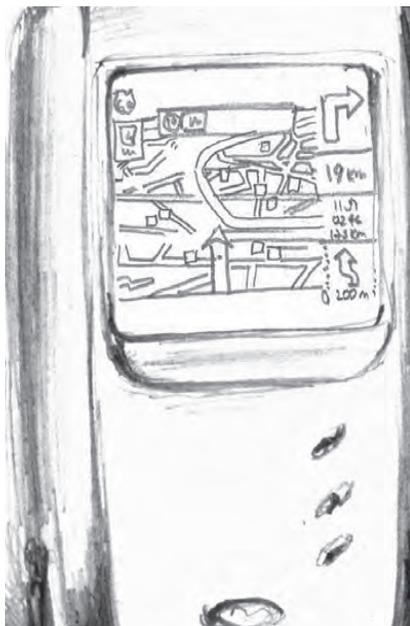


# Reseña del Software

disponible en Colombia para el diseño de rutas  
de distribución y servicios



## Valentina Gutiérrez

Universidad de Antioquia, Departamento de Ingeniería Industrial.  
Medellín, Colombia.  
evlaila@udea.edu.co

## Juan David Palacio

Universidad de Antioquia, Departamento de Ingeniería Industrial.  
Medellín, Colombia.  
juandavidpd@hotmail.com

## Juan Guillermo Villegas

Universidad de Antioquia, Departamento de Ingeniería Industrial.  
Medellín, Colombia.  
jvillega@udea.edu.co

Recepción: 17 de enero de 2007 | Aceptación: 28 de febrero de 2007

## Resumen

Este artículo presenta una reseña del software para diseño de rutas disponible en Colombia. Primero se presenta el resultado de la revisión de la literatura enfocada en el desarrollo de algoritmos para el diseño de rutas y su implementación en software para el proceso de toma de decisiones. Seguidamente, se identifican algunas de las características más importantes de la gestión del transporte en el sistema logístico en el ámbito colombiano. Luego se presenta la caracterización de los productos de software disponibles en el país. Finalmente se presentan las conclusiones del estudio y las futuras oportunidades de investigación.

## Palabras Clave

Diseño de rutas de distribución  
y servicios  
VRP *Vehicle Routing Problem*  
Software de diseño de rutas  
Transporte  
Sistemas de soporte a las  
decisiones.

## Distribution and Services Routing Design: Review of the Vehicle Routing Software Available in Colombia

### Abstract

This paper presents a review of the vehicle routing software available in Colombia. First, we present a literature review, focused on the development of algorithms for routing design and its implementation on software for the decision making process. Second, we identify the main characteristics of transportation management in Colombian logistics systems. Then, we present the characterization of the software products available in the country. Finally, there are conclusions of the study and future research opportunities.

### Key words

Vehicle routing  
VRP *Vehicle Routing Problem*  
Routing software  
Transportation  
Distribution and services routing design  
Decision support systems

### Introducción

**E**l diseño de rutas de vehículos es una de las funciones operativas más críticas del transporte, enmarcado en la gestión de cadenas de abastecimiento. El movimiento de bienes y servicios puede representar entre uno y dos tercios del costo logístico total (Ballou, 2004, 164); en Colombia, el sector de transporte terrestre representa el 4% del PIB nacional y el modo terrestre mueve el 63% del total de la carga nacional (Revista Dinero, 2006). En este contexto, la selección, adquisición, implementación y evaluación de herramientas informáticas para el diseño de rutas, son actividades relevantes en la búsqueda de ventajas en mercados cada vez más competidos.

Debido a las condiciones económicas y logísticas en las que operan las empresas en Colombia, pocas empresas, medianas y grandes, han adquirido o desarrollado herramientas de software para la gestión de cadenas de suministro, entre las que el software para el diseño de rutas es poco común. Sin embargo, tal y como lo han expresado los gerentes de logística y transporte de empresas nacionales consultados en esta investigación, mejorar el esquema de decisiones para la distribución de bienes y servicios mediante el diseño de las rutas de vehículos, es una oportunidad para reducir los costos fijos y operativos, y aumentar los niveles de servicio del sistema de transporte.

En el mercado mundial existe una amplia diversidad de software para el diseño de rutas (Baker, 2001,

353-361), que integra herramientas de optimización para resolver el problema de *ruteo de vehículos* (VRP de su definición en inglés *Vehicle Routing Problem*) con sistemas de información geográfica (SIG) (Kolli *et al.*, 1993, 369-372). A pesar de esta diversidad, algunas empresas proveedoras de software con amplio reconocimiento internacional, así como la mayoría de las empresas evaluadas en el mercado norteamericano (Hall, 2006), no ofrecen soporte en Colombia para la instalación de estas herramientas. Algunas de estas empresas de este grupo son *Appian Logistics Software*, *GIRO Inc.*, *Prophesy Transportation Software*, *PROLOGOS*, *Soloplan*, *RouteSmart Technologies* y *MJC2 Limited* entre otras.

Consecuentemente, es necesario brindar a las empresas Colombianas generadoras de carga y transportadoras, una caracterización estándar del software de diseño de rutas disponible en el país, que incluya soporte y seguimiento en su implementación. Esta caracterización debe identificar los factores técnicos y económicos relevantes al momento de hacer un análisis comparativo de los programas disponibles, para así decidir cuál de ellos se ajusta mejor a las condiciones de cada empresa.

Este artículo brinda una caracterización del software de diseño de rutas disponible en Colombia, cuyos proveedores están localizados en el territorio nacional y pueden ofrecer soporte de implementación

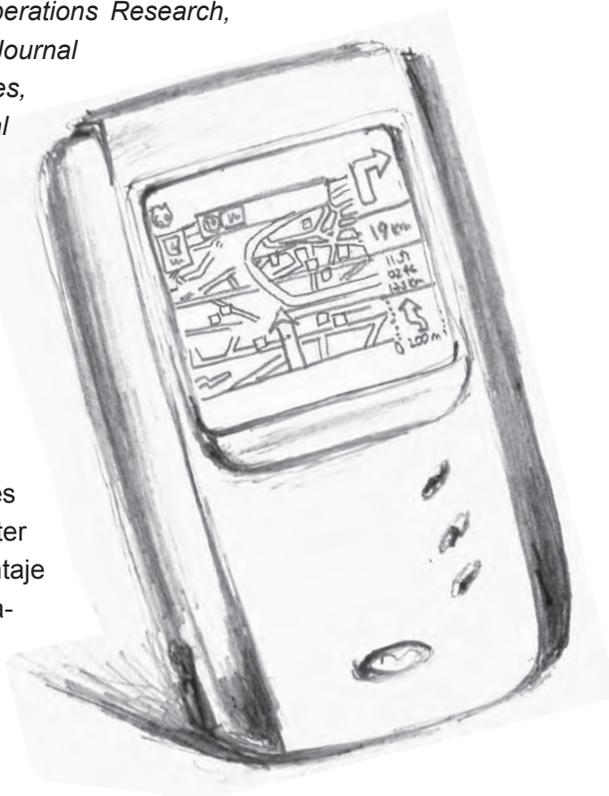
y seguimiento. El artículo está organizado de la siguiente forma: en la sección uno se presentan los resultados de la revisión de la literatura, realizada en busca de desarrollos e implementaciones de software de diseño de rutas; en la sección dos se describen los hallazgos relacionados con las características de la gestión del transporte en el sistema logístico, con base en el estudio hecho con investigadores, consultores, proveedores de software y compañías que distribuyen bienes y servicios; en la sección tres se presenta la caracterización del software disponible y por último se presentan las conclusiones y las futuras oportunidades de investigación.

## 1. Revisión de la Literatura

Para la revisión de la literatura se consultaron publicaciones nacionales e internacionales que abordan el *problema de ruteo de vehículos VRP*, y que presentan el resultado de investigaciones para su solución y aplicación en contextos reales. Dentro de la revisión de documentos científicos, se tuvieron en cuenta principalmente las siguientes publicaciones: *Annals of Operations Research*, *Decision Support Systems*, *European Journal of Operational Research*, *Interfaces*, *International Transactions in Operational Research*, *The Journal of the Operations Research Society*. Los artículos consultados corresponden a publicaciones de las últimas dos décadas, y se indagó específicamente por las implementaciones informáticas desarrolladas o utilizadas en la solución del VRP.

