

Características del diseño de rutas de distribución de alimentos en el Valle de Aburrá

Characteristics of vehicle routing for food distribution in Aburra's Valley

Andres Felipe Correa, Héctor Manuel Gómez, Jhon Fredy Loaiza, Diana Catalina Lopera, Juan Guillermo Villegas*

Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia, Apartado Aéreo 1226, Medellín, Colombia

(Recibido el 5 de octubre de 2007. Aceptado el 29 de enero de 2008)

Resumen

Este artículo reúne los hallazgos de un estudio que caracteriza las decisiones de enrutamiento de las compañías de alimentos del Valle de Aburrá. Se consideran el tipo de decisiones que afrontan, las restricciones especiales que tienen, los objetivos que persiguen, las herramientas que manejan, y las ventajas y desventajas de los métodos que utilizan actualmente. Finalmente, se identifican las oportunidades que existen para mejorar la distribución en dichas compañías.

----- *Palabras Clave:* Diseño de rutas, logística, distribución

Abstract

This paper reports the results of a survey of vehicle routing decisions of food industries located in Aburra's Valle (Colombia). The survey includes the elements of the vehicle routing process: type of decisions, special constraints, goals, tools, advantages and disadvantages of the methods currently in use. Finally, some opportunities to improve the distribution process are identified.

----- *Keywords:* Vehicle routing, logistics, distribution.

* Autor de correspondencia: teléfono: + 57 +4 + 219 55 75, fax: + 57 +4 + 311 69 47, correo electrónico: hmgomez@udea.edu.co (H. M. Gómez)

Introducción

Teniendo en cuenta el aumento del precio de los combustibles y que el costo de transporte puede representar cerca del 50% del costo logístico total [1], se hace esencial la disminución de los costos de los procesos logísticos relacionados con el transporte [2]. Dicha disminución puede lograrse, administrando mejor los recursos existentes. Esta alternativa requiere, normalmente, herramientas especializadas tales como: tecnologías que permitan el seguimiento en tiempo real [3] y software para el diseño de rutas de distribución [4] entre otras. Una de las decisiones operativas que debe tomarse frecuentemente en la gestión del transporte, es el diseño de las rutas con las cuales se atiende la demanda de los clientes finales [5]. Uno de los factores claves de éxito, en la implementación de herramientas computacionales para el diseño de rutas, es el conocimiento de las particularidades de la situación que se aborda [6, 7]. No es lo mismo realizar rutas de recolección de basura, que rutas de repartición de periódicos o de distribución de alimentos [8] y por tanto, las herramientas deben ajustarse a las características de cada situación.

Este estudio, hace parte de un proyecto de investigación de mayor alcance [8], que busca caracterizar las decisiones de enrutamiento de las empresas del Valle de Aburrá, para identificar los problemas que afrontan, las restricciones especiales que tienen, los objetivos que persiguen y las herramientas que utilizan. De esta manera, en un proyecto futuro se busca diseñar modelos y métodos que puedan emplearse para apoyar las decisiones de enrutamiento de dichas compañías.

Tradicionalmente, las decisiones de distribución se han modelado matemáticamente usando el problema de rutas de vehículos con capacidad o VRP (de la sigla en inglés *Vehicle Routing Problem*), un problema de optimización combinatoria clásico de difícil solución [5]. Sin embargo, cuando se desea abordar situaciones prácticas, el VRP se aparta del modelo idealizado estudiado durante las últimas cinco décadas, para incorpo-

rar una serie de restricciones y características adicionales, tales como: limitación sobre la longitud y duración total del recorrido, horarios de entrega preestablecidos, precedencia o incompatibilidad entre clientes, múltiples bodegas, flota heterogénea, rutas periódicas, entregas y recogidas en la misma ruta, múltiples funciones objetivo, componentes estocásticos y dinámicos, vehículos con compartimientos o *trailer*, combinación con decisiones de inventario o localización, entre otras [2, 9 - 12].

La siguiente sección describe la metodología utilizada en el estudio. Posteriormente, se detallan los resultados obtenidos en cada una de las categorías del estudio. Finalmente, se enuncian las conclusiones y oportunidades de trabajo futuro.

