

Distribución de Productos Congelados en la Ciudad de Bogotá: Decisiones desde lo estratégico hasta lo operativo

Maria A. Arenas-Yepes

Universidad de La Sabana, Chía, Cundinamarca, Colombia, Email: mariaarye@unisabana.edu.co

Jairo A. Palacios-Ospina

Universidad de La Sabana, Chía, Cundinamarca, Colombia, Email: jairopaos@unisabana.edu.co

Daniel J. Tirado- Flórez

Universidad de La Sabana, Chía, Cundinamarca, Colombia, Email: danieltifl@unisabana.edu.co

Carlos L. Quintero- Araújo

Universidad de La Sabana, Chía, Cundinamarca, Colombia, Email: carlosqa@unisabana.edu.co

ABSTRACT

The efficient distribution of products plays an important role in decision making process in an organization; the deficiency of planning and administrate routes, can lead to higher costs without meeting customer requirements. This problem is a type of "Capacitated, Multiple Depots VRP with Time Windows" which has the following characteristics: capabilities of vehicles, warehouses limited, time windows, customer demands, multiple warehouses and absolute prohibition to develop split deliveries. In order to find efficient routes, this project proposes evaluation from strategic to operational decisions. Firstly the modeling language for mathematical programming and optimization GAMS was used as solution method to acquire relevant information about which warehouses were necessary to open to serve customers. Besides, two heuristics were designed and assumptions were established for the development of route planning, which were compared across various indicators.

Keywords: Routing, Multiple Depots, VRP with Time Windows, Frozen Products Distribution.

RESUMEN

La distribución eficiente de productos, juega un rol importante en la toma de decisiones de una organización; la deficiencia en la planificación y administración de rutas puede llevar a una organización a incurrir en altos costos, y no cumplir con los requerimientos de los clientes. El problema es del tipo "Capacitated Multiple Depots VRP with Time Windows" el cual cuenta con las siguientes características: capacidades de vehículos establecidas, bodegas limitadas, ventanas de tiempo, demandas de clientes, múltiples bodegas y prohibición absoluta para desarrollar entregas fraccionadas. Con el fin de encontrar rutas eficientes, este proyecto plantea la evaluación desde las decisiones estratégicas hasta las operativas, estableciendo supuestos para el desarrollo. Primeramente, se empleó el lenguaje de modelación de programación matemática y optimización GAMS como motor de solución de las bodegas a abrir y los clientes a atender desde cada una de éstas. Asimismo, se diseñaron dos heurísticas para la planeación de rutas, y se compararon a través de varios indicadores.

Palabras clave: Ruteo, Deposito Múltiple, VRP con Ventanas de Tiempo, Distribución de Productos Congelados.

1. INTRODUCCIÓN

La planificación y gestión apropiada de los problemas de distribución de productos desde los depósitos a sus clientes finales, puede generar ahorros muy significativos para una compañía, debido a que, usualmente los costos de transporte pueden representar entre la sexta y la cuarta parte de las ventas y entre uno y dos tercios de los

costos logísticos totales (Ballou, 2004). Por esta razón, las empresas realizan grandes esfuerzos que les permiten disminuir los costos de transporte y además brindar un mejor servicio a sus clientes.

El presente trabajo se basa en una situación de toma de decisiones estratégicas, tácticas y operativas, determinando las ubicaciones de bodegas de almacenamiento de productos congelados en la ciudad de Bogotá; determinar la asignación de clientes a las bodegas abiertas y la programación de rutas que cumplan con las restricciones de demanda, capacidad de las bodegas y de los vehículos, ventanas de tiempo y prohibición de la entrega fraccionada. Para las decisiones estratégicas y tácticas se utilizó GAMS y la solución generada por éste fue usada como parámetro para las decisiones operativas, las cuales se trabajaron con las técnicas heurísticas.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se elabora una exploración de los de estudios realizados anteriormente y los enfoques empleados para resolver problemas de distribución. En las secciones 3 y 4 respectivamente, se establece el planteamiento del problema y se propone la metodología para resolverlo. La sección 5 está dedicada a presentar los resultados obtenidos con su respectivo análisis. La sección 6 contiene las conclusiones que el equipo de trabajo consideró importantes sobre el desarrollo del problema. Por último, se presentan las referencias utilizadas en el presente estudio.