De manera general, los proveedores de software son compañías de carácter privado, sin embargo un gran porcentaje de programas son elaborados paralelamente por equipos investigativos de tipo académico (Ball y Data, 1997, 151-182) (Basnet *et al.*, 1996, 195-207), (Faulin, *et al.*, 2005, 202-214), (Ruiz *et al.*, 2004, 593-606).

Teniendo en la cuenta la gran cantidad de variaciones que existen para el VRP en la realidad, se encontró que la mayoría del software está diseñado para la solución del VRPTW (*Vehicule Routing Problem with Time Windows*) en el cual los clientes especifican intervalos de tiempo durante los cuales quieren ser atendidos (Blakeley *et al.*, 2003, 67-79), (Sahoo *et al.*, 2005, 24-36), (Weigel y B. Cao, 1999,



112–130). Del mismo modo, el software está diseñado para resolver casos como el OVRP (*Open Vehicle Routing Problem*), en cual la flota no es de propiedad de la compañía sino de transportadores a los cuales se les contrata y no tienen que regresar al centro de distribución (Tarantilis *et al.*, 2004, p. 437-453), y el VRP clásico (Salim y Marquez, 2001, 1-11), (Evans y Norback, 1985, 497-472), (Faulin, *et al.*, 2005, 202-214).

Los programas son desarrollados para una gran diversidad de sectores y aplicaciones entre los que se encuentran: la recolección de leche (Basnet *et al.*, 1996, 195-207), la entrega de productos de consumo masivo (Faulin *et al.*, 2005, 202-2154), (Adenso-Díaz *et al.*, 1998, 21–31), la prestación de servicios de mantenimiento (Blakeley *et al.*, 2003, 67–79), (Weigel y B. Cao, 1999, 112–130), la distribución de alimentos para animales (Ruiz *et al.*, 2004, 593-606), la recolección de residuos sólidos (Sahoo *et al.*, 2005, 24-36), el transporte escolar (Pons *et al.*, 2003, 58-76), servicios postales (Tarantilis *et al.*, 2002, 481–500) y la entrega de productos industriales como concreto (Matsatsinis, 2004, 487–499) y combustibles (Fölsz *et al.*, 1995, 613-623).

No obstante, la mayoría de los proveedores brindan soluciones puntuales para cada problema, dependiendo de especificaciones o requerimientos propios de cada empresa, como por ejemplo, la separación de productos químicos o alimenticios en un mismo vehículo. Esto puede verse como una desventaja, ya que la flexibilidad que brindan estas aplicaciones es mínima; sin embargo, para lograr un equilibrio, los desarrolladores de software no restringen de manera significativa su capacidad, por lo cual es común encontrar aplicaciones con un número máximo de clientes, de vehículos y de rutas bastante elevado. Además, los programas traen consigo diversas opciones de agrupamiento para cada uno de estos ítems; por ejemplo, de acuerdo a la capacidad de los vehículos (Salim y Marquez, 2001, 1-11), la longitud de las rutas (Ruiz *et al.*, 2004, 593-606), y el tipo de cliente (Sahoo *et al.*, 2005, 24-36), entre otros.

Por su parte, los diseñadores académicos de software presentan algunos modelos que se diferencian de acuerdo a su sector o aplicación, pero presentan generalizaciones al momento de enfocar el producto a un mercado; es decir, no presentan restricciones en cuanto al tipo de sector al que va dirigido el software (Ball y Data, 1997, 151-182) (Basnet *et al.*, 1996, 195-207).

Los criterios de optimización en los cuales se basan las empresas son principalmente, el tiempo total de las rutas y la distancia total recorrida en las mismas (Ball y Data, 1997, 151-182), (Salim y Marquez, 2001, 1-11), (Evans y Norback, 1985, 497-472). Algunas aplicaciones cuentan con un criterio adicional que es el atractivo visual de las rutas (Sahoo *et al.*, 2005, 24-36), cuya idea fundamental es minimizar el cruce o inserción de dos o más recorridos, para presentar rutas que son más fácilmente aceptadas por las personas que las diseñan. De todos los criterios posibles que se pueden tener en cuenta, el tiempo total para realizar la entrega es el más importante de todos.

Dependiendo de las necesidades de cada sector o empresa, el software es diseñado con diversas herramientas o aplicaciones que permiten un manejo más práctico al usuario; entre dichas herramientas están los SIG y GPS (Sistemas de Posicionamiento Global). Además, acorde a cada empresa, el software incluye la posibilidad de utilización de ventanas de tiempo tanto rígidas como flexibles; éstas últimas permiten entregar en intervalos de tiempo diferentes al establecido por el cliente pero con cierta penalización.

Por otro lado, en la literatura, no es común encontrar información sobre los métodos bajo los cuales funciona la optimización de las rutas, pero se puede observar que los más usados son métodos aproximados como los métodos constructivos (Faulin *et al.*, 2005, 202-2154), (Poot *et al.*, 2002, 57-68), la búsqueda tabú (Blakeley *et al.*, 2003, 67–79), (Weigel y B. Cao, 1999, 112–130), (Belenguer *et al.*, 2005, 435-445) el recocido simulado (Sahoo *et al.*, 2005, 24-36), o el recocido determinístico (Tarantilis *et al.*, 2002, 481–500).

Es relevante mencionar, que los ambientes o plataformas en los que se ejecutan las aplicaciones, son comunes en nuestro medio. Por ejemplo, es típico el uso sobre sistemas operativos como Windows y Linux, entre otros.

## 2. Gestión de la Función de Transporte en el Sistema Logístico Colombiano

La metodología seguida para caracterizar el software de diseño de rutas disponible en el país incluyó el contacto con investigadores en el área, consultores, proveedores de software y empresas generadoras de carga y transportadoras que realizan el transporte en su cadena de abastecimiento, y se enfrentan diariamente a la programación y secuenciación de vehículos para la distribución o recolección de bienes y servicios.

Dentro de los aspectos claves identificados por los investigadores y consultores en el área, la integración del software de diseño de rutas con bases de datos y con los sistemas de información geográfica es fundamental para la implementación de este tipo de software. Jesús Velásquez, fundador de *Decision Ware* Ltda., afirma que<sup>1</sup> “la conectividad con los SIG es fundamental cuando se trata de rutas urbanas que varían todos los días. En ese caso, para ensamblar el problema, se requiere de software especializado en interpretar direcciones. Adicional a esto, de acuerdo con el estado de la tecnología, el cliente final va a desear tener todo relacionado con un sistema de posicionamiento del vehículo, tipo GPS, AVANTEL, RFI o similar”.

Del mismo modo, Carlos Julio Vidal de la Universidad del Valle<sup>2</sup>, comenta que uno de los factores claves para la implementación de un software o programa de diseño de rutas, es disponer de una buena información cartográfica de la región sobre la que se planean las operaciones de transporte. Esto, como lo comenta Vidal, hace necesario que las empresas proveedoras de software brinden una

información clara y detallada sobre los sistemas de mapas y zonificación que ofrecen sus aplicaciones informáticas, para poder evaluar la bondad de los sistemas en la toma de decisiones.

La principal limitación por la que la mayoría de proveedores internacionales de software de diseño de rutas no cuentan con representación en Colombia, es la carencia de mapas digitales confiables de la red vial, urbana y nacional, así como las dificultades para la georeferenciación de las direcciones de los nodos de recolección y despacho. Chris Walz, Vicepresidente de *RouteSmart Technologies Inc.*<sup>3</sup>, comenta que el software de diseño de rutas que su empresa ofrece puede operar perfectamente en el ambiente del sistema de transporte colombiano, siempre y cuando se cuente con mapas digitales y sistemas de georeferenciación. *Como RouteSmart Technologies Inc.*, varias empresas internacionales ofrecen soluciones informáticas para el diseño de rutas de vehículos, pero no cuentan con una oficina de representación en Colombia. Sin embargo, estas empresas están dispuestas a ofrecer el servicio de implementación y consultoría en el país, por lo que se han incluido en los resultados de este estudio.