Metodología

El estudio inició con la selección del sector al cual aplicar las encuestas y luego de revisar la literatura relacionada con la aplicación del problema de enrutamiento de vehículos en situaciones prácticas [13], se decidió realizar el estudio a las empresas de Alimentos del Valle de Aburrá, ya que es un sector en el que se espera se presenten varias de las restricciones adicionales del VRP tales como, ventanas de tiempo y flota heterogénea. Además, la distribución se realiza de manera frecuente a un tamaño considerable de clientes, especialmente cuando se atiende el canal tradicional: las tiendas de barrio.

Se seleccionaron 80 empresas de alimentos representativas del sector en la ciudad y se inició el contacto con las personas encargadas de la distribución de los productos para realizar la encuesta, de éstas empresas fue posible contactar 55, de las cuales accedieron a participar en el estudio 23. Las compañías analizadas están dedicadas a la producción y distribución de productos lácteos, cárnicos, de panadería y repostería, arepas, huevos, pasabocas y frutas procesadas. La encuesta se realizó por medio de entrevista personal con el fin de evitar errores de interpretación de conceptos y diligenciar el formato completamente; algunas encuestas se realizaron vía tel-

efónica y por correo electrónico, con verificación posterior para lograr que la información estuviese completa.

La encuesta está dividida en cuatro secciones: la primera se realizó con el objetivo de indagar sobre aspectos generales de la empresa como número de empleados, número de clientes atendidos y propiedad de las flotas, número de centros de despacho y herramientas y metodologías para el diseño de las rutas; una segunda parte permite identificar elementos y criterios de decisión importantes para las empresas en el momento del diseño de las rutas; la tercera parte está dedicada al *software* de enrutamiento y finalmente, una sección donde los encuestados identificaban las ventajas y desventajas del método que utilizan para tomar las decisiones de diseño de sus rutas. El formato se encuentra disponible en línea en la dirección electrónica <http://industrial.udea.edu.co/jgvillegas/LinksPresentacion/encuesta.pdf>.

Se realizó el análisis de las encuestas ejecutadas cruzando información importante de una sección con otras, para probar algunas hipótesis que se plantearon con la revisión de la literatura, tales como: la posibilidad de presentarse variantes importantes del VRP y el poco uso de herramientas avanzadas para el diseño de las rutas, entre otras.

Resultados por secciones

Generalidades de las empresas

La mitad de las empresas encuestadas, pertenece a la mediana empresa, mientras que un 35% son grandes empresas y el resto pertenece a la microempresa (las empresas han sido clasificadas según la ley Mipyme o ley 590 de julio 10 de 2000). Cuando se analiza la propiedad de los vehículos se encuentra que la mayoría de las empresas prefieren contratar el servicio de transporte; el 22,85% del total de vehículos, es propio y el 77,15% es contratado.

En la muestra se encontró que sólo en un 15% de las empresas, la totalidad de los vehículos son propios; un 25% contrata la totalidad del transporte y el resto, (60%) disponen de un transporte

mixto con vehículos propios y contratados. De las firmas que sólo tienen transporte propio, un 67% pertenecen a la mediana empresa, las demás a la pequeña empresa. Por su parte, las empresas que contratan en su totalidad la distribución de sus productos, se distribuyen así: un 40% corresponden a la pequeña empresa, igual porcentaje para la mediana empresa y un 20% para la gran empresa. En cuanto a la periodicidad con que se visitan los clientes encontramos que el 65,58% de los clientes son atendidos diariamente, un 17,33% dos veces a la semana, mientras que el 13,66% son visitados semanalmente. El porcentaje de los clientes que son atendidos quincenal y mensualmente, es menos representativo: 1,45% cada uno. Es importante anotar que las empresas tienen clientes a los que deben visitar con diferente periodicidad: un 85% de las empresas visitan algunos clientes diariamente, 40% dos veces a la semana, 35% de las empresas los visitan semanalmente, mientras que la visita quincenal y mensual se presenta en un 5% cada una. También, un 10% de las empresas no tiene periodicidad en la atención a sus clientes.

Las empresas utilizan diversos tipos de vehículos para la distribución de los alimentos en la ciudad; todas las compañías encuestadas reportaron la utilización de más de un tipo de vehículo, el 35% utiliza dos tipos de vehículos y el 30% tres tipos de vehículos; el 35% restante, utiliza 4 ó más tipos diferentes, tal como se ilustra en la Figura 1.