2. ESTADO DEL ARTE

El problema de ruteo de vehículos (*Vehicle Routing Problem* o VRP, por sus siglas en inglés), es un problema de optimización combinatoria ampliamente estudiado y utilizado en Investigación de Operaciones, propuesto por Dantzig y Ramser en el año 1959 (Daza et al, 2009). Consiste en determinar un conjunto de rutas para una flota de vehículos que parten de uno o más depósitos o almacenes para satisfacer la demanda de varios clientes dispersos geográficamente en una región.

El objetivo principal del VRP es entregar la cantidad de productos necesarios para satisfacer la demanda de todos los clientes, minimizando el costo y tiempo total involucrado que generan las rutas y disponiendo de una flota de vehículos con una cierta capacidad de transporte.

El CVRPTW - VRPTW es una de las variantes más relevantes del VRP. Es un tipo de problema en el cual una flota con capacidad homogénea debe garantizar la atención a los clientes dentro de un horario que éste ha especificado previamente (ventana de tiempo), sin violar la capacidad de los vehículos, al menor costo posible. El CVRPTW, puede ser dinámico o estático, siendo la primera situación aquella en la cual la totalidad o la gran mayoría de los requerimientos de los clientes no son conocidos anteriormente sino que llegan a medida que se ejecuta el plan inicial de distribución (Ralphs et al, 2001).

Por otro lado, se han realizado trabajos sobre el diseño de un algoritmo genético híbrido para dar solución al problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo difusas (VRPFTW), característico porque las ventanas de tiempo pueden ser cumplidas de forma parcial y a este cumplimiento se le establece un nivel de servicio determinado (López, 2011).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema en estudio consiste en abrir las bodegas necesarias entre 10 posibles ubicaciones, denominados W1-W10, para el almacenamiento de papas a la francesa congeladas y definir qué clientes, de cuatro cadenas de supermercados, van a ser atendidos por cada uno de éstos. Ver Tabla 1.

Una vez determinado lo anterior, se deben programar las rutas de distribución para atender a los clientes, teniendo en cuenta las capacidades de las bodegas y vehículos, la prohibición de la entrega fraccionada, cumplimiento de las ventanas de tiempo y las demandas requeridas por los clientes, quienes pertenecen a cuatro cadenas comerciales en la ciudad de Bogotá. Para el caso en estudio es deseable, mas no imperativo, llegar dentro de la ventana de tiempo para garantizar los menores costos de operación, pues durante todo el descargue del vehículo este debe permanecer con el motor encendido y la refrigeración funcionando dadas las características del producto que se distribuye. Por tal motivo, no es necesario incluir una restricción adicional en el modelo de ruteo asociada

a las características del producto que se entrega, llevando a que el modelo puede servir tanto para productos congelados como no congelados.

Tabla 1: Codificación Por Puntos De Venta

Cadenas	Puntos
Cadena 1	C1-C10
Cadena 2	C11-C20
Cadena 3	C21-C25
Cadena 4	C25-C30

La Figura 1 presenta la dispersión geográfica de los puntos que deben ser abastecidos y la ubicación de las tres bodegas que se decidieron a abrir, es así cómo es posible visualizar los agrupamientos de clientes y conocer las distancias existentes entre los clientes y cada cliente con su bodega