La carencia de mapas del sistema vial colombiano a nivel internacional, es confirmada por Arjan Spigt, Gerente de Mercadeo de *AND Automobile Navigation Data*<sup>4</sup>, empresa holandesa proveedora de mapas digitales de la mayor parte de rutas y carreteras del mundo, quien comenta que a pesar de contar un completo sistema digital para la mayoría de los países del mundo, el cubrimiento de mapas de Colombia es mínimo. Del mismo modo, empresas como *ORTEC B.V.*<sup>5</sup>, *AntOptima*<sup>6</sup> e *INFORM GmbH*<sup>7</sup> explican que no tienen clientes en Colombia, principalmente por no contar con sistemas de mapas digitales.

<sup>3</sup> Comunicación privada del 11 de octubre de 2006.

<sup>4</sup> Comunicación privada del 16 de octubre de 2006.

<sup>5</sup> Comunicación privada con Elieen Zhang, el 18 de octubre de 2006.

<sup>6</sup> Comunicación privada con Dario Coltari, del 16 de octubre de 2006.

<sup>7</sup> Comunicación privada con Hiltrud Kliesch, del 17 de octubre de 2006.

<sup>1</sup> Comunicación privada del 31 de julio de 2006.

<sup>2</sup> Comunicación privada del 01 de agosto de 2006.

Por su parte, alrededor de veinte de las setenta empresas transportadoras y generadoras de carga consultadas, reconocieron que incorporar sistemas de apoyo para el diseño de las rutas permite incrementar la productividad haciendo un transporte más eficiente y mejorando la satisfacción de los clientes con rutas más confiables. Sin embargo, este estudio permitió confirmar que la metodología más común para el diseño de rutas utilizada por las empresas Colombianas, es el diseño con “soluciones manuales” en las que una o varias personas experimentadas deciden qué vehículos utilizar y hacia dónde enviarlos.

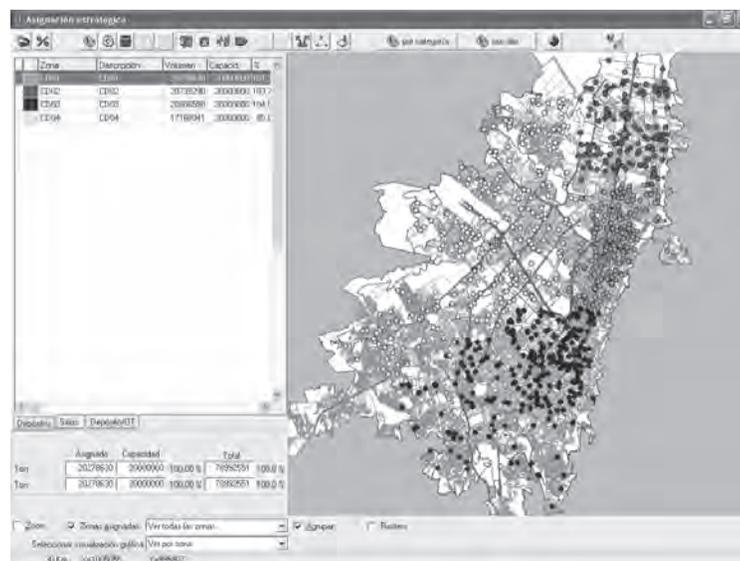
Las empresas presentan varias razones por las que el diseño de rutas se hace de manera manual. Cerca de diez empresas de carga masiva que transportan a nivel nacional, afirman que debido a las cantidades de entrega y a la infraestructura vial del país, no es necesario hacer cuantiosas inversiones en software de apoyo para el diseño de las rutas. Ellos comentan que la secuenciación de clientes es sencilla al incluir uno o dos clientes en una ruta, y sólo existe una alternativa vial para acceder a los clientes. Otras empresas dedicadas al transporte urbano y nacional, consideran que el software de seguimiento satelital y de seguridad es prioritario en su operación, por lo que han

preferido invertir en software de destino seguro con proveedores que brindan soporte en el ámbito nacional.

Alrededor de quince empresas de transporte urbano, afirmaron que el diseño de rutas de vehículos es una función de tipo estratégico que se realiza anualmente. Esto aplica particularmente para empresas de transporte de pasajeros con demanda fija y con contratos de entregas a largo plazo. Para estas empresas la inversión en software de diseño de rutas no implica un incremento significativo en la eficiencia de las rutas, dado que los tiempos de diseño no son un factor crítico en su ejecución.

A pesar de que la estructura actual de las operaciones logísticas a nivel nacional y urbano hace pensar que la implementación de software de diseño de rutas no es una inversión factible en el corto plazo, las tendencias tanto estratégicas como operativas indican que, debido a la creciente complejidad de las operaciones de diseño de rutas de los vehículos, el desarrollo o adquisición de una herramienta informática para la secuenciación de rutas es una necesidad logística que deben cumplir las empresas transportadoras del país. (Las figuras 1 a la 3, ilustran los ambientes de

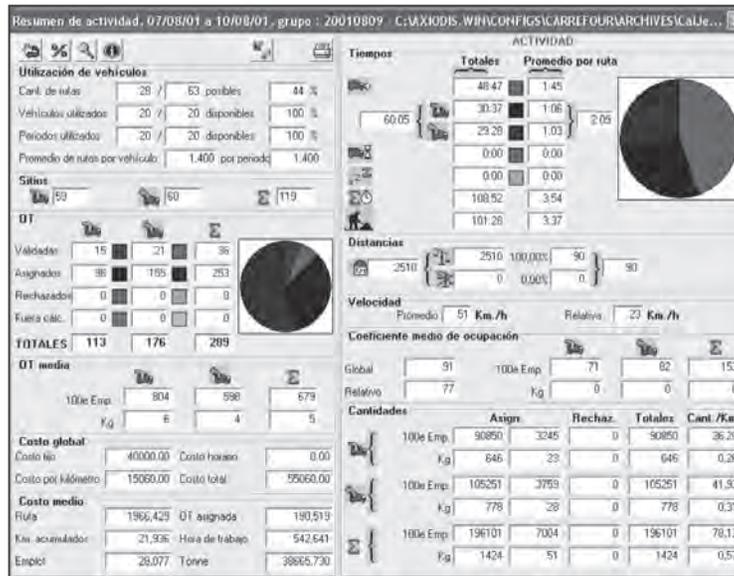
**Figura 1.** Interfaz de usuario para la planeación estratégica de las funciones de ruteo, mediante la asignación óptima de clientes a centros de distribución



Fuente: AXIODIS

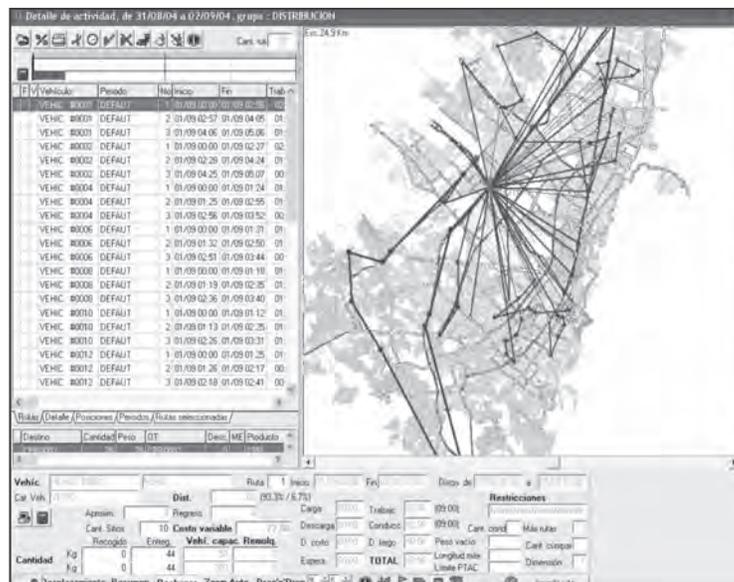
planeación estratégica, táctica y operativa que ofrece uno de los proveedores de software consultados para el estudio<sup>8</sup>. Estas figuras se han incluido gracias a la colaboración de Logística: Consultoría e Integración S.A. – OptiLogistics, quienes amablemente nos las han facilitado.