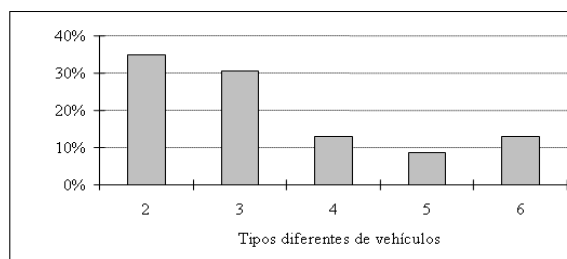


Figura 1 Tipos diferentes de vehículos utilizados por las compañías

Para efectos de análisis, los vehículos se agruparon de acuerdo con su capacidad de carga en diversas categorías: motos y motocarros; menos de

3 toneladas; más de 3 y hasta 6 toneladas; más de 6 toneladas. En la figura 2 se puede observar que los automotores más utilizados corresponden a la categoría de capacidad inferior a 3 toneladas con un 66,08% del total de vehículos, seguido en un 20,76% por los móviles con capacidad entre 3 y 6 toneladas. Por su parte, se encontró que vehículos con mayor capacidad (más de 6 toneladas) o poca capacidad de carga (motos y motocarros) se utilizan con menor frecuencia: 10,82% y 2,34% respectivamente.

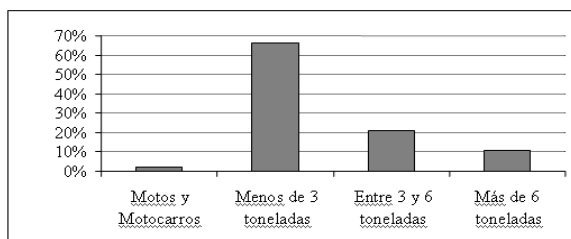


Figura 2 Tipos de vehículos utilizados en la distribución de alimentos

También se halló que el 80% de las empresas tienen un sólo centro de despacho. El 20% restante dispone de dos centros de despacho. Las empresas que tienen dos centros de despacho los utilizan de manera independiente, para atender desde cada uno un canal o una región diferente (por ejemplo, canal tradicional y grandes cadenas en lugares diferentes; o desde un centro de despacho el área metropolitana y desde el otro las demás poblaciones de Antioquia). Un 65% de las empresas diseñan diariamente las rutas en coincidencia con un alto porcentaje de clientes que deben atender diariamente. El diseño de las rutas semanal, mensual y semestralmente, es menos frecuente y corresponde a un 5%, 10% y 15% respectivamente. Se detectó que un 10% de las empresas diseñan las rutas con dos periodicidades: una de ellas lo hace diariamente y semanalmente y la otra diariamente y mensualmente.

Las revisiones y/o modificaciones a las rutas son practicadas diariamente por el 38,10% de las firmas, semanalmente lo hacen un 14,29% de ellas,

mientras que el porcentaje que lo hacen semestralmente baja a un 4,76. Un 42,86% de las empresas no hacen revisiones y/o modificaciones a las rutas. Un 5% de las empresas realizan revisiones y/o modificaciones a las rutas diaria y semanalmente a la vez. Las rutas de distribución diarias son 17 en promedio, con un máximo de 22 y un mínimo de 13. La desviación es muy alta (10,6) y ello da cuenta de la gran variabilidad de las rutas que tienen las empresas. Cada ruta atiende en promedio 26 clientes con una desviación igualmente alta de 22,30.

Un 95% de las empresas utilizan la zonificación de la ciudad para la elaboración de las rutas. La habilidad del conductor y utilización de un equipo de despachadores también es una técnica generalizada en el medio y la utilizan un 75% de las empresas, el trazado en mapas lo utilizan un 40% de las firmas, mientras que técnicas más sofisticadas como son el *software* para el diseño de rutas y sistemas de información geográfica son empleadas por el 20% de las empresas. También se encontró que las tablas dinámicas son utilizadas para la programación de las rutas por un 5% de ellas. En las compañías encuestadas, se encontró que, los costos de distribución como porcentaje del costo total representan en promedio un 14,5%, y pueden ir desde el 4% hasta un máximo de 35%.

Importancia de los criterios de decisión y elementos para el diseño de las rutas

Después de analizar los resultados obtenidos en las encuestas realizadas a las empresas de alimentos del Valle de Aburrá, se encontró que el criterio de mayor importancia para el 90% de las empresas es minimizar el número de pedidos tardíos; se halló que para el 75% de ellas es muy importante minimizar el costo y para el 25% es moderadamente importante; por su parte, minimizar el número de vehículos utilizados es muy importante para el 50%, moderadamente importante para el 35% y no es importante para el 15%; en cuanto a minimizar la distancia total recorrida encontramos que el 50% lo considera un criterio moderadamente importante, 30% muy importante

y para el 20% no es importante. Estos resultados se pueden observar en la figura 3.

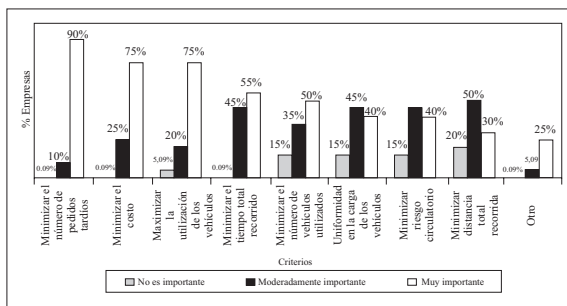


Figura 3. Importancia de los criterios de decisión en el diseño de rutas

Minimizar el tiempo total recorrido es muy importante para el 55% de las empresas y para el otro 45% es moderadamente importante. Maximizar la utilización de los vehículos es muy importante, moderadamente importante y poco importante para el 75%, 20% y 5% respectivamente. La uniformidad en la carga de los vehículos y la minimización del riesgo circulatorio son muy importantes para el 40% de las empresas encuestadas, moderadamente importantes para el 45% y poco importantes para el 15%. Además de los criterios propuestos, para algunas empresas es importante considerar otros aspectos para el diseño de las rutas, tales como: preservación cadena de frío, entrega de los pedidos completos y maximización del área de cubrimiento. Igualmente, se analizaron otros elementos, relacionados con las restricciones que deben considerar las empresas en el diseño de sus rutas.

En el momento de diseñar las rutas se encontró que para el 90% de las empresas del sector es muy importante tener en cuenta los horarios de atención preestablecidos por los clientes y que los vehículos regresen a las bodegas después de terminar las rutas, y para el 10% es moderadamente importante cada uno de estos elementos. La duración máxima de las rutas es muy importante para el 45%, moderadamente importante para el 50% y poco importante para el 5%. Las pausas para el descanso de la tripulación es un elemento moderadamente importante para el 50% de las

empresas, muy importante para el 20% y no es importante para el 30% de ellas.

Los tiempos de atención al cliente y que los vehículos puedan recoger productos en medio de una ruta (devoluciones) son dos elementos muy importantes para el 75%, moderadamente para el 20% y no es importante para el 5% de ellas; las restricciones legales que impiden el tránsito de los vehículos en ciertos horarios y zonas es 50%, 40% y 10% muy importante, moderadamente importante y poco importante, respectivamente. Las restricciones técnicas que impiden el tránsito o acceso de los vehículos en ciertos sectores es un criterio moderadamente importante para el 45%, muy importante para el 35% y poco importante para el 20%. Un elemento que resultó no ser importante, en el momento de diseñar las rutas, para el 70% de las empresas, es que un cliente pueda ser visitado por varias rutas, para el 20% y 10% es muy y moderadamente importante respectivamente. La incompatibilidad en la asignación de clientes es 30%, 25% y 45% poco, moderadamente y muy importante en su orden.

Otro elemento que no tiene importancia para el 50% de las empresas participantes del estudio es la preferencia en la asignación de clientes, para el 35% es muy importante y para el 15% restante es moderadamente importante. Por otro lado, la disponibilidad de los muelles de carga es muy importante para el 55%, moderadamente importante para el 25% y poco importante para el 20%.

El 65% de las empresas manifestó que es muy importante que los vehículos puedan hacer más de una ruta el mismo día, el 25% piensa que es moderadamente importante y para el 10% no es un elemento importante. La capacidad de los vehículos es muy importante para el 80%, el 15% dice que moderadamente importante y para el 5% no es importante. Finalmente, el número máximo de clientes atendidos en cada ruta es un elemento muy importante para el 75% de los encuestados, moderadamente para el 15% y no es importante para el 10%. Todos estos resultados pueden observarse en las figuras 4 y 5.

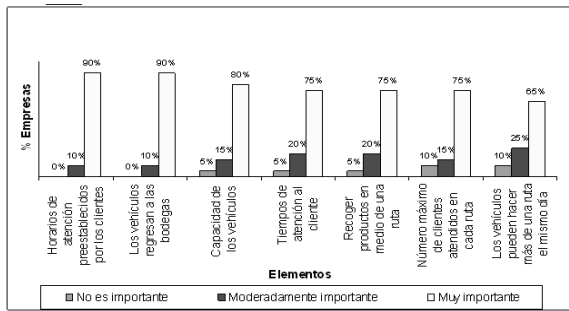


Figura 4 Restricciones para el diseño de rutas (1)

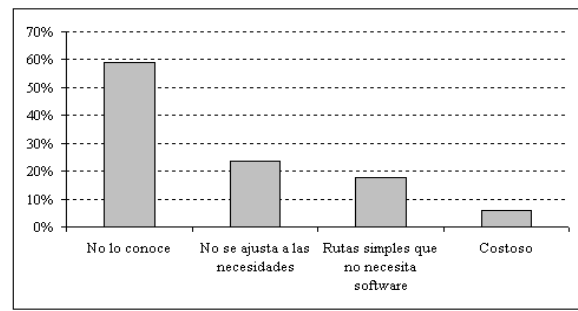


Figura 6 Razones para no usar software para el diseño de rutas (múltiples respuestas por encuestado)

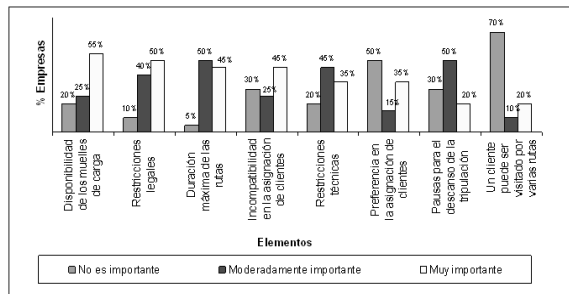


Figura 5 Restricciones para el diseño de rutas (2)

Utilización de software para el diseño de rutas

En la sección dedicada al *software* se encontró que el 80,95 % de las empresas no usan software ni herramientas avanzadas para el diseño de las rutas; de estas empresas el 58,8% porque no las conocen, el 23,53% porque las herramientas no se ajustan a las necesidades de las empresas, el 17,65% porque consideran que realizan una operación simple que no requiere de dichas herramientas y el 5,88% de ellas por costoso (véase figura 6). De las empresas que no tienen software, el 64,71% probablemente lo comprarían y un 17,65% están seguras de adquirirlo, mientras que las empresas que no lo comprarían, probablemente no lo comprarían y no responden son apenas un 17,64%. De las empresas que están dispuestas a comprar el software, el 70,6% no tienen una cifra clara de cuanto pagarían, debido a que no conocen referencias de precios en el mercado.

La mitad de las empresas que usan software o alguna herramienta para la gestión de las rutas de distribución, tienen a su disposición sistemas comerciales de *Mapinfo* [5] y la herramienta para diseño de rutas de *Satrack* [14]. La otra mitad usa desarrollos propios que se realizaron de acuerdo a las necesidades de las empresas. Aunque el software lleva en funcionamiento de 1 a 2 años en el 75% de las empresas y más de dos años en el 25% restante, el 75% de las empresas consideran que aún se encuentra en implementación. Los costos en los que han incurrido las empresas para tener este tipo de herramientas son muy diferentes: para el 25% la evaluación, desarrollo, implementación y puesta en marcha costó menos de 5 millones, para el 50% entre 5 y 10 millones y para el 25% restante costó más de 40 millones.

Es usual, que el software requiera actualizaciones, un 75% de las compañías las han requerido para cambiar la cartografía, conectarlo a los sistemas contables o para cambiar la información de los clientes. Para el 50% de las empresas el *software* se tuvo que adaptar a sus necesidades y en ninguna de ellas se necesitaron cambios en las operaciones para su implementación.

Entre las funciones que ofrecen estas herramientas se encuentra el diseño detallado de rutas (en el 75% de las empresas), planes de cargue (50%), programación de tripulaciones (25%), zonificación de clientes (100%), definición del tamaño de la flota (25%), selección de transportadores

(25%), modificación interactiva de rutas sugeridas por el software (50%) y creación manual de las rutas con ayuda de *software* (100%). Las salidas de las herramientas usadas son mapas (75%), listados de coordenadas (25%) y direcciones (100%) secuencias (75%) y otras tales como puntos de control en línea creados por el usuario y reportes para el manejo contable. Para el 75% de las empresas el *software* tiene posibilidades de interacciones con los sistemas servicio-cliente, sistemas de comunicación por telefonía móvil o programas de manejo contable.

Algunos de los beneficios obtenidos por las empresas que han implementado *software* han sido la disminución promedio de los costos de distribución, en un 35%. Asimismo, en el tiempo total de recorrido y de la distancia recorrida se encontró que el ahorro fue del 27,5%. En el número de pedidos entregados con retraso en un 20% y se ha logrado un aumento promedio en la utilización de los vehículos de un 12,5%.

Además de la disminución del tiempo de diseño de rutas en un 57,5%, también se encuentran beneficios tales como la disminución del personal dedicado al diseño de las rutas, balanceo entre las diferentes rutas y otros difíciles de cuantificar como la flexibilidad para el diseño de las rutas, la facilidad para la preparación de informes y análisis de costos y la disminución de la necesidad de labores de control.

Ventajas y desventajas

Cuando se indagó sobre las ventajas que ofrecía el método actual utilizado para el diseño de las rutas se encontró que, de un total de 42 respuestas, el 25% de las ventajas se encuentran relacionadas con la flexibilidad del método utilizado y la posibilidad de incorporar fácilmente información subjetiva; el 17% se refiere a la incorporación del conocimiento del personal involucrado (conductores, despachadores, etc.) en las operaciones al momento de elaborar las rutas, el 21% a la eficiencia en la distribución obtenida con el método

utilizado, el 12% habla de la facilidad y bajo costo del método actual de diseño de rutas, el 19% resalta la información y control que se tiene sobre la operación, resaltándose aquí que la mitad de las respuestas relacionadas con este tema son de empresas que utilizan algún tipo de software y finalmente un 5% que no es posible clasificar en alguna de estas categorías. La figura 7 resume estos resultados.

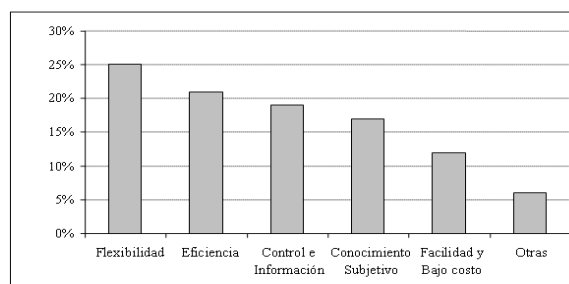


Figura 7 Ventajas del método actual para el diseño de rutas

En cuanto a las desventajas evidenciadas por las compañías (véase figura 8) se tiene que de 32 respuestas obtenidas el 27% de las desventajas se relacionan con pobre información y falta de control de la operación de distribución (de las cuales el 24,7% son en empresas que no usan software). El 22% de las desventajas se refiere a la dependencia de las decisiones en manos de personas y decisiones desestructuradas no sistemáticas. El 14% considera que hay ineficiencias en la operación (con un 11,2% de estas respuestas en empresas que no usan software); el 16% tiene dificultades para cumplir restricciones importantes como duración de la ruta y ventanas de tiempo de los clientes (de las cuales el 13,28% se presenta en empresas que no usan software). El 11% hace referencia a elementos inherentes a la operación no controlables en el diseño de rutas, como tercerización y entrega en períodos de tiempo cortos, un 8% a rigidez y poca flexibilidad del método empleado (en las empresas que usan software). Finalmente un 3% no fue posible clasificarlo en alguna de estas categorías.

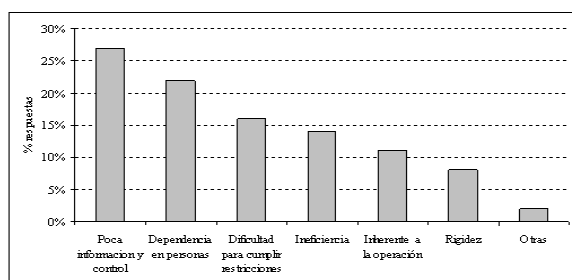


Figura 8 Desventajas del método actual para el diseño de rutas

Discusión, Conclusiones y Oportunidades

Al analizar los resultados de la encuesta, es claro que la distribución de los productos a los clientes finales es un proceso importante y rutinario de las compañías de alimentos de la muestra analizada, ya que la naturaleza de los productos exige que los clientes sean visitados muy frecuentemente (82,91% más de dos veces por semana). Esto hace que la distribución represente en promedio un 14,5 % del costo total del producto. La decisión de diseño de rutas de dichas compañías es bastante compleja, con flotas heterogéneas, con dos o más tipos de vehículos diferentes, contratados o de propiedad mixta (algunos contratados y otros propios). Otros elementos importantes que confluyen en esta decisión son la necesidad de respetar los horarios de entrega preestablecidos por los clientes, los tiempos de atención que se invierten en cada cliente, la posibilidad de recoger devoluciones, las restricciones de capacidad (medidas no solo en cantidad de productos que pueden transportar los vehículos sino también en el máximo de clientes que puede atender una ruta), la posibilidad de realizar varios viajes con un mismo vehículo en un día.

Los criterios que las compañías utilizan al momento de diseñar sus rutas son varios, pero los más significativos son: minimizar el costo, cumplir con las promesas de servicio entregando los pedidos a tiempo y maximizar la utilización de la flota. Sin embargo, aunque es una decisión

compleja e importante, son pocas las empresas que utilizan herramientas de *software* avanzadas; prefieren utilizar la zonificación de la ciudad y la experiencia de despachadores y conductores al momento de planear sus rutas (si es que efectivamente las planean), aunque saben que el método que utilizan actualmente es útil, ya que les permite incorporar la experiencia de las personas involucradas y es en general fácil y flexible, también reconocen que estos métodos les generan dependencia en las decisiones no sistemáticas ni sistematizadas de personas, que no les brindan un suficiente control de la operación ni la información que quisieran. Además, algunas veces les es difícil cumplir con algunas restricciones complejas como las ventanas de tiempo de los clientes y la duración total de las rutas.

Por su parte, las compañías que utilizan herramientas de *software* lo han comprado de proveedores externos o también han optado por realizar desarrollos propios que se acomodan a las particularidades de su operación. Estas herramientas les han generado ahorros importantes en los costos de distribución, disminución del tiempo total y de recorrida en las rutas; aumentos en el número de pedidos entregados a tiempo y la utilización de los vehículos. Además, reconocen la importancia del *software* para tener control de la operación y de la información a cambio de sacrificar esa flexibilidad antes mencionada. Sorprendentemente, la razón principal por la cual las compañías no tienen *software* es el desconocimiento de su existencia (58,8% de las empresas), y en principio, un alto porcentaje estarían dispuestas a comprarlo (82,36% de las empresas que no tienen *software*), aunque no tienen claro cuánto estarían dispuestas a invertir en su adquisición.

Este estudio evidencia algunas oportunidades importantes, trabajos como el realizado por Gutiérrez et al. [10] y Hall [11] cobran relevancia si se considera que la oferta de *software* para el diseño de rutas es poco conocida. Siendo una decisión importante, muchas compañías estarían dispuestas a invertir en herramientas que les ayuden a obtener las mejoras que otras sociedades ya han logrado con su implementación.

Desde el punto de vista investigativo, aparecen variantes enriquecidas del VRP que se apartan de la versión clásica para incorporar simultáneamente múltiples objetivos, flotas heterogéneas con propiedad mixta, entregas periódicas, ventanas de tiempo y medidas alternativas de capacidad. Variantes que deberían investigarse más a fondo con el fin de brindar a estas y otras compañías del sector estudiado, herramientas de optimización que les permitan mejorar sus operaciones de distribución.

Brindar apoyo sistemático al proceso de zonificación ampliamente difundido y posteriormente utilizar enfoques *agrupar primero – enrutar después* [15] pueden ser útiles en el desarrollo de herramientas simples para apoyar estas decisiones. Asimismo, las compañías analizadas valoran otros elementos adicionales, como la información y el control que se pueda tener de la operación, elementos que deberían considerarse en el diseño de herramientas de apoyo a este tipo de decisiones.

Agradecimiento

Los autores agradecen el apoyo del Departamento de Ingeniería Industrial y del Comité para el Desarrollo de la Investigación de la Universidad de Antioquia en el marco del proyecto MC050109.

Referencias

1. R. H. Ballou. *Business Logistics/Supply Chain Management*. 5ª ed. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey. 2004. pp. 14.
2. G. Hasle. *Heuristics for Rich VRP Models ROUTE 2003*. International Workshop On Vehicle Routing. Skodsborg. Denmark. 2003. www1.ctt.dtu.dk/route2003/presentations/Geir%20Hasle.ppt. Consultada el 15 de noviembre de 2007.
3. G. M. Giaglis, I. Minis, A. Tatarakis, V. Zaimpekis. "Minimizing logistics risk through real-time vehicle routing and mobile technologies: Research to date and future trends". *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. Vol. 34. 2004. pp. 749-764.
4. B. L. Golden, A. A. Assad, E. A. Wasil. "Routing vehicles in the real world: applications in the solid waste, beverage, food, dairy, and newspaper industries". *The vehicle routing problem*. 2002. Philadelphia: SIAM. pp. 245 – 286.
5. D. Riopel, A. Langevin, J. F. Campbell. "The Network of Logistics Decisions". *Logistics Systems: Design and Optimization*. New York. Springer. 2005. pp. 1-38.
6. A. G. Canen, R. D. Galvao. "The magic of the sharp end of VRP". *Logistics & Transport Focus*. Vol. 4. 2002. pp. 54-57.
7. A. G. Canen, L. G. Scott. "Bridging Theory and Practice in VRP". *Journal of the Operational Research Society*. Vol. 46. 1995. pp. 1-8.
8. A. F. Correa, H. M. Gómez, E. V. Gutiérrez, J. F. Loaiza, D. C. Lopera, J. G. Villegas. Diseño de rutas de distribución y servicios. <http://industrial.udea.edu.co/jgvillegas/Presentacion.htm>. Consultada el 12 de julio de 2007.
9. L. D. Bodin. "Twenty Years of Routing and Scheduling". *Operations Research*. Vol. 38. 1990. pp. 571-579.
10. E. V. Gutiérrez, J. D. Palacio, J. G. Villegas. "Reseña del Software Disponible en Colombia para el Diseño de Rutas de Distribución y Servicios". *Revista Universidad EAFIT*. Vol. 43. 2007. pp. 60-80.
11. R. Hall. *On the Road to Integration. OR/MS Today*. 2006. <http://www.lionhrtpub.com/orms/orms-6-06/fr-vehiclerouting.html>. Consultada el 17 de noviembre de 2007.
12. Industry Directions Inc. The energy cost factor Transforming the Supply Chain Strategy to Offset Margin Squeeze. <http://www.industrydirections.com/pdf/EnergyCostFactor2007.pdf>. Consultada el 15 de julio de 2007.
13. A. F. Correa, H. M. Gómez, J. F. Loaiza, J. G. Villegas. "Aplicaciones prácticas de los problemas de rutas de vehículos". *Reporte de Investigación, Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería – Universidad de Antioquia*. 2007
14. Satrack. *Sistema de ruteo, zonificación y detección de vehículos más cercanos a una dirección*. <http://www.satrack.com/ruteo.html>. Consultada el 18 de julio de 2007.
15. G. M. Laporte, J. Y. Gendreau, P. F. Semen. "Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem" *International Transaction in Operational Research*. Vol. 7. 2000. pp. 285-300.