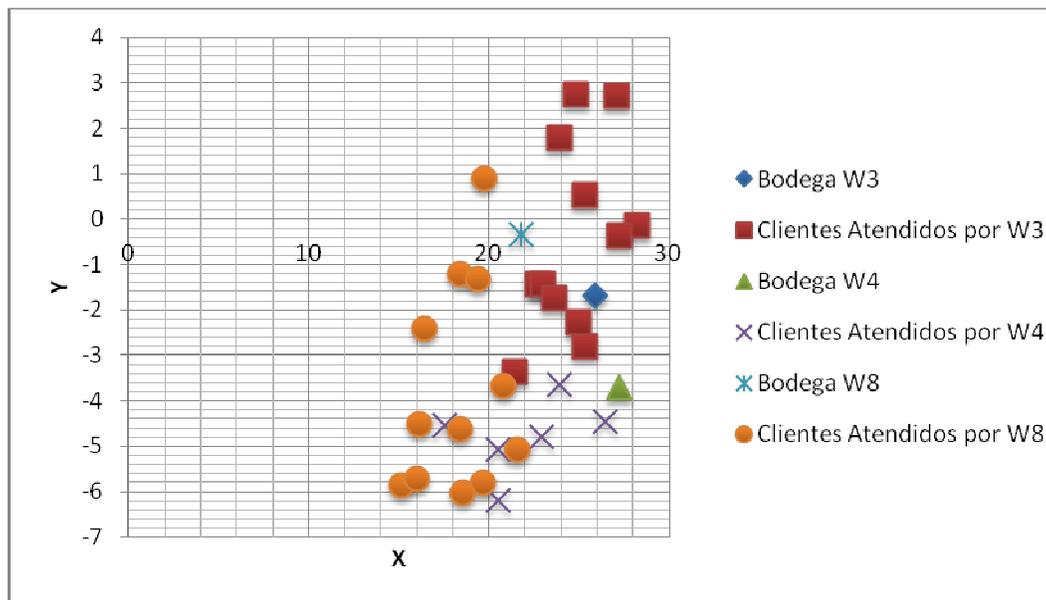


Figura 1: Dispersión Geográfica

El problema corresponde a un *Capacitated Multiple Depots VRP with Time Windows (CMDVRPTW)*, es el mismo problema VRP pero con restricciones adicionales, debido a que existe una ventana de tiempo que está asociada con cada cliente, definiendo un intervalo en el que el cliente debe ser abastecido. Además, la compañía puede tener varios depósitos de donde sirve a sus clientes de quienes se conoce su demanda y el horario de atención. Cada vehículo tiene una capacidad la cual es homogénea para todos los vehículos.

Objetivo: Minimizar los costos totales de realizar el recorrido.

Viabilidad: está dada por las limitaciones del VRP y caracterizado por las siguientes restricciones adicionales:

- Una solución no es viable si un cliente se abastece después del límite superior de su ventana de tiempo.
- Un vehículo que llega antes del límite inferior de la ventana de tiempo, provoca tiempo de espera adicional en la ruta.
- Una solución es factible si cada ruta satisface las restricciones VRP estándar y comienza y termina en el mismo almacén.
- Una solución es viable si la demanda total asignada a cada recorrido no supera la capacidad del vehículo que da servicio a la ruta.
- El valor usado de la bodega no puede ser mayor que la capacidad total de la bodega

Para poder solucionar el CMDVRPTW, se debe conocer previamente cuántas bodegas se deben abrir y la ubicación de las mismas (decisión estratégica) y desde qué bodega de las abiertas se atiende a cada uno de los clientes que deben ser atendidos (decisión táctica). Para conocer estos resultados, se formuló un modelo *Single Source Capacitated Facility Location* (SSCFLP) en GAMS, puesto que cada cliente debe ser atendido por una sola bodega.

Modelo Matemático SSCFLP

Sean:

I: Conjunto de clientes (C1-C30)

J: Conjunto de posibles ubicaciones de bodegas (W1-W10)

F_j: Costo fijo de abrir la bodega ubicada en el sitio j

C_{ij}: Distancia desde cada cliente i hasta cada bodega ubicada en j

Q_j: Capacidad de la bodega ubicada en el sitio j.

D_i: Demanda del cliente i.