**Figura 2.** Interfaz de usuario para la planeación táctica de las funciones de ruteo, mediante la simulación logística y la evaluación de las inversiones



Fuente: AXIODIS

**Figura 3.** Interfaz de usuario para la planeación operativa de las funciones de ruteo, mediante la optimización de la distribución



Fuente: AXIODIS

<sup>8</sup> Estas figuras se han incluido gracias a la colaboración de Logística: Consultoría e Integración S.A. – OptiLogistics, casa proveedora del software AXIODIS.

Por su parte, los setenta operadores logísticos y las empresas transportadoras consultadas en este estudio, realizan el diseño de rutas de sus vehículos de manera manual o mediante el uso de desarrollos computacionales propios, y sólo cinco de ellas utilizan software de diseño de rutas. Hasta ahora, ninguna de estas empresas ofrece al mercado de transportadores paquetes de software de diseño de rutas, lo que contrasta con desarrollos como el logrado por la filial de desarrollos tecnológicos de la UPS (*United Parcel Service*), *UPS Logistics Technologies*, uno de los operadores logísticos más grandes en el mundo. Desde mediados de 1983, esta empresa que se ha desempeñado como operador logístico en Estados Unidos desde 1907, introdujo al mercado el *Roadnet Transportation Suite*, una herramienta que permite diseñar las rutas de los vehículos de manera eficiente, como lo comenta Emilio Tovar<sup>9</sup>, representante de la empresa en Colombia, a través de *Smart Logistics S.A.*

El hecho de que ningún operador logístico del país ofrezca aún este tipo de soluciones y sólo cinco las utilicen, constituye una oportunidad de investigación y mejoramiento para expertos en el área, para las empresas transportadoras y para los proveedores de software en Colombia. Es también una oportunidad de mejoramiento para las empresas transportadoras y generadoras de carga pues, como bien se ha demostrado, el transporte es la actividad logística que genera mayores costos en la cadena de suministro, y una correcta gestión de dichas actividades constituye una ventaja competitiva no sólo de las empresas transportadoras, sino de las cadenas de valor del país.

Finalmente, la carencia de herramientas informáticas en el país para el diseño de rutas, constituye una oportunidad para las empresas proveedoras de software y expertos en el área, pues dada la relevancia de la función del transporte en la economía colombiana, brindar sistemas de soporte para las decisiones tácticas y operativas de esta función, es un factor clave en el desarrollo de la

industria de producción de bienes y servicios del país, especialmente ante las condiciones de apertura de los mercados que se avecinan en el corto plazo, y la ventaja geográfica que tiene el país como puerta de entrada al mercado latinoamericano.

En este sentido, investigaciones para el desarrollo e implementación de software de programación de rutas para el transporte de pasajeros y de carga, como la que adelanta Carlos Paternina<sup>10</sup> de Sinmaf LTDA. con el apoyo del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología “Francisco José Caldas” (COLCIENCIAS), muestran cómo el impulso de la investigación y el desarrollo de herramientas para apoyar las decisiones de los sistemas de transporte, adquieren cada día una connotación más relevante tanto en el sector académico como en el industrial.

### 3. Caracterización de Software para el Diseño de Rutas de Vehículos

Para caracterizar el software de diseño de rutas de vehículos disponible en Colombia, se utilizó una herramienta estándar de recolección de información cuyo esquema general está basado en el estudio hecho por (Hall, 2006), quien desde 1998 hasta el 2006, ha realizado cinco encuestas sobre el software diseño de rutas de vehículos disponible en el contexto internacional. Los campos evaluados en la encuesta fueron complementados con los factores que han tenido en cuenta las empresas que cumplen la función de ruteo y validados con una empresa proveedora de software en Colombia.

En el estudio participaron siete empresas proveedoras de software, que ofrecen en total nueve sistemas informáticos para el diseño de rutas. Todas las empresas incluidas en el estudio cuentan con oficina de representación y asesoría en Colombia. La metodología de aplicación de la encuesta varió de acuerdo a los requerimientos de cada empresa. Para algunos, la encuesta se hizo mediante entrevista personal. Para otros, la encuesta se

<sup>9</sup> Comunicación privada del 19 de octubre de 2006.

<sup>10</sup> Comunicación privada del 24 de agosto de 2006.

aplicó mediante el diligenciamiento del formulario electrónico o por encuesta telefónica, mientras que para tres sistemas informáticos evaluados, se tuvo la oportunidad de interactuar con la interfaz de usuario y evidenciar las bondades indicadas por las empresas. Todos los campos de las encuestas fueron validados con las empresas incluidas en el estudio.

La encuesta se dividió en cinco secciones: (1) plataforma computacional, (2) capacidad de los algoritmos de solución, (3) atributos y funciones del software, (4) aplicaciones y (5) información general de precios e instalación.

En la sección de la plataforma se encontró que los nueve productos de software son de carácter privado, aunque en algunos de ellos se ha contado con la participación de investigadores del ámbito académico. Es muy importante resaltar que el producto ofrecido por SINMAF LTDA., es resultado de investigaciones realizadas en Colombia, mientras que los productos restantes, son ofrecidos por representantes de compañías internacionales. Contar con un proveedor local puede facilitar la inclusión de particularidades de la realidad logística nacional.

Todos los productos evaluados operan en ambiente Windows, uno de ellos opera adicionalmente en ambientes de Linux, MacOS y en sistemas Web, y uno opera en sistemas ASP. Dos de los productos de software tienen la propiedad de ejecutarse en sistemas Cliente-Servidor, lo cual es deseable dada la necesidad de tener usuarios simultáneos del sistema en distintos nodos de la cadena de suministro.

Al respecto del tamaño de los problemas a resolver y los requerimientos en hardware, sólo uno de los productos tiene capacidades limitadas en el número de paradas, de vehículos, de bodegas, de productos y en el número de tipo de vehículos. Los siete sistemas restantes tienen capacidades ilimitadas en estos campos. Para solucionar problemas de tales tamaños, los proveedores usualmente recomiendan equipos de escritorio operando en el rango de 1.2 a 2.4 GHz., combinados con 512 Mb de RAM y rangos de 1 Gb a 40Gb de capacidad en

disco duro. Con estos requerimientos se resuelven los problemas en un rango de tiempo de 30 segundos a 30 minutos, dependiendo del número de paradas a secuenciar.

Los algoritmos que soportan las funciones de diseño de rutas de vehículos son, en general, desarrollo propio de las empresas proveedoras, y típicamente involucran el uso de métodos heurísticos. Por ejemplo los productos de OptiLogistic, Axiodis Estándar y Axiodis Profesional, utilizan la combinación de catorce algoritmos diferentes, en su mayoría meta-heurísticos. A pesar de que en la mayoría de los casos no se obtuvo respuesta específica sobre los tipos de algoritmos, SINMAF LTDA., explicó que en su producto Sinmaf Vehicle Router se utiliza la metodología MOANT (*MultiObjective ANT Colonies*) y SPEA II.

Dada la estructura de los algoritmos que se utilizan, dos empresas encuestadas argumentaron utilizar aproximaciones para reducir el tiempo computacional. OptiLogistic comentó que estos ajustes se hacen parametrizables para el usuario, mientras que SINMAF LTDA., agrega que si el problema es multi-depósito, se realiza un procedimiento "Cluster-Assign first, then Route", en el cual, se asignan primero las zonas de recolección y luego se secuencian las rutas.

De acuerdo con Hall (2006), los tiempos computacionales son particularmente importantes en las aplicaciones en tiempo real; por ejemplo, cuando las entregas son programadas cuando el cliente está haciendo el pedido o cuando las paradas son insertadas y programadas cuando el vehículo ya está haciendo el recorrido de recolección. Desafortunadamente, la mayoría de proveedores de software indican que aún no se usan aproximaciones para reducir los tiempos computacionales, lo que implica una oportunidad de investigación y mejoramiento.

