

Sistema de Información Geográfica en la Web para el Problema de Ruteo de Vehículos

de San Pedro M.E., Lasso M., Serón N.,
Carrizo, A., Montenegro C., Burgos E., Ramos L.

Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM)

Unidad Académica Caleta Olivia

Universidad Nacional de La Patagonia Austral

e-mail: {edesanpedro, mlasso, nseron, acarrizo, cmontenegro}@uaco.unpa.edu.ar;

edubual@gmail.com; ramosluis_1@hotmail.com

Resumen

En este proyecto se abordan dos temáticas desde diferentes ámbitos de investigación y desarrollo; se plantea como objetivo, el estudio de las herramientas tecnológicas para lograr la integración entre el SIG, la información logística del Problema de Ruteo de Vehículos (VRP), los modelos matemáticos y técnicas metaheurísticas de optimización que permita resolver los problemas de ruteo de vehículos.

En la actualidad existen innumerables aplicaciones de software basadas en web, que intercambian información. Existe un alto grado de crecimiento de aplicaciones de software basadas en Web, por sobre las aplicaciones de escritorio.

Los Sistemas de Información Geográfica (GIS) no son la excepción a esta tendencia. Son sistemas de Información para capturar, almacenar, comprobar, integrar, manipular, analizar y presentar eficientemente todas las formas de información georeferenciada.

Palabras clave: *Sistema de Información Geográfica, Metaheurísticas, Optimización de recorridos, Problema de Ruteo de Vehículos.*

Contexto

Esta línea de investigación comienza como una actividad de Vinculación Tecnológica entre la Universidad y la Municipalidad de Caleta Olivia [Serón et al. 2008], y continuó en el marco de la convocatoria a becas de innovación tecnológica que ofrece todos los años la Fundación del Banco Santa Cruz, a las cuales se ha podido acceder en dos oportunidades [de San Pedro et al. 2009], [Serón et al. 2010a], [Serón et al. 2010b].

Con el objetivo de continuar en esta línea, se presentó el Proyecto de Investigación, Sistema de Información Geográfica integrado con un sistema

logístico basado en el Problema de Ruteo de Vehículos, en el marco del programa de Investigación en Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral; el que se está desarrollando en el Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM), de la Unidad Académica Caleta Olivia, donde el objetivo general es la investigación y el desarrollo en nuevas tecnologías basadas en Sistemas Inteligentes y Software Libre.

Actualmente se está trabajando en el estudio de herramientas que permitan utilizar GIS basados en Web, analizando las diferencias entre Gis Internet y Gis Convencional, cuales son las herramientas Gis Basadas en Web, y los lenguajes de programación para tal fin.

Introducción

El amplio crecimiento del uso de la Web afecta a los GIS, en el sentido de un mayor requerimiento de Información Geográfica. Esto se debe a que la Información no geográfica que obtenemos a través de la Web, posee una relación implícita o explícita con datos geográficos.

Las aplicaciones GIS basadas en Web, son sistemas de Información geográfica equivalentes en cuanto a prestaciones y posibilidades de un Gis de Escritorio. La información geográfica se encuentra en Servidores Remotos y no en la computadora del usuario.

En Gis Web se accede a los datos a través de algún Web Browser, es decir el Navegador Web se transforma en la principal vía de visualización de información geográfica.

En numerosas ocasiones necesitamos conocer información relacionada a distancias entre sitios, localización de servicios entre otros. Para resolver estos requerimientos los mapas son de una gran

utilidad, convirtiéndose en una herramienta de relevancia en la toma de decisiones.

En la actualidad se acentúa el uso de GIS Web, en el análisis y consultas de grandes volúmenes de información geográfica. Además resuelven las consultas geográficas en lapsos cortos de tiempo.

Herramientas Gis Basadas en Web

Actualmente varias empresas de GIS ofrecen productos comerciales basados en el Web. A su vez existe un amplio número de Aplicaciones GIS Web de Software Libre.

Algunos productos comerciales que podemos mencionar son los siguientes:

- **ESRI: Arc IMS (Internet Map Server)**

Desarrollado específicamente para distribuir Servicios GIS en la Internet, ArcIMS está diseñado para crear servicios de geoprocesamiento, diseñar páginas Web para los clientes y administrar los recursos realizando balanceo de cargas. ArcIMS opera en un ambiente distribuido compuesto por recursos informáticos repartidos entre los clientes y los servidores que permiten un máximo aprovechamiento de los recursos. Típicamente un cliente envía un requerimiento al servidor, este accede a las bases de datos, genera el análisis/reporte y devuelve la información al cliente en forma de mapas, datos tabulares y gráficos de fácil comprensión.

- **ERDAS: Image Web Server**

Una aplicación especializada de alta velocidad que distribuye eficientemente cantidades masivas de imágenes geoespaciales a miles de usuarios, en un solo servidor. Solucionando problemas de congestión de infraestructura tradicionalmente asociados con el despliegue de grandes cantidades de información de imágenes, los usuarios tienen acceso a la información que necesitan rápidamente.

Algunos Proyectos GIS Web de Software Libre:

- **Map Server**

Es una aplicación servidor de Código Abierto que te permite publicar imágenes de mapas geográficos y datos vectoriales a través de Internet

- **Alov Map**

Es una solución basada en Java con la que crear aplicaciones cartográficas, libre y sin costo, destinadas a la web.

- **GeoServer**

Es un Servidor Web que permite servir mapas y datos de diferentes formatos para aplicaciones Web,

ya sean clientes Web ligeros, o programas GIS desktop.

- **OpenLayer**

Es un framework JavaScript que permite incluir mapas georeferenciados en cualquier página web.

Aunque estos GIS basados en el Web parecen ser similares se basan en diferentes arquitecturas bases de datos, plataformas, formatos de datos y diferentes metodologías como CGI (Common Gateway Interface), Plug-ins, html extendido y Java.

El problema de un formato estándar de almacenamiento.

Sin embargo a pesar de las diferencias mencionadas anteriormente, el problema más común que se tiene en el campo de los GIS es la existencia de diferentes formatos para almacenar datos geográficos, lo que dificulta el intercambio de la información geográfica.

Establecer un formato estándar de almacenamiento permitirá un mayor acceso a la información de diferentes GIS sin la necesidad de contar con algún producto en especial, sobre todo en el contexto de Internet.

Esfuerzos de este tipo son llevados a cabo por comités como el Consorcio OPEN GIS (Open Geospatial Intereoperability Specification Consortium, o OGC).

Sin embargo actualmente muchos de los datos de un GIS son almacenados en sistemas de archivos o bases de datos con formatos específicos y solo a través del respectivo GIS es posible consultar y analizar los datos, como consecuencia los usuarios no pueden utilizar un solo producto GIS para tener acceso a todos los datos que deseen, lo que resulta en un alto costo si se adquiere alguno o varios productos GIS.

Otro problema que se tiene es el tiempo que se requiere para conocer y entender algún producto específico, además del tiempo y los recursos que se utilizan para instalar y configurar cada producto.

El problema aumenta en Internet ya que existen datos geográficos distribuidos en todo el mundo, almacenados con diferentes formatos y administrados por diferentes GIS.

Java gana aceptación

Para resolver el problema mencionado anteriormente un número considerable de Applets de Java y Software relacionado con los GIS han empezado a emerger en la Web recientemente. El rango va desde Applets simples, inmaduras y experimentales hasta aplicaciones complejas.

En este campo, Java ha ganado una rápida aceptación como un Lenguaje de Programación Web, por su independencia de plataforma y programación orientada a objetos. Aunque muchas de las Java Applets, son hechas principalmente en el campo de la investigación, con el objeto de resolver problemas que aparecen durante investigaciones.

Los SIG tienen dos componentes fundamentales: a) Un modelo de datos en el que se almacenan las características de los objetos geográficos, de manera similar a como se almacenan en una base de datos convencional, junto con información posicional (coordenadas) y las relaciones entre los distintos objetos, b) Una colección de funciones que nos permiten interrogar a la base de datos y obtener respuestas, ya sea en base a listados o a imágenes (mapas).

Una característica esencial de los SIG, es que intentan capturar en su modelo, datos de la realidad, y no una imagen determinada de ésta. [Rubio Barroso 1997]

Los datos (en este caso datos espaciales), son uno de los elementos más importante en un SIG, por esto es imprescindible conocer cuales son los tipos de datos característicos en estos sistemas.

Por otro lado, los problemas de ruteo de vehículos o de distribución física de mercancías desde almacenes a clientes aparecen en la literatura científica como Vehicle Routing Problems, más comúnmente como VRP. También se puede encontrar, aunque en menor medida, referencias como Vehicle Scheduling Problems. En términos generales, un problema de rutas de vehículos consiste en determinar las rutas de un conjunto (o flota) de vehículos que deben iniciar un recorrido (y finalizarlo) en los almacenes (o depósitos) para atender la demanda de servicio de un conjunto disperso de clientes sobre una red. En la literatura, algunos autores han intentado clasificar y simplificar la gran variedad de posibles problemas, como por ejemplo los criterios propuestos por [Bodin y Golden, 1981] y [Desrochers et al. 1990]; que intentan reflejar y ordenar las principales características en aspectos como: el almacén, la flota, la demanda, el servicio y el objetivo a alcanzar. Esta clasificación de los problemas, ha facilitado tanto el desarrollo de modelos matemáticos y estrategias de resolución, como la toma de decisiones por parte de las empresas

Uno de los primeros estudios que trataron el problema de ruteo de vehículos se remonta al año 59, en este trabajo Dantzing y Ramser [Dantzing & Ramser, 1959] tratan un problema de despacho con camiones, que surge como una generalización del problema clásico del agente viajero (TSP) en el que un vendedor tiene que visitar una serie de clientes una sola vez, para luego volver al lugar de partida, construyendo una camino hamiltoniano sobre el

grafo constituido por los clientes (vértices) y los caminos posibles entre un cliente y otro (aristas). El VRP tiene por objetivo encontrar las rutas que recorran cada uno de los vehículos (ubicados en un depósito) de manera que se satisfagan los requerimientos de los clientes, las restricciones operativas y se minimice el costo total de transporte.

En la historia reciente del VRP ha habido una evolución constante en la calidad de las metodologías resolutivas utilizadas en este problema, pertenecientes tanto al campo de investigación exacto como al heurístico. De todas formas, dada la dificultad del problema, ningún método exacto conocido es capaz de encontrar el óptimo para instancias que contengan más de 50 clientes [Golden et al. 1998].

Una recopilación de técnicas exactas de solución existentes para los problemas de ruteo de vehículos puede encontrarse en [Laporte 1992]. No obstante, los de gran dimensión resultan imposibles de solucionar en tiempo polinomial, por lo que el VRP es un problema NP-hard [Machado et al. 2000] y [Olivera 2004], donde no es posible alcanzar una solución óptima y dependiendo de las características especiales de clientes, locaciones y producto/servicio, requiere la elaboración de una metodología de solución específica con la cual se aproxime lo mejor posible al óptimo. Debido a estas razones y a la relevancia práctica del VRP se han propuestos varias soluciones a este problema haciendo uso de heurísticas y metaheurísticas. Algunos ejemplos incluyen Tabu Search [Cordeau 1997], Simulated Annealing [Osman 1993], Ant Colony [Bell & McMullen 2004], Algoritmos Evolutivos [Bäker & Ayechev 2003], [Xu et al. 2005], entre otras.

Con el propósito de poder integrar las tecnologías que brindan los sistemas de información geográfica, con diferentes metaheurísticas para resolver problemas de optimización, existe actualmente un grupo de desarrollo en la Universidad Politécnica de Valencia, <http://personales.upv.es/arodrigu> que aborda esta problemática a través de una herramienta informática donde el objetivo está planteado para facilitar la resolución de problemas reales de flotas de vehículos capacitados (CVRP), el cálculo de rutas, y su gestión. Aquí se integran inteligentemente tres elementos: el SIG, la información del sistema logístico (VRP-XML), los modelos matemáticos y técnicas de optimización combinatoria que conjuntamente permiten resolver los problemas de rutas para flotas de vehículos, [Toth et al. 2001].

El éxito en la gestión logística depende de la capacidad de integración (información y sistemas, proveedores y clientes, recursos y decisiones, etc.). Por ello, el proyecto desarrollado en la Universidad de Valencia, ha prestado especial interés a la

integración necesaria para la optimización del transporte, la toma de decisiones y la gestión de flotas.

Para el modelado, resolución y análisis de este tipo de problemas, es necesario gestionar una enorme cantidad de información: datos sobre las características de la flota de vehículos, los planes de ruta, los cargamentos, depósitos y retiros, información geográfica, las restricciones, la función objetivo, etc. Tal y como se explica en [Rodríguez 2006], se trata de una estructura de etiquetas VRP-XML que define los elementos de un documento que facilita el intercambio de datos en el contexto de los VRP. El módulo VRP-XML se enlaza fácilmente con la planificación de recursos empresariales (ERP), compartiendo datos de: clientes, servicios y órdenes de trabajo, información sobre costos de operaciones, disponibilidad e información sobre los recursos logísticos (flota de vehículos), franjas horarias y otro tipo de restricciones. Además este tipo de problemas son dinámicos y cambian en el tiempo, sus datos deben de estar soportados por una estructura flexible, capaz no sólo de atender tal cantidad de información según los actuales requerimientos de la empresa, sino también los futuros del sistema logístico (ampliación del número de clientes, de la flota de vehículos, nuevas restricciones, etc.).

Líneas de Investigación y desarrollo

Este proyecto tiene como objetivo principal, integrar un Sistema de Información Geográfica con un modelo de optimización de ruteo de vehículos (*Vehicle Routing Problem*) realizando el cálculo de las rutas y su gestión logística.

Este objetivo podrá lograrse desde el abordaje de dos temáticas específicas:

- El estudio del arte sobre herramientas tecnológicas existentes dentro del ámbito de software libre, que permitan la integración de la resolución de un problema real en un Sistema de Información Geográfica y,
- La investigación, desarrollo y aplicación de metaheurísticas para la optimización de recorridos que facilite la resolución de problemas reales de flotas de vehículos capacitados.

Resultados y Objetivos

En el marco de este proyecto, se busca promover la relación Universidad – Empresa, a través de convenios realizados con empresas dedicadas al rubro de servicios petroleros (para distribución de personal, recorrido de locaciones, etc.), y la empresa Teleservicios Caleta Olivia S.E.

(prestadora de servicios de telecomunicaciones e Internet en Caleta Olivia y Cañadón Seco).

En cuanto a la relación del proyecto con las actividades de Formación de Grado, se propone su vinculación con los espacios curriculares, Programación, Modelos y Simulación, Sistemas Inteligentes Artificiales. Además de promover la generación de espacios donde los alumnos puedan desarrollar sus proyectos finales de la carrera Ingeniería en Sistemas.

Formación de Recursos Humanos

Un integrante se ha incorporado como becario alumno con el objetivo de seguir expandiendo esta línea en la comunidad de la UACO.

Un integrante, actualmente cursando la Maestría en Informática y Sistemas de la UNPA, ha comenzado a definir su plan de tesis en temas afines a los propuestos en el proyecto.

Dos alumnos de la carrera Ingeniería en Sistemas, están en proceso de definición de su plan de tesis para el desarrollo del Proyecto Final para obtener su titulación, en temáticas que estarían orientadas a las propuestas como líneas de desarrollo en este proyecto.

Referencias

- [Bäker & Ayechev 2003] Bäker B.M. and Ayechev M.A., A genetic algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, pages 787-800. 2003
- [Bell & McMullen 2004] Bell J. and McMullen P., Ant Colony Optimization techniques for the vehicle routing problem, *Advanced Engineering Informatics*, pages 41-48. 2004
- [Bodin y Golden 1981] Bodin, L., Golden, B. (1981). Classification in Vehicle-Routing and Scheduling, *Networks*, 11(2), pp. 97-108.
- [Cordeau 1997, Cordeau J-F, Gendreau M. and Laporte G. A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems. *Networks*, 30(2): 105-119, 1997.
- [Dantzing & Ramser 1959] Dantzing G.B. and Ramser J.H., "The Truck Dispatching Problem" *Management Science*, Vol. 6, Nro. 1 (Oct., 1959), pp 80-91.
- [de San Pedro et al. 2009a] de San Pedro Maria Eugenia, Serón Natalia, Cristian Montenegro - Sistema de información geográfica aplicado a turismo y patrimonio histórico y cultural - 11° Workshop de Investigadores de Ciencias de la Computación WICC'09, pp.438-441 ISBN 978-

- 950-605-570-7, Universidad Nacional de San Juan, San Juan – Mayo 2009.
- [Desrochers et al. 1990] Desrochers, M., Lenstra, J. K., Savelsbergh, M. W. P. (1990). A Classification Scheme for Vehicle-Routing and Scheduling Problems, *European Journal of Operational Research*, 46(3), pp. 322-332.
- [Golden et al. 1998] Golden B.L., Wasil E.A., Kelly J.P., and Chao I-M. *Fleet Management and Logistics*, chapter The Impact of Metaheuristics on Solving the Vehicle Routing Problem: algorithms, problem sets, and computational results, pages 33-56. Kluwer Academic Publishers, Boston 1998
- [Laporte 1992] Laporte, G., The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59, 1992, pp. 345.358.
- [Machado et al. 2000] Machado, P., Tavares, J., Pereira, F. and Costa, E., *Vehicle Routing Problem: Doing it the Evolutionary Way*.2000.
- [Olivera 2004] Olivera, A., *Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos*. Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. 2004.
- [Osman 1993] Osman I. H.. *Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms for the vehicle routing problem*. *Ann. Operations Research* 40(1), pages 421-451. 1993.
- [Rodríguez 2006] Rodríguez, A. (2006). *VRP-XML: lenguaje de marcas extensible para los problemas de rutas de vehículos*. X Congreso de Ingeniería de Organización, Valencia.
- [Rubio Barroso 1997] Rubio Barroso “Los Sistemas de Información Geográficos: Origen y perspectivas” *Revista general de información y documentación*, ISSN 1132-1873, Vol. 7, N° 1, 1997, Págs. 93-106
- [Serón et al. 2008] Serón N., Montenegro C., Vidal P., Villagra S., Orozco S., Valdéz J., Díaz F., de San Pedro M. -Implementación de un Sistema de Información Geográfica en Municipios de la Zona Norte de la Provincia de Santa Cruz. X Workshop de Investigadores de Ciencias de la Computación - WICC 2008, La Pampa, Argentina, Mayo 2008, pp. 530-533.
- [Serón et al. 2010a] Serón N., Montenegro C., Valdez J., de San Pedro M.E. – *Sistema de Información Geográfica Aplicado al Turismo y Patrimonio Histórico y Cultural - II Jornadas de Extensión Universitaria UNPA*, Caleta Olivia, 18 de Agosto de 2010.
- [Serón et al. 2010b] Serón N., Montenegro C., Valdez J., de San Pedro M.E. – *Sistema de Información Geográfica Aplicado al Turismo y Patrimonio Histórico y Cultural - III Jornadas RedVITEC*, Mendoza, 25 y 26 de Noviembre de 2010.
- [Toth et al. 2001] Toth, P., Vigo, D. (2001). An overview of vehicle routing problems. In the *Vehicle Routing Problem*. Ed. Society for Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia.
- [Xu et al. 2005] Xu Y L, Lim M. H. and Er M. J.. *Investigation on Genetic Representations for Vehicle Routing Problem*, *IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics*, pages 3083- 3088 2005