

DEMOSTRACION VISUAL DE UN SISTEMA DE LOGISTICA PARA TRANSPORTE Y RUTAS

Joaquín A. PACHECO BONROSTRO

Alberto ARAGON TORRE

Justo DEL OLMO ARIAS

E.U.E. Empresariales de Burgos

Cristina R. DELGADO SERNA

Desarrollos en Optimización y Decisión S.L.

1.- INTRODUCCION

En la exposición de esta comunicación se pretende mostrar el funcionamiento de algunos de los sistemas de optimización de rutas desarrollados por los firmantes de este trabajo para dar solución a los problemas de minimización de costes en las operaciones de transporte de las empresas. Estos sistemas incorporan las aportaciones científicas y técnicas desarrolladas por los autores durante los últimos tres años y que han venido reflejadas en diferentes publicaciones, comunicaciones científicas en Congresos y tesis doctorales. (Ver referencias).

El trabajo se estructura de la siguiente manera: en primer lugar se habla sobre las características y objetivos de los sistemas de rutas en general, así como algunas referencias de los beneficios que estos han conseguido en diferentes empresas de Estados Unidos en los últimos quince años; a continuación se habla de los algoritmos o técnicas de solución de los diferentes modelos de rutas que constituyen la base del éxito de la aplicación de estos sistemas, además se mencionan las principales técnicas desarrolladas por los autores; finalmente se describen las características principales de los sistemas que presentan los autores, su utilidad y los requisitos técnicos para su funcionamiento.

2.- LOS SISTEMAS DE LOGÍSTICA ¿QUÉ SON Y QUE PRETENDEN?

Los sistemas de logística para transporte y rutas son aquellos destinados a dar solución al problema de rutas de vehículos de una empresa o grupo de empresas con el fin de optimizar sus recursos.

Sin entrar en detalle, los problemas que habitualmente debe solucionar el sistema son los siguientes:

- Determinar el número de vehículos a usar
- Asignar los diferentes puntos de visita a cada uno de los vehículos
- Determinar la ruta a seguir por cada vehículo, lo que incluye además el establecer los tiempos previstos de llegada a cada punto, con los correspondientes márgenes.

Para resolver este tipo de problemas se tienen en cuenta, habitualmente los siguientes aspectos:

Entorno Geográfico donde se sitúa el problema a tratar: Rural, Urbano, Interurbano,... Además se deben tener en cuenta aspectos tales como la presencia de direcciones prohibidas, la posible aparición de tramos de calles o carreteras bloqueados temporalmente o la presencia de semáforos o limitaciones de velocidad, etc...

También se debe incluir en este punto la calidad de las carreteras o caminos usados, así como la preferencia del usuario del sistema por un determinado tipo de camino: carreteras nacionales, comarcales, autopistas, autovías,...

Aspectos Temporales: En este punto hay que hacer especial mención a lo que se conoce como Ventanas de Tiempo, es decir los diferentes horarios de trabajo en cada uno de los puntos de visita. Además se deben considerar también los tiempos de espera en cada punto, tiempos de carga o descarga -dependiendo de la actividad-, descansos, etc...

Aspectos Laborales: Referidos principalmente al conductor, como el tiempo máximo de conducción, tiempo requerido de descanso, mercancía que esta autorizado a llevar, etc...

Características de los Vehículos a usar: Carga máxima que puede transportar, (total y para cada tipo de mercancía), tipo de combustible que usa, compatibilidad entre los diferentes tipos de mercancía a lo largo del trayecto.

Entre las diferentes objetivos que se consiguen con estos sistemas, enumeremos los siguientes:

- Optimización del número de vehículos a usar.
- Minimizar la distancia total recorrida por los vehículos.
- Minimizar el tiempo total empleado por cada vehículo.
- Minimizar el tiempo total de conducción de cada transportista.
- Minimizar el coste total de la operación, incluyendo en este todos los puntos anteriores...

3.- BENEFICIOS Y VENTAJAS QUE SE OBTIENEN CON SU EMPLEO

Todos estos objetivos junto con los aspectos anteriores a considerar, y muchos más que sería prolijo de enumerar, hacen que la complejidad de los problemas de rutas que resuelven estos sistemas sea muy alta. Por consiguiente, es casi imposible hallar la solución óptima, ni si quiera una relativamente próxima, de forma manual o con procedimientos rutinarios y los ahorros que se pueden conseguir cuando se usa un sistema de estas características son enormes, sobre todo en empresas que usan el transporte de forma habitual.