Cinco de los nueve productos de software evaluados, permiten hacer el diseño de rutas sobre nodos y/o sobre arcos. Como indica Hall (2006), las rutas sobre nodos hacen referencia a la capacidad de asignar y secuenciar paradas discretas, mientras que las rutas sobre arcos, asignan y secuencian

segmentos de calles. El primer tipo es requerido más frecuentemente y ocurre cuando un vehículo visita cien o menos nodos por día. Las rutas sobre arcos son más especializadas y ocurre cuando un vehículo visita la mayoría o casi todas las direcciones de un segmento de cuadra, como por ejemplo las lecturas de acueducto, la entrega de correos o la recolección de basuras. Los productos de OptiLogistic, Smart Logistics S.A., SAIP LTDA. y SINMAF LTDA., permiten hacer los dos tipos de rutas, mientras que los productos de Procálculo Prosis y Servinformación trabajan sobre nodos.

Seis productos evaluados permiten programar paradas en tiempo real. Esta función es particularmente atractiva, pues brinda la posibilidad de hacer secuenciación de los vehículos en el momento de la ejecución, conforme se conoce la demanda de los clientes. Todos los productos de software permiten hacer una planeación y análisis de las rutas, mientras que sólo dos de ellos incorporan información del tráfico vehicular en tiempo real.

Complementando las funciones de diseño de rutas, los nueve productos evaluados permiten considerar prioridades de entrega, función que de acuerdo con los usuarios consultados, es vital cuando se establecen contratos de exclusividad de la flota vehicular para el despacho de mercancías y para cumplir las promesas de tiempos de entrega.

Los nueve productos evaluados utilizan dos o más criterios para secuenciar las rutas, siendo los más comunes la reducción de costos, del número de vehículos y la distancia, el cumplimiento de los horarios y la utilización de los vehículos. En su mayoría, la definición de las prioridades de los criterios al momento de secuenciar las rutas, se deja como una función que ajusta el usuario.

Al respecto de los atributos y las funciones que puede desempeñar el software de diseño de rutas, se encontró que las propiedades más deseables son la integración con los sistemas de información geográfica y la integración con sistemas de información de la cadena de suministro. Ocho productos ofrecen despliegue de tableros electrónicos y siete permiten hacer seguimiento

de los vehículos en tiempo real. Del mismo modo, ocho productos evaluados permiten integrar el software de ruteo con software de control de la cadena de abastecimiento. Procálculo Prosis fue específico, indicando que sus productos pueden interactuar con SAP.

Adicionalmente, la mayoría de los productos evaluados permiten asignar los conductores a los vehículos, dar instrucciones de ruteo giro a giro de acuerdo al sistema de calles, entregar el plan de cargue para los vehículos de acuerdo a las rutas y la demanda de los clientes, y evaluar las funciones de costos variables y fijos por cada ruta. Otra función relevante en los productos es la zonificación. Esta tarea, que en la mayoría de los casos debe realizarse antes de secuenciar las rutas, es un atributo que ofrecen los productos de OptiLogistic, Procálculo Prosis, Servinformación, SINMAF LTDA. y Deneb *Latin America* Ltda.

Los proveedores de software explican que sus productos son diseñados para servir un amplio rango de aplicaciones, la mayoría especializados en el sector industrial. A pesar de que el estudio se enfocó en desarrollos que permitieran secuenciar rutas en ámbitos urbanos y locales, la mayoría de los productos son útiles también para secuenciar rutas de larga distancia. Sin embargo, esta última función, de acuerdo con lo indicado por los usuarios de software y empresas transportadoras, no es utilizada debido a que el sistema de carreteras en Colombia es aún insipiente, y los tamaños de carga se destinan típicamente para visitar un sólo nodo.

La experiencia en procesos de implementación de los proveedores de software se evidencia en el completo listado de empresas usuarias de sus productos. Empresas como Nestlé, Carrefour, Coca-Cola, Proctor&Gamble, Fritolay, Kimberly, Adams, y Unilever entre otras, han implementado sistemas para el ruteo de sus vehículos de recolección y despacho, tanto a nivel nacional como a nivel internacional.

En la tabla de información general se presenta al final de los resultados se incluye la información de licencias, precios, asesoría y procesos de

implementación. Se ha incluido también, al final del documento, un directorio con la información de contacto de cada uno de los proveedores de software que participaron en el estudio. Del mismo modo, después del directorio de los proveedores de software con representación en Colombia (Anexo 1), se presenta el directorio de los proveedores de software internacionales contactados (Anexo 2), quienes a pesar de no contar con representación directa en el país, cuentan con la disponibilidad

y los recursos para apoyar un proceso de implementación en Colombia.

#### 4. Resultados de la caracterización de software para el diseño de rutas

A continuación se presentan las tablas (1 a 10) con los resultados de los campos evaluados en el estudio.

**Tabla 1.** Plataforma computacional requerida

Producto	Proveedor	Año de Introducción	Carácter del Software			Plataforma de soporte						Otro
			Privado	Académico	Mixto	Windows	Linux	MacOS	Web	Maqu. Paralelas	ASP	
ARC Logistics	Procalculo Prosis	2000	S	-	-	S	-	-	-	-	-	-
Axiadis Estándar	OptiLogistic	1991	S	-	-	S	-	-	-	-	-	-
Axiadis Profesional	OptiLogistic	1991	S	-	-	S	-	-	-	-	-	-
DataRutas	Servinformación	2000	S	-	-	S	S	S	S	-	-	-
Network Analyst	Procalculo Prosis	2005	S	-	-	S	-	-	-	-	-	Solaris
Roadnet Transportation Suite	Smart Logistics S.A. (UPS Logistics Technologies)	1983	S	-	-	S	-	-	-	-	-	-
Sinmaf Vehicle Router	SINMAF LTDA.	2006	S	-	-	S	-	-	-	-	-	-
SpicaR	Deneb Latin America Ltda.	2005	S	-	-	S	-	-	-	-	S	Servidor-Cliente y Web
TransCad	SAIP Ltda. - Caliper Corporation	1990	S	-	-	S	-	-	-	-	-	-

**Tabla 2.** Tamaño máximo de los problemas que resuelve el sistema

Producto	Capacidad máxima para solucionar problemas					Método de medición de la capacidad de vehículos	Computador			
	No. Paradas	No. Vehículos	No. Bodegas	No. Productos	No. Tipo Vehículos		Tipo de Procesador	Velocidad de Procesador	Memoria	Espacio en Disco Duro
ARC Logistics	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	Volumen, peso, número de entregas	Desktop Estándar	1.2 Gh	512	Depende de la implementación
Axiadis Estándar	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	Volumen, peso, packaging	Pentium IV	2.4 Gh	512	1 GB
Axiadis Profesional	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	Volumen, peso, packaging	Pentium IV	2.4 Gh	512	1 GB
DataRutas	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	Peso, volumen, cantidad de producto	Pentium IV	2.4 Gh	512	5 GB
Network Analyst	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	Se define por redes mediante JAVA	Desktop Estándar	2.0 Gh	512	Depende de la implementación
Roadnet Transportaion Suite	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	Peso	Depende de la implementación	Depende de la implementación	Depende de la implementación	Depende de la implementación
Sinmaf Vehicle Router	50.000	2.500	100	ilimitado depende de restricciones	ilimitado	Peso y volumen en forma explícita	Intel Centrino, AMD equivalente	> 1.6 GHz	> 512 MB	< 5 MB
SpicaR	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	Peso	Pentium III	> 1.6 GHz	256	Servidor
TransCad	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	Peso, unidades	-	-	512	40 GB

**Tabla 3.** Desempeño computacional

Producto	Tiempo Computacional	¿Qué tipos de algoritmos emplea?	¿Se utilizan aproximaciones para reducir el tiempo computacional?
ARC Logistics	10 - 30 min	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor
Axiadis Estándar	30 seg a 5 min promedio	Tiene 14 algoritmos diferentes, en su mayoría heurísticos	Es parametrizable por el usuario
Axiadis Profesional	30seg a 5 min promedio	Tiene 14 algoritmos diferentes, en su mayoría heurísticos	Es parametrizable por el usuario
DataRutas	10 min	-	-
Network Analyst	1 - 30 min	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor
Roadnet Transportaion Suite	< 1 Minuto - 1.7 GHz, 1.25 GB RAM	Algoritmos heurísticos	No se utilizan aproximaciones
Sinmaf Vehicle Router	Instancias Solomon = 3,5 min. Instancias de gran escala (50.000 nodos) = 25 min.	MOANT: MultiObjective ANT Colonies; SPEA-II	Si el problema es multi-depósito se realiza un procedimiento Cluster/Assign first, then Route
SpicaR	20 - 30 min	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor
TransCad	5 min	-	-

Tabla 4. Funciones de ruteo

Producto	Por nodos	Por arcos	Programación de paradas en tiempo real	Permite hacer ruteo diario	Planeación y análisis de ruteo	Incorpora información de tráfico en tiempo real	Diseño de viajes tipo "Multimodal"
ARC Logistics	S	-	N	S	S	N	N
Axiodis Estándar	S	S	S	S	S	N	N
Axiodis Profesional	S	S	S	S	S	N	S
DataRutas	S	-	S	S	S	S	S
Network Analyst	S	-	S Programable	S	S	S Programable	S
Roadnet Transportaion Suite	S	S	S	S	S	S	S
Sinmaf Vehicle Router	S	S	-	S	S	-	S
SpicaR	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor	S	S	S	N	S
TransCad	S	S	N	S	S	S	N

Producto	Considera prioridades de entrega	Cálculo de rutas considerando reglas de pausas	Reconstrucción automática de rutas existentes	Cálculo de mejoras obre rutas existentes	Simula cambios a planes propuestos y determina efectos sobre costos y servicios	Análisis de consolidación con despacho directo y Cross-Docking
ARC Logistics	S	S	S	S	S	N
Axiodis Estándar	S	N	N	N	S	N
Axiodis Profesional	S	S	S	S	S	S
DataRutas	S	N	S	S	S	N
Network Analyst	S	S	S	S	S	S Programable
Roadnet Transportaion Suite	S	S	S	S	S	S
Sinmaf Vehicle Router	S	-	S	-	-	S
SpicaR	S	S	S	S	S	S
TransCad	S	N	S	S	S	S

Tabla 5. Capacidad de los algoritmos

Producto	Utiliza		Si maneja varios criterios, ¿cómo los prioriza?	¿Cuáles criterios utiliza?					
	Un solo criterio	Dos o más criterios		Costo	Número de vehículos	Distancia	Cumplimiento de horarios	Atractivo visual	Otro
ARC Logistics	-	S	Todos los criterios se definen en función del costo	S	S	S	S	S	-
Axiadis Estándar	-	S	El usuario lo define	S	S	S	S	N	Utilización de vehículos
Axiadis Profesional	-	S	El usuario lo define	S	S	S	S	N	Utilización de vehículos
DataRutas	-	S	El usuario lo define	N	S	S	S	S	-
Network Analyst	-	S	El usuario lo define	S	S	S	S	S	Peso Seguridad
Roadnet Transportaion Suite	S	S	El usuario lo define	S	S	S	S	S	El usuario personaliza los criterios
Sinmaf Vehicle Router	-	S	Esquemas multi-objetivo puros mediante MOANT y MOGA's (SPEA-II)	S	S	S	S	-	Balace de Carga
SpicaR	-	S	El usuario lo define	-	S	S	S	-	-
TransCad	S	S	Se utiliza una función de varias variables	S	S	S	S	S	-

Tabla 6. Ventana de tiempo y disponible como plataforma que provee

Producto	Ventanas de tiempo			Disponible como plataforma que provee					
	¿El sistema acepta?		Si acepta ventas de tiempo flexibles: ¿cómo se especifican?	Despliegue de tableros electrónicos	Mensajes wireless al conductor	Seguimiento de vehículos en tiempo real	Scanner de Código de Barras	Software de la Cadena de Abastecimiento	Procesamiento de órdenes de clientes
	Ventanas de tiempo rígidas	Ventanas de tiempo flexibles							
ARC Logistics	S	S	% de cumplimiento	S	N	N	N	S SAP	S
Axiadis Estándar	S	S	Usuario define rangos	AxioMobil - AxioTrans	N	S	S	S	Se importan los pedidos
Axiadis Profesional	S	S	Usuario define rangos	AxioMobil - AxioTrans	N	S	S	S	Se importan los pedidos
DataRutas	-	S	Usuario define rangos	S	S	S	S	S	S
Network Analyst	S	-	-	S		Programable	N	S SAP	S
Roadnet Transportaion Suite	-	S	Factores de ventanas de tiempo	S		S	FleetLoader TM	S	S
Sinmaf Vehicle Router	-	S	Fronteras difusas	-	-	En investigación actual	En investigación actual	S	-
SpicaR	S	S	Usuario define rangos	S	S	S	S	S	S
TransCad	S	-	-	S	S	S	N	N	-



**Tabla 9.** Características especiales y empresas que utilizan el software

Producto	OTRAS CARACTERÍSTICAS ESPECIALES		EMPRESAS QUE UTILIZAN EL SOFTWARE	
	Otras características especiales	Innovaciones recientes en el sistema	Número de empresas que usan el software en Colombia	Instalaciones más significativas
<b>ARC Logistics</b>	Soporta recarga; soporta semillas. Parametrización de camiones	-	3: Nacional de Chocolates, Imbocar, EAFIT	-
<b>Axiadis Estándar</b>	-	Nuevo despliegue de ventanas, sistema de navegación	0	Nestle (recolección leche), Carrefour (Europa), Syngenta, Air Liquide, Total Fina Elf, Danone
<b>Axiadis Profesional</b>	-	Nuevo despliegue de ventanas, sistema de navegación	0	Nestle (recolección leche), Carrefour (Europa), Syngenta, Air Liquide, Total Fina Elf, Danone
<b>DataRutas</b>	-	-	Coltabaco, FritoLay, Almaviva, BAT, Adams, Casa Luker, Meals de Colombia, Huevos Oro, MacPollo, Pimpollo, Avinal, Colombina, Oxígeno de Colombia, Prebel	Kimberly (Ecuador, Perú, Argentina); Adams (latinoamérica), Unilever (Ecuador), Levapan (Ecuador)
<b>Network Analyst</b>	Plataforma abierta. Desarrollo a la medida. Ambiente de servidor	Software innovador desarrollado recientemente	-	-
<b>Roadnet Transportaion Suite</b>	Flexible y adaptable de acuerdo a los requerimientos del sistema del cliente	-	2: El Tiempo, Pernod Ricard	Coca-Cola, Proctor&Gamble, FritoLay. En proyecto 2007: Alpina, Postobón, Industria Avícola.
<b>Sinmaf Vehicle Router</b>	-	En investigación actual: (1) Meta-Raps para optimización automática de parámetros n los algoritmos. (2) Introducción de tecnología GPRS para posicionamiento y seguimiento en tiempo real.	1	-
<b>SpicaR</b>	Parametrizable. Fácil integración con otros sistemas de WMS, ERP	Se está implementado con sistemas de identificación RFID y sistemas de seguridad	-	-
<b>TransCad</b>	-	-	-	-

**Tabla 10.** Información general

Producto	Valor de la licencia monousuario	¿Permite usuarios simultáneos?	Costo adicional de usuarios simultáneos	¿La tarifa de la licencia incluye mapas de la región?	Marca de los mapas incluidos	Costo de soporte de instalación (\$/hora)	Horas promedio requeridas
<b>ARC Logistics</b>	US\$10.000 Contactar al proveedor	N	N	N	Desarrollo propio	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor
<b>Axiadis Estándar</b>	US\$ 20.000	N	-	S	Contactar al proveedor	Ya incluido	80 horas
<b>Axiadis Profesional</b>	US\$ 60.000	S	US\$ 16.500 o menos dependiendo de la cantidad	S	Contactar al proveedor	Ya incluido	80 horas
<b>DataRutas</b>	Contactar al proveedor	N	Contactar al proveedor	N	Desarrollo propio	Ya incluido	-
<b>Network Analyst</b>	Contactar al proveedor	S	N	N	Desarrollo propio	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor
<b>Roadnet Transportaion Suite</b>	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor	N	Se adquieren con GeoBis y MapInfo	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor
<b>Sinmaf Vehicle Router</b>	Contactar al proveedor	S	-	-	GEOBIS (actualmente, más no es excluyente)	-	-
<b>SpicaR</b>	Contactar al proveedor	S	-	Contactar al proveedor	Procálculo Prosis	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor
<b>TransCad</b>	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor	Contactar al proveedor

## Conclusiones y futuras oportunidades de investigación

El diseño de rutas de vehículos es una tarea de carácter táctico y operativo en el ámbito del transporte en las cadenas de suministro, cuya gestión es determinante en la eficiencia del sistema de distribución y recolección de cualquier empresa de producción de bienes y servicios. En este sentido, la secuenciación de las rutas que día a día ejecuta una flota de transporte, la cual en la mayoría de los casos es limitada y costosa, es una decisión que no puede asumirse como una tarea operativa, sino como una actividad que requiere planeación en el mediano plazo, y que debe estar soportada por métodos más evolucionados que la intuición y la experiencia operativa.