Las decisiones a tomar se pueden representar mediante las siguientes variables de decisión:

X_{ij}: Decisión de atender o no el cliente i desde la bodega ubicada en el sitio j.

Y_j: Decisión de abrir o no la bodega ubicada en el sitio j.

El *Single Source Capacitated Facility Location Problem* puede ser formulado de la siguiente manera:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=C1}^{C30} \sum_{j=W1}^{W10} C_{ij} X_{ij} + \sum_{j=W1}^{W10} F_j Y_j \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=W1}^{W10} X_{ij} = 1; \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{i=C1}^{C30} D_i X_{ij} \leq Q_j Y_j; \forall j \quad (3)$$

$$X_{ij}, Y_j \in \{0,1\}$$

La función objetivo (1) representa el costo total que incluye el costo de apertura más el costo de la distancia a recorrer desde las bodegas abiertas hasta cada uno de los clientes que cada bodega atienda. Las ecuaciones (2) garantizan que cada cliente es atendido por una única bodega. Las ecuaciones (3) garantizan que un cliente sea atendido desde una bodega abierta que tenga capacidad para satisfacer su demanda.

Modelo Matemático CMDVRPTW

Sean:

V: un conjunto de nodos formado por la unión del conjunto de clientes I y el conjunto de bodegas abiertas H.

C_{ij}: Matriz de costos de ir desde cada nodo i hacia cada nodo j. Tanto i,j pertenecen a V.

G: un grafo completo definido sobre los conjuntos anteriormente mencionados G(V,C_{ij})

K: Conjunto de rutas (T1-Tm)

A_i: Hora de inicio de atención del cliente i

B_i: Hora de fin de atención del cliente i

T_i: Hora de llegada al cliente i

D_i: Demanda del cliente i.

W_k: Capacidad del camión que cubre la ruta k

Sea X_{ij}^k una variable binaria que vale 1 si el arco (i,j) es visitado por la ruta k, 0 en caso contrario, el modelo del CMDVRPTW puede ser formulado de la siguiente manera:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{T_m} C_{ij} X_{ij}^k \quad (4)$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^{T_m} \sum_{j=1}^n X_{ij}^k = 1; \forall i \in V \setminus H \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^{T_m} \sum_{i=1}^n X_{ij}^k = 1; \forall j \in V \setminus H \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{0j}^k = 1; \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{i0}^k = 1; \forall k \in K \quad (8)$$

$$a_i \leq t_i \leq b_i; \forall i \in V \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_i X_{ij}^k \leq W_k; \forall k \in K \quad (10)$$

$$X_{ij}^k \in \{0,1\}$$

La ecuación (4) representa el costo total de ruteo. Las ecuaciones (5) representan que de cada nodo diferente a las bodegas se debe salir una única vez. Las ecuaciones (6) aseguran que a cada nodo diferente de las bodegas abiertas se debe llegar una única vez. Las ecuaciones (7) aseguran que en cada ruta se salga de un depósito una única vez. Las ecuaciones (8) aseguran que en cada ruta se llegue una única vez a cada depósito. Las ecuaciones (9) aseguran que se cumplan las ventanas de tiempo de cada cliente. Las ecuaciones (10) garantizan que la demanda de los clientes atendidos por una ruta particular no supere la capacidad del camión que cubre dicha ruta.

4. METODOLOGÍA

Se utilizaron estrategias relacionadas con *Geomarketing*, por medio de la herramienta Google Earth® se realizó una ubicación de cada punto a atender y cada bodega a abrir, sobre el mapa de la ciudad de Bogotá, para tener una visión más cercana a la realidad del problema, permitiéndose así la ubicación geográfica de las bodegas y clientes y por ende calcular la matriz de distancias, la cual se construyó utilizando distancias Manhattan.

Con la matriz de distancias y los datos de demanda de los clientes y los costos asociados a las bodegas, se implementó el modelo *Single Source Capacitated Facility Location* en GAMS.

Para la definición de las rutas a seguir y de acuerdo a los resultados de estudios realizados por la Secretaría de Movilidad de la ