proyecto utiliza y se basa en:

- Trabajos previos de los investigadores participantes tanto en el área de Problemas de Enrutamiento como en desarrollo de herramientas computacionales: [Ara 97], [Anc&al. 99], [Del&al. 99a], [Del&al. 99b], [Fre&al. 97], [GW 00], [Los&al. 94], [MLO 96], [MLO 95], [OAS 96].
- Publicaciones Recientes en las áreas involucradas: [Bar 94], [BD 96], [BCS 99], [CS 94], [CLS 98], [GL 97a], [GL 97a], [HLN 96], [Ray&al. 96], [Ray 95], [Ree 93].

## 7. Plan de Trabajo:

Para el primer año, las tareas planteadas son las siguientes:

- Estudio del estado del arte en la aplicación de técnicas heurísticas al problema de Enrutamiento.
- Desarrollo del código de un algoritmo de planos de corte para obtener cotas inferiores al problema RPP.
- Incorporación de un algoritmo branch-and-bound al algoritmo de planos de corte con el fin de obtener soluciones exactas para el RPP.
- Determinación de algunas desigualdades válidas para ser incorporadas en los algoritmos de Planos de Corte que se propongan a la formulación de Garfinkel del RPP.
- Aplicación de la Metaheurística GRASP en el problema del Índice de Transmisión de un grafo.
- Estudio de metodologías y herramientas de desarrollo de software que permitan implementar un prototipo de software de apoyo a la resolución de problemas de enrutamiento.
- Al menos una publicación arbitrada en una revista o congreso de prestigio en las áreas involucradas.

## 8. Metodología.

- Revisión Bibliográfica para evaluar el estado del arte en la utilización de Metaheurísticas en el Problemas de Enrutamiento.
- Hacer un estudio de los métodos basados en Programación Lineal para resolver dichos problemas: algoritmos de Planos de Corte, Branch-and-Bound, etc.
- Familiarización con las técnicas heurísticas para atacar problemas combinatorios.
- Análisis comparativo de resultados obtenidos con los reportados en la literatura utilizando los datos de prueba que manejan los investigadores del área.
- Estudio y Utilización de la Teoría de Poliedros para estudio de la envolvente convexa de soluciones.
- Evaluación y Uso de una metodología adecuada de desarrollo de software entre las existentes, para el Análisis, Diseño e Implementación de la herramienta computacional de apoyo a la solución de problemas de Enrutamiento.

## 9. Importancia de la Investigación.

En Venezuela no existe un grupo de investigación consolidado en el área de Optimización en problemas de Transporte. Los investigadores involucrados en este proyecto consideran necesario desarrollar un grupo en esta área de sumo interés para el país. El equipo de investigadores posee bastante experiencia en la utilización de las técnicas heurísticas más recientes para la resolución de problemas combinatorios. Sobre la base de este proyecto, creemos que a mediano plazo podremos ofrecer soluciones prácticas en el área de transporte, tanto a los sectores de servicios y productivo a nivel nacional.

## 10. Financiamiento solicitado:

Se ha solicitado a CONICIT una estación de trabajo SUN, el paquete de software CPLEX de programación matemática, una computadora personal y un programador, para un proyecto a 3 años.

La solicitud que hacemos al DID es un complemento a la hecha al CONICIT.

En el primer año tenemos pensado involucrar tres estudiantes de pregrado y uno o dos de postgrado.

	<b>Cant.</b>	<b>Costo/ Unidad \$</b>	<b>Total Bs</b>
<b>Equipos</b>			
PC's Pentium III 64 MB+disco 8GB+Tarjeta para la Red+ Monitor 17"	2	1215	1603800
Reguladores de Voltaje	2	100	132000
			<b>1.735.800</b>
<b>Personal de Apoyo</b>			
Preparadores	3	150	1980000
			<b>2.970.000</b>
<b>Materiales y suministros</b>			
Cajas de transparencias	5	40	132000
Resmas de papel	10	10	66000
Cajas de diskettes	30	8	158400
Libros Técnicos	5	75	247500
			<b>603.900</b>
<b>Gastos de Publicación:</b>			
Publicacion en revista y/o congreso	2	200	264.000
			<b>264.000</b>
		<b>Total Solicitado</b>	<b>5.573.700</b>

1 dólar USA= 660 Bolívares.

## 11. Referencias.

[Anc&al. 99] Juan Anciano, Emely Arraiz, Angela DiSerio, Nunzio Savino. "Refining Genetic Operators in a Genetic Algorithm to Solve Vertical fragmentation in Distributed DataBase Design". Proceedings from Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference. San Francisco. USA. 1999

[Ara 97] Julián Araoz. " Polyhedral Polarities". Libro editado por la Escuela de Matemáticas de Venezuela. Mérida. 1997.

[Bar 94] Daniel Barráez. "Diámetro de Transmisión, Ciclos dominantes y el problema clásico de colocaciones". PhD Thesis, Universidad Central de Venezuela. 1994.

[BD 96] D. Barráez, R.O. Domínguez. "A genetic algorithm for the forwarding index of graphs". Proceedings de la XXII Conferencia Latinoamericana de Informática de CLEI. Panel-96. Bogotá, Colombia.

[BCS 99] E. Benavent, A. Corberán, J.M. Sanchis. "Linear Programming Based Methods for solving Arc Routing Problems". working paper. Universidad de Valencia. España. 1999.

[Bod&al 83] L. Bodin, B. Golden, A. Assad, M. Ball. "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of the Art." Special Issue, Computers and Operations Research, Vol. 10, Nº 2. 1983.

[CS 94] A. Corberán, J.M. Sanchis. "A Polyhedral approach to the Rural Postman Problem". European Journal of Op. Res. vol. 79, 95-114. 1994.

[CLS 98] A. Corberán, A. Letchford, J. M. Sanchis. "A Cutting Plane Algorithm for the General Routing Problem". Personal communication. Nov. 1998.

[Del&al. 99a] H. Delmaire, Juan Antonio Díaz, Elena Fernández, Maruja Ortega. "Comparing New Heuristics for the Pure Integer Capacitated Plant Location Problem". Investigación Operativa (Revista Latino-Ibero-Americana de Inv. Op.) Aceptado para su publicación, Mayo 1999.

[Del&al. 99b] H. Delmaire, J.A. Diaz, E. Fernandez and M. Ortega "Reactive GRASP and TABU Search Based Heuristics for the Single Source Capacitated Plant Location Problem " INFOR (Information Systems and Operational Research) Vol. 37, Number 3, August 1999

[EGL 95] H.A. Eiselt, M. Gendreau, G. Laporte. "Arc Routing Problems:, Part II: The Rural Postman Problem". Operations Research. vol. 43, No. 3, May-June 1995

[Fre&al. 97] Laurent Freyss, Jesús Yépez, Oscar Meza, Oscar Ordaz, Domingo Quiroz. "GRAPHVIRUS: una herramienta para tratar fallas en redes". Actas de la XXIII Conferencia Latinoamericana de Informática, PANEL '97. Valparaíso, Chile, 10 al 15 de Noviembre 1997.

[GW 00] R. Garfinkel, I. Webb. "On Crossings, the Crossing Postman Problem, and the Rural Postman Problem". To appear in Networks 2000.

[GL 97a] G. Ghiani, G. Laporte. " A branch-and-cut algorithm for the undirected rural postman problem". Center for research on Transportation. Universidad de Montréal. Report CRT-97-54. Dec. 1997.

[GL 97b] F. Glover, M. Laguna. "Tabu Search". Ed. Kluwer Academic Publishers. 1997.

[HMS 89] M.C. Heydemann, J.C. Meyer, D. Sotteau. "On forwarding indices of Networks". Discrete Applied Mathematics. 23. 103-123. 1989.

[Lap 92] Gilbert Laporte. "The Vehicle Routing Problem: An Overview of exact and Approximate algorithms". European Journal of Operational research 59 (1992) 345-358.

[Lap 97] Gilbert Laporte. "Recent Advances in Routing Algorithms". Centre de Recherche sur les Transports. Universidad de Montreal. Canadá. Reporte de investigación CRT-97-11.

[Loe 95] Gabor Loerincs. "A Simmulated Annealing Algorithm for the Forwarding Index of Graphs". Proccedings de la XXIII Conferencia Latinoamericana de Informática de CLEI. Panel-97. Valparaíso, Chile.

[HLN 96] A. Hertz, G. Laporte, P. Nanchen. "Improvement procedures for the undirected rural postman problem". Working paper. Center for Research on Transportation, Univ. Montréal. 1996

[Los&al. 94] F. Losavio, A. Matteo, O. Ordaz, O. Meza, W. Gontier: "An implementation of the PAC model using object-oriented programing". Proccedings of the World Congress of the International Federation for Information Processing, IFIP'94 . Vol. 2, p. 149-155, K. Brunnstein and E. Raubold (Editors), Elsevier Science B.V., North-Holland, Hamburgo, Alemania, 28ag.-4sept. 1994.

[MLO 96] Oscar Meza, Francis Losavio, Oscar Ordaz: ``AMDI\_OO: Using the Object Oriented Approach for the Implementation of a Directed Graph Editor". Actas de la Conferencia Internacional en Análisis y Síntesis de Sistemas de Información. Del 22 al 26 de Julio 1996, Orlando, U.S.A.

[MLO 95] Oscar Meza, Francis Losavio, Oscar Ordaz: ``The Family Definition Language and the Instantiation process of GReAt". Actas de la XXI Conferencia Latinoamericana de Informática PANEL'95. Canela, Brasil.

[OAS 96] Maruja Ortega, Emely Arraiz, Ascánder Suárez. "A Genetic Algorithm for Drawing Graphs in an Interactive Environment". Proceedings from XVI International Conference of Chilea Computer Science Society. 1996.

[Ray&al. 96] V.J.Rayward-Smith, I.H.Osman, C.R.Reeves and G.D.Smith . "Modern Heuristic Search Methods". John Wiley & Sons 1996

[Ray 95] V.J.Rayward-Smith . "Applications of Modern Heuristic Techniques". Alfred Waller Ltd.,Henley-on-Thames,UK, 1995

[Ree 93] C. Reeves. "Modern Heuristic Techniques for Combinatorial problems". BlackWell Scientific Publications, Oxford. 1993.