Las aplicaciones computacionales y los desarrollos de software, que involucran los múltiples componentes del sistema distribución de bienes y servicios, permiten dar soporte a las decisiones de diseño de rutas de los vehículos de una manera práctica, en la que mediante algoritmos sencillos y en algunos casos más elaborados, se le da solución a un problema que en la práctica actual, toma horas de dedicación de una o más personas, y que cada día se vuelve más complejo dadas las condiciones cambiantes del sistema logístico de transporte.

De este modo, es importante que las empresas transportadoras, los operadores logísticos y las empresas generadoras de carga que realizan su transporte, empiecen a considerar la implementación de aplicaciones computacionales que permitan darle soporte a las decisiones de secuenciación de vehículos, involucrando las variables complejas del sistema y sistematizando la experiencia práctica que se ha ganado. Sin embargo, la adquisición e implementación de estas herramientas usualmente implican altas inversiones de recursos, especialmente capital y tiempo, por lo que la decisión de iniciar un proceso de implementación de software de diseño de rutas, debe estar fundamentada en un estudio minucioso de las alternativas disponibles en el mercado, que al contrastarse con las necesidades específicas de cada empresa, permita identificar la mejor herramienta informática para tal función.

En este artículo se ha presentado una reseña del software para el diseño de rutas de distribución y servicios disponible en Colombia, que con base en la revisión de la literatura, la identificación de la gestión de transporte en sistemas logísticos y la investigación de las tendencias que reconocen expertos, asesores, investigadores y usuarios, brinda una caracterización de los productos de software para apoyar el diseño de rutas de despacho y recolección de carga y de pasajeros.

La reseña del software disponible en el medio, ha permitido identificar las fortalezas de este campo de estudio, así como las debilidades y las oportunidades de mejoramiento. Es interesante encontrar que en Colombia existen casi diez empresas que ofrecen los servicios de venta, implementación y seguimiento de herramientas informáticas para el diseño de rutas. Las plataformas y estructuras sobre las que se han desarrollado dichas herramientas están a la altura de los programas que se utilizan en diferentes empresas del mundo, y su funcionalidad se ha probado con implementaciones en varias empresas del país.

Como lo han mencionado expertos e investigadores en el área, así como proveedores internacionales de herramientas de software, la principal limitación para la implementación de sistemas computacionales para el diseño de rutas, es la carencia de mapas digitales y de información cartográfica de las regiones en las que se planean las operaciones de transporte. Sin embargo, aunque esta parezca ser la razón de fondo, el hecho de que el diseño de rutas aún se ejecute como

una tarea operativa en el muy corto plazo, hace que las empresas no logren reconocer todavía la necesidad de apoyar tales decisiones con metodologías y herramientas que permitan modelar y evaluar el complejo sistema de distribución local.

Esto se evidencia con el hecho que de la totalidad de los operadores logísticos y empresas transportadoras consultadas en el estudio, que son las que deben estar en la punta del desarrollo de la función de transporte, ninguna ofrezca herramientas de software de diseño de rutas, y menos del 10% utilicen tales herramientas. Este hecho refleja la situación de las operaciones de diseño de rutas en Colombia, y constituye una oportunidad de investigación y de mejoramiento para el sistema de transporte en general.

Como lo plantea Hall (2006), antes de adquirir e implementar un sistema para el diseño de rutas, es necesario que los gerentes logísticos y de transporte, desarrollen una serie de requerimientos para darle respuesta a los siguientes cuestionamientos: (1) Qué tan grande es el problema a resolver, medido en número de vehículos, paradas y terminales; (2) Qué tan frecuentemente será actualizada la solución del problema y qué tan rápido debe el software generar una solución; (3) Quién será el usuario del software, cuál es el mejor modo de presentar la información al usuario, y cuál será la localización geográfica de los usuarios; (4) Quién instalará y le hará mantenimiento al software; (5) Cuáles son los sistemas de software con los que el software de ruteo debe interactuar. De este modo, los proveedores de software deben demostrar su experiencia en la implementación de sistemas para el diseño de rutas, y deben proveer toda la información necesaria para apoyar la decisión de invertir o no en una herramienta de este tipo.

Finalmente, se han evidenciado las oportunidades de investigación que pueden ser abordadas por la comunidad académica, la comunidad de consultores y proveedores de software, o por equipos de trabajo que de manera conjunta, conjuguen la experiencia investigativa en métodos para la solución del VRP y sus variaciones, y la experiencia de implementación de sistemas informáticos en sistemas reales que incluyan todos los aspectos complejos del diseño de las rutas. Las oportunidades identificadas son las siguientes:

- Identificar las aplicaciones del VRP y sus variaciones en el ámbito internacional, y evaluar su aplicabilidad en el ambiente económico y geográfico de Colombia.
- Caracterizar las decisiones de ruteo de las empresas Colombianas, identificando las fortalezas y las oportunidades de mejoramiento, de modo que las nuevas investigaciones y desarrollos, se enfoquen en subsanar tales oportunidades.
- Evaluar las ventajas y desventajas que han identificado las empresas que ya han tenido la experiencia de implementar un sistema para el diseño de rutas, y reportar dichas experiencias para apoyar las decisiones de inversión en software de otras empresas.
- Cuantificar en términos financieros y de nivel de servicio, la bondad de implementar sistemas para el diseño de rutas, para justificar de manera integral las inversiones en este tipo de sistemas.
- Indagar por los sistemas de información geográfica disponibles en el país, fortalecerlos mejorando la calidad de la información cartográfica y establecer sistemas de georeferenciación de las direcciones.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar sus más sinceros agradecimientos a todas y cada una de las empresas proveedoras de software, tanto nacionales como internacionales, que participaron en el estudio, y colaboraron activamente en la reformulación de la encuesta, su aplicación y validación.

Agradecimientos también a Clarita María García Rúa, Directora Ejecutiva Nacional de Defencarga, quien brindó información valiosa para el estudio de las empresas transportadoras del país. A los operadores logísticos, empresas generadoras de carga y empresas transportadoras, por atender amablemente las solicitudes y responder a los cuestionamientos planteados.

Este trabajo se ha realizado gracias al co-financiamiento de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Antioquia, a través del Comité para el Desarrollo de la Investigación – CODI, y del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Antioquia. La financiación se ha hecho para el proyecto de investigación de menor cuantía MC05-1-09, de cuyos resultados se deriva este trabajo de investigación.

Finalmente, a los expertos investigadores, profesores universitarios, consultores y desarrolladores, cuya colaboración permitió construir el mapa de gestión de diseño de rutas en el país, e identificar los aspectos claves a tener en cuenta en la evaluación, selección, implementación y seguimiento de software para el ruteo de vehículos.