A continuación se muestran algunos ejemplos de ahorros y beneficios de empresas que han usado de estos sistemas en Estados Unidos y Canadá en los años ochenta. Para la comprobación por el lector de la veracidad de estos datos mencionamos también las fuentes de donde han sido obtenidos. Se hace constar igualmente que este tipo de datos es muy difícil de conseguir ante el hermetismo de las propias empresas usuarios de estos sistemas.

AHORROS Y BENEFICIOS DE ALGUNAS APLICACIONES

Referencia: Brown y otros.

Naturaleza de la actividad: Distribución de productos derivados del petróleo. Sistema de expedición de vehículos

Tamaño del problema: 430 vehículos; 50.000 demandas al mes; 120 terminales.

Ahorros y Beneficios:

Ahorros de 2 a 3 millones de dolares en gastos operativos

Ayuda a las decisiones sobre política de reparto

Política standard entre los despachantes

Reemplazamientos de tres centros de operaciones manuales por uno automatizado.

Referencia: Bell y otros.

Naturaleza de la actividad: Distribución de gases industriales por todo EE.UU.

Tamaño del problema: 340 vehículos; 3500 clientes; 23 depósitos.

Ahorros y Beneficios:

Ahorros del 6 a 7'5 % en el promedio, o de 1'5 a 1'7 millones de dolares en 16 depósitos
Mejor utilización del equipo.

9% aumento de millas por galón de combustible utilizado

Incremento del 1'3 % en el radio de reparto.

Referencia: Fisher y otros.

Naturaleza de la actividad: Distribución de equipos clínicos y suministros

Tamaño de la ruta: 50 rutas; 1.500 clientes (en 1000 ciudades); 2 plantas y 5 depósitos.

Ahorros y Beneficios:

15% de reducción en gastos de entrega

Modelo usado para facilitar la estrategia de localización.

Referencia: Belardo y otros.

Naturaleza de la actividad: Distribución de mercancías a almacenes establecidos.

Tamaño del problema: 7.000 almacenes.

Ahorros y Beneficios:

35 rutas sirviendo a 1.500 puntos, con ahorro para cada ruta.

Reducción del coste de una ruta a 1.000 dólares.

Referencia: Yano y otros.

Naturaleza de la actividad: Entrega de mercancías a almacenes al por menor.

Tamaño del problema: 11 camiones; 40 almacenes; 1 depósito.

Ahorros y Beneficios:

Ahorros estimados de 450.000 dolares en 1.986

Reducción de la cantidad de movimientos de mercancías en el almacén

Referencia: Bartholdi y otros.

Naturaleza del problema: Distribución de comida a ciudadanos mayores.

Tamaño del problema: 4 vehículos; 200 clientes.

Ahorros y Beneficios:

Reducción de viajes en un 13%

Reducción de costes tecnológicos al mínimo

Permitir la construcción de rutas nuevas.

Referencia: Evans y Morback.

Naturaleza de la actividad: Operaciones de reparto a empresas de alimentación.

Tamaño del problema: De 13 a 18 vehículos; de 150 a 250 clientes al día; 1 depósito.

Ahorros y Beneficios:

Costes variables con ahorro del 10 % aproximadamente

Posibles mayores ahorros, si los clientes pueden ser reasignados entre ruta y ruta.

Otras referencias más recientes sobre los beneficios del uso de estos sistemas se pueden encontrar en número especial de Marzo de 1.992 de la revista Interfaces dedicada a este punto.

4.- ASPECTOS TÉCNICOS. LOS ALGORITMOS DE RUTAS DE VEHÍCULOS

El corazón de los sistemas de diseño de rutas y planificación de transporte es, fundamentalmente el desarrollo de un algoritmo o técnica de solución adecuada a las características de los problemas que trata de abordar el sistema.

En este sentido, el campo de Rutas de Vehículos se ha distinguido por una relación altamente exitosa entre las técnicas algorítmicas y el desarrollo de sistemas de rutas y transportes efectivos para la industria. Como consecuencia en la última década se ha desarrollado una gran cantidad de experiencias con rutas de vehículos.

Por una parte, los investigadores operativos, incluso los que realizaban un trabajo meramente académico, han ido más allá del simple diseño y desarrollo de algoritmos pasando a jugar un papel importante en la programación de sistemas de rutas. Por otro lado, el desarrollo de Hardware y Software para ordenador y, su incorporación a las actividades y operaciones comerciales han posibilitado un gran conocimiento de los potenciales beneficios de las técnicas de rutas de vehículos.

Dicho con otras palabras: la clave del éxito de las técnicas algorítmicas para rutas de vehículos, ha sido la captación e incorporación de características del mundo real y del entorno del problema real que se está tratando, sin que ello dificulte o impida su tratamiento mediante ordenador.

Muchos autores se han dedicado a desarrollar algoritmos de este tipo a lo largo de los últimos años. Podemos destacar los siguientes: GILLET & MILLER, GOLDEN, BOLDIN & BERMAN, CLARK & WRIGTH, CRHISTOFIDES & EILON, KROLACK & FELTS,...

Quizás, entre los más recientes, cabe destacar el desarrollado por FISHER & JAIKUMAR, con evidente éxito, y sus posteriores adaptaciones. (ver referencias).

Existen muchos artículos dedicados a recopilar los mejores algoritmos desarrollados hasta el momento. Entre estos trabajos se recomienda la lectura del trabajo de Assad y otros, (ver referencias).

Para finalizar este apartado destacar que no todos los algoritmos son igual de eficaces y las soluciones a las que dan lugar pueden ser muy diferentes. Por tanto la elección de un algoritmo

adecuado para el diseño del sistema es clave para que el usuario consiga ahorros y beneficios en su utilización.

5.- APORTACIONES PROPIAS

Durante los últimos tres años los autores hemos trabajado en el estudio de nuevos modelos y problemas de rutas, así como en el diseño de técnicas de solución propias a modelos ya existentes, y perfeccionamiento de otras técnicas. El objeto de estos estudios ha tenido como objetivos el tratamiento y modelización de problemas reales y el desarrollo de algoritmos eficaces para estos problemas, entendiendo como eficaz aquel algoritmo que da una solución óptima o muy cercana al óptima (desviación mínima), en un tiempo de computación razonable a las necesidades del usuario en cada sistema.

Estos estudios se han plasmado en diversos trabajos en los últimos años (comunicaciones a congresos y tesis doctorales). A continuación describimos un resumen de estas aportaciones propias a los sistemas de logística del transporte:

- Diseño de un algoritmo para la representación de una red de carreteras y caminos de grandes dimensiones; gracias al cual se pueden tratar problemas cuya entorno o marco geográfico incluya gran cantidad de cruces de carreteras, poblaciones, etc.,... en un tiempo de computación pequeño y con un gasto de memoria menor que los conseguidos hasta ahora. Lo cual permite tratar con datos reales y evitar el trabajo de simplificar la red (eliminar cruces o caminos, circunvalaciones).

- Desarrollo de una familia de algoritmos para los problemas de rutas con ventanas de tiempo. Se entiende por ventanas de tiempo los intervalos de tiempo o horarios en los que el vehículo debe llegar a cada localización, de forma que si llega antes del comienzo de la ventana debe esperar y nunca puede llegar más tarde que la finalización de dicha ventana. Estos algoritmos tienen la ventaja de que pueden adaptarse fácilmente a modelos más complejos, como modelos con carga y descarga simultánea o modelos con carga y descarga con preferencias obligatorias.

- Mejora de algoritmos ya existentes: como el de Held & Karp, en el que las modificaciones propuestas reducen enormemente el tiempo de computación, o el algoritmo de Beasley, en el que además de reducir el tiempo de cálculo se consigue obtener soluciones de

menor costo que con el algoritmo original, especialmente cuando se trata de minimizar el número de vehículos a usar.

- Estudio y desarrollo de técnicas de solución para modelos nuevos. Es decir modelos poco o nada tratados hasta ahora por otros investigadores, y en los que en cualquier caso no se habían propuesto hasta ahora técnicas de solución. Fundamentalmente estos nuevos modelos son los siguientes: el Problema de Carga y Descarga con sistemas de descarga LIFO, es decir diseñar rutas óptimas pero en las que solamente se pueda descargar la última mercancía que ha entrado en el vehículo; esta restricción se impone en muchas actividades, como distribución de gases industriales, o transporte de componentes de vehículo entre otras. Otro modelo que hemos estudiado es el que denominamos problema de Rutas con Partición de Demandas, donde se contempla la posibilidad de que cada punto de carga o descarga pueda ser servido por más de un vehículo. Este modelo es interesante sobre todo en actividades en las que se trata de minimizar el número de vehículos.

En cualquier caso una característica fundamental en los trabajos desarrollados es el tratamiento de problemas reales, no meramente teóricos, y diseño de técnicas de solución abiertas es decir que puedan ser adaptables fácilmente a las variaciones en el problema a tratar en cada momento por los usuarios sin que por ello se merme su eficacia.

6.- LOS SISTEMAS PROPIOS

Además de las características generales de los sistemas de rutas, antes mencionados, los desarrollados por los autores además cuentan con las siguientes:

Adaptabilidad a cada Problema. No se resuelve un problema standard. Se estudia el problema de cada empresa por separado, considerando todos los aspectos concretos que en él se incluyen. Esto hace que se adapten y modifiquen a dicho problema los algoritmos existentes dando lugar incluso al desarrollo de un procedimiento o procedimiento de solución totalmente nuevos.

Facilidad de Manejo. Aunque resuelven problemas complejos, estos sistemas llaman la atención porque, a diferencia de lo que se puede pensar, no hace falta saber casi absolutamente nada de informática o de programación matemática para su uso. La complejidad del problema se

ha resuelto mediante el desarrollo de estos sistemas. El usuario lo único que debe hacer es encender el ordenador, introducir los datos concretos de cada problema y esperar los resultados.

Entorno Amigable. La entrada y modificación de datos, así como la obtención de resultados se realiza mediante una serie de barras de menú, cuadros de diálogo y ventanas a los que se accede fácilmente bien con el teclado, bien con el ratón. Esto hace que la introducción de datos o la visualización de resultados sea rápida y agradable.

Incorporación de un modo Gráfico. Relacionado con lo anterior, se ha incorporado la posibilidad tanto de introducir los datos, como de visualizar los resultados de las rutas obtenidas, a través de un gráfico y mapas vectoriales con el plano del entorno geográfico donde se sitúa el problema.

- **Uso de gráficos y mapas vectoriales:** Gracias a la utilización de cartografía digitalizada adquirida al Centro Nacional de Información Geográfica. Lo que además permite utilizar distancias reales.

- **No necesitan grandes ordenadores para su utilización.** Estos sistemas se presentan en forma de programas o paquetes informáticos que pueden ser usados en cualquier ordenador personal. Las características mínimas del equipo necesario para el funcionamiento del sistema las cumple cualquier ordenador tipo compatible PC-AT con tarjeta gráfica VGA. En cualquier caso, también se puede estudiar su adaptación en otros tipo de ordenadores.

- **Uso de las estrategias de solución más eficaces.** Se esta trabajando constantemente en el estudio, adaptación, desarrollo e implementación de las técnicas más eficaces existentes en el momento. Es en este punto donde se han dirigido la mayor parte de nuestros esfuerzos por que es aquí donde el usuario puede sacar un máximo provecho de nuestros sistemas.

Posibilidad de Modificación de las Características generales de los Problemas. Estos sistemas incorporan la posibilidad de modificar, entre otros datos:

Los horarios de los diferentes puntos de visita.

Las velocidades: general y de cada tramo

La estructura de las carreteras o calles: Aparición de nuevos tramos, bloqueos de calles,...

Normativas laborales: como los tiempos de conducción, etc,....

7.- LOS SISTEMAS COMO HERRAMIENTAS DE DECISIÓN Y OPTIMIZACIÓN

Los sistemas calculan la solución, por medio de la estrategia de solución o algoritmo diseñado. La solución obtenida va a establecer:

- El número de vehículos a usar
- Los puntos a visitar por cada vehículo
- El orden de visita así como el recorrido exacto a realizar por cada vehículo
- Los horarios de salida, que vendrá determinado tanto por los horarios de recogida, como por el tiempo de producción de las mercancías demandadas
- Horarios de visita en cada punto de descarga, así como en cada uno de los puntos de paso establecidos en la red con los correspondientes márgenes

Relacionado con lo anterior, es importante señalar que el sistema no solamente está pensado para dar una solución óptima a cada problema concreto en las diferentes situaciones, sino que además se puede utilizar como un "soporte" o herramienta de cara a la toma de decisiones en estudios logísticos posteriores.

Más concretamente, la empresa podría estudiar si le interesa contratar vehículos más caros pero de más capacidad, resolviendo los problemas de transporte variando la capacidad y comprobando los resultados; o bien podría estudiar hasta que punto podría ampliar los horarios de recogida en las diferentes delegaciones o puntos de entrega, etc...

A continuación se expone una lista de los diferentes parámetros que se podrían modificar y sobre los cuales se podrían hacer estudios para la toma de decisiones:

- Horarios máximos de llegada de los vehículos
- Tiempos de conducción (dentro de los límites legales)
- Horarios y tiempos de recogida y entrega en los destinos
- Localizaciones de los orígenes y destinos
- Capacidades y características de los vehículos
- Posibilidad de particionar las demandas
- Relación del transporte con las actividades de Producción, Almacenamiento y Stockage..

8.- REFERENCIAS TÉCNICAS

Los sistemas, así diseñado, constan de más de 10.000 líneas de programación propias en BORLAND PASCAL 7.0, a través del desarrollo de más de 200 procedimientos exclusivamente propios. Se han compilado en un fichero ejecutable bajo DOS que va acompañado de varios ficheros de datos en donde se recogen los detalles de la red de carreteras del entorno geográfico que estamos tratando: distancias, puntos de visita y de corte. Además se ha incorporado un grupo de ficheros destinados a mejorar la presentación del modo gráfico.

9.- REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

ALVAREZ LASTRA, G.

"Racionalización y Optimización del Transporte"

Fundación CONFEMENTAL. Curso: La Función del Transporte. 1.992

ARAGON, A.

"Un Modelo de Rutas con Partición de Demandas"

VIII Congreso de ASEPELT-ESPAÑA, PALMA DE MALLORCA 1994.

ARAGON, A. y PACHECO, J.

"Desarrollo de Algoritmos Heurísticos Mejorados para el TSP"

VI Congreso de ASEPELT-ESPAÑA, GRANADA 1992.

ARAGON, A. y PACHECO, J.

"Desarrollo de Algoritmos para el TSP con Ventanas de Tiempo"

III Congreso de Economía Regional de Castilla y León. Segovia. 1.992.

ARAGON, A. y PACHECO, J.

"Nuevos Criterios de Parada para Algoritmos de Rutas"

VI I Congreso de ASEPELT-ESPAÑA, CADIZ 1993.

ARAGON, A., PACHECO, J. y OLMO, J.

"Aspectos Computacionales de la Representación de Redes de Grandes Dimensiones en los Sistemas de Rutas".

VII Congreso de ASEPELT-ESPAÑA, CÁDIZ 1992.

ASSAD, A.A., and GOLDEN, B.L. (eds.)

"Vehicle Routing Problem. Methods & Studies".

Nort-Holland (1.988).

BARTHOLDI, J., PLATZMAN, L., COLLINS, R. and WARDEN, W. (1.983)

"A Minimal Technology Routing System for Meals on Wheels".

Interfaces, 13 (3), 1-8.

BELARDO, S., DUCHESSI, P. and SEAGLE, J. (1.985)

"Microcomputer Graphics in Support of Vehicle Fleet Routing".

Interfaces, 15 (6), 84-92.

BELL, W., DALBERTO, L., FISHER, M., GREENFIELD, A., JAIKUMAR, R.,

MACK, R. and PRUTZMAN, P. (1.983)

"Improving the Distribution of Industrial Gases with On-Line Computerized Routing and Scheduling System".

Interfaces, 13 (6), 4-23.

BROWN, G., ELLIS, C., GRAVES, G. and RONEN, D. (1.987).

"Real-Time Wide Area Dispatch of Mobil Tank Trucks".

Interfaces, 17, (1), 107-120.

DELGADO, C. y PACHECO, J.

"Implantación de los Sistemas de Logística. Logística del Transporte".

VIII Congreso de ASEPELT-ESPAÑA, PALMA DE MALLORCA 1994.

EVANS, S. and NORBACK, J. (1.985)

"The Impact of a Decision-Support System for Vehicle Routing in a Food Service Supply Situation".

J.Operational Research Society, 36, 467-472.

FISHER, M., GREENFIELD, R., JAIKUMAR, R. and LESTER, J. (1.982)

"A Computerized Vehicle Routing Application".

Interfaces, 12 (4), 42-52.

FISHER, M.L. and JAIKUMAR, R. (1.981)

"A Generalized Assignment for Vehicle Routing".
Networks. Vol. 11, nº 2. John Wiley & Sons.

GOLDEN,B.L. and BODIN,L.D. (1.981)
"Clasificación in Vehicle Routing & Scheduling"
Networks. Vol. 11, nº 2. John Wiley & Sons.

OLMO,J. y PACHECO,J.
"Modelización de un Problema de Logística".
VI Congreso de ASEPELT-ESPAÑA. Granada. 1.992.

OLMO,J. y PACHECO, J.
"Desarrollo de Un Sistema de Planificación de Rutas. Aplicación a Polígonos Industriales de Burgos".
III Congreso de Economía Regional de Castilla y León. Segovia. 1.992.

PACHECO,J.
"Modificaciones en el Algoritmo de Held & Karp".
XXI Congreso de Estadística e Investigación Operativa. Calella 1994.

PACHECO,J.
"Problemas de Ruta con Carga y Descarga en Sistemas LIFO".
XXI Congreso de Estadística e Investigación Operativa. Calella 1994.

YANO,C., CHAN,T., RICHTER,L., CUTLER,T., MURTY,K. and
McGETTINGAN,D. (1.987)
"Vehicle Routing at Quality Stores".
Interfaces, 17 (2), 52-63.