### Anexo 1

#### Directorio de proveedores de software de ruteo con soporte en Colombia

##### **Deneb Latin America Ltda.**

Calle 25F No. 85B-35 Piso 4  
Bogotá, Colombia.  
(+571) 429-7335 – 263-7566  
support@denebla.com  
<http://www.denebla.com/>

##### **Logística Consultoría e Integración S.A.**

**OptiLogistic**  
Carrera 43A No. 7 – 50A. Oficina 701. Torre  
Empresarial Dann.  
Medellín, Colombia  
(+574) 312-1289 – 268-4049  
logistica@logistica.net.co  
[www.logistica.net.co](http://www.logistica.net.co)

##### **Procalculo Prosis S.A.**

Carrera 12 90 20 Piso 6, Bogotá  
(+571) 638-7272 – 635-7260  
crc@procalculo.com  
[www.procalculo.prosis.com](http://www.procalculo.prosis.com)

##### **SAIP Ltda. - Caliper Corporation**

Bogotá, Colombia  
(+571) 610-7040 – 610 6760  
logistica@logistica.net.co [www.logistica.net.co](http://www.logistica.net.co)

##### **SERVINFORMACIÓN**

Diagonal 84 No.28-78. Bogotá, Colombia  
(+571) 256-2030 – 611-2375 – 611-3257  
servinformacion@servinformacion.com  
[www.servinformacion.com](http://www.servinformacion.com)

##### **SINMAF LTDA.**

Calle 80 No.42D1 - 30  
Barranquilla, Colombia  
(+575) 359-2492 – 359-6915  
gerencia@sinmaf.com.co [www.sinmaf.com.co](http://www.sinmaf.com.co)

##### **SMART Logistics S.A.**

Diagonal 109 No.19A - 35 Of.303.  
Bogotá, Colombia  
(+571) 602-1068 – 300-204-7803  
emiliotovar@cable.net.co

## Anexo 2

### Directorio de proveedores internacionales de software

#### AND Automotive Navigation Data

Van Vollenhovenstraat 3. 3016 BE  
Rotterdam, The Netherlands  
(+31) (0)10-885-1200 – (+31) (0)10-885-1240  
sales@and.com  
http://www.and.com

#### Forum Consultores S.A.

Saan Sebastian 2952 of 102 Las Condes,  
Santiago, Chile  
(+562) 495-8490 – (+562) 325-9830  
tvillalta@fov.com.cl

#### GIRO Inc.

75 Port-Royal Street East, suite 500  
Montreal, Quebec Canada H3L 3T1  
(514) 383-0404 – (514) 383-4971  
info@giro.ca  
http://www.giro.ca

#### ILOG Inc.

1080 Linda Vista Ave.  
Mt. View, CA 94043 USA  
(775) 881-2800 – (775) 881-2801  
info@ilog.com  
www.ilog.com

#### MJC2 Limited

33 Wellington Business Park.  
Crowthorne, Berkshire, RG45 6LS. UK  
(+44) 1344-760000 – (+44) 1344-760017  
info@mjc2.com  
www.mjc2.com

#### Optrak Distribution Software Limited

Princess Mary House 4 Bluecasts Ave.  
Hertford SG13 7AT, UK  
(+44) 01-992-41000 – (+44) 01-992-411001  
vrs-sales@optrak.co.uk  
www.optrak.co.uk

#### RouteSmart Technologies, Inc.

8850 Stanford Blvd. Suite 2600, Columbia.  
Maryland, United States  
(410) 290-0226 – (410) 290-0334  
info@routesmart.com  
www.routesmart.com

#### Trapeze Group

5800 Explorer Drive, 5th Floor  
Mississauga, ON L4W 5L4. CANADA  
(905) 629-8727 – (905) 238-8408  
info@trapezegroup.com  
http://www.trapezegroup.com

## Bibliografía

Adenso-Díaz, Belarmino, González, Mónica y García, Emerita (1998). "A Hierarchical Approach to Managing Dairy Routing". En: *Interfaces*. Vol. 28. pp. 21-31.

Baker, E.K. (2001). "Evolution of Microcomputer-Based Vehicle Routing Software". En: *The vehicle Routing Problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics – SIAM. pp. 353-361.

Ball, Michael O. y Datta Anindya (1997). "Managing operations research models

for decision support systems applications in a database environment". En: *Annals of Operations Research*. Vol. 72. pp. 151-182.

Ballou, Ronald H. (2004). *Business Logistics / Supply Chain Management*. (5 ed). New Jersey: Prentice Hall.

Basnet, Chuda, Les Foulds y Magid Igbaria (1996). "Fleet Manager: a microcomputer-based decision support system for vehicle routing". En: *Decision Support Systems*. Vol. 16. pp. 195-207.

- Belenguer J. M., E. Benavent y C. Martínez (2005). "RutaRep: a computer package to design dispatching routes in the meat industry". En: *Journal of food engineering*. Vol. 70. pp. 435-445.
- Blakeley, F., B. Bozkaya, B. Cao, y J. Knolmayer (2003). "Optimizing periodic maintenance operations for Schindler Elevator Corporation". En: *Interfaces*. Vol. 33. pp. 67-79.
- Evans, Steven y John P. Norback (1985). "The Impact of a Decision-Support System for Vehicle Routing in a Foodservice". En: *Supply Situation. The Journal of the Operations Research Society*. Vol. 36. pp. 467-472.
- Faulin, Javier, Pablo Sarobe y Jorge Simal (2005). "The DSS LOGDIS Optimizes Delivery Routes for FRILAC's Frozen Products". *Interfaces*. Vol. 35. pp. 202-214.
- Fölsz F, C. Mészáros y, T. Rapcsák (1995). "Distribution of gas cilindres". En: *European Journal of Operational Research*. Vol. 87 . pp. 613-623.
- Hall, Randolph (2006). "Vehicule Routing: On the Road to Integration. 2006 survey of vehicle routing software spotlights critical supply chain management role". En: *OR/MS Today*. Vol. 33. No. 3. <[http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Vehicle\\_Routing/vrss.html](http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Vehicle_Routing/vrss.html)> (Consulta: Febrero de 2007)
- Kolli S. S.; Damodaran, P. S. y Evans, G. W. (1993). "Geographic information system based decision support systems for facility location, routing, and scheduling". En: *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 25. No. 1-4. pp. 369-372.
- Matsatsinis, Nikolaos F. (2004). "Towards a decision support system for the ready concrete distribution system: A case of a Greek company". En: *European Journal of Operational Research*. Vol. 152. pp. 487-499.
- Poot, A.; Kant, G. y Wagelmans A. P. (2002). "A savings based method for real-life vehicle routing problems". *Journal of the Operational Research Society*. Vol. 53. pp. 57-68.
- Pons Seguí, J. M. et. al.. (2003). "La planificación de rutas de transporte escolar a través de un SIG: El proyecto SIGTEBAL". En: *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*. Vol. 3. pp. 58-76.
- REVISTA DINERO. *Transporte*. No. 255. <[http://www.dinero.com/wf\\_InfoArticulo.aspx?IdArt=25848](http://www.dinero.com/wf_InfoArticulo.aspx?IdArt=25848)> (Consulta: agosto de 2006).
- Ruiz, Rubén; Maroto, Concepción y Alcaraz, Javier (2004). "A decision support system for a real vehicle routing problem". En: *European Journal of Operational Research*. Vol. 153. pp. 593-606.
- Sahoo, Surya et. al. (2005). "Routing Optimization for Waste Management". En: *Interfaces*. Vol. 35. pp. 24-36.
- Salim, Vivian y Marquez, Leorey (2001). "An Intelligent assistant for fleet management using Microsoft excel". En: *23rd Conference of Australian Institutes of Transport Research*. pp. 1-11.
- Tarantilis, C.D.; Kiranoudis, C.T. y Markatos, N.C. (2002). "Use of the BATA algorithm and MIS to solve the mail carrier problem". En: *Applied Mathematical Modelling*. Vol. 26. pp. 481-500.
- Tarantilis, C.D.; Kiranoudis, C.T. y Diakoulaki, D. (2004). "Combination of geographical information system and efficient routing algorithms for real life distribution operations". En: *European Journal of Operational Research*. Vol. 152. pp. 437 - 453.
- Weigel, D. y Cao, B. (1999). "Applying GIS and OR Techniques to Solve Sears Technician-Dispatching and Home Delivery Problems". En: *Interfaces*. Vol. 29. pp. 112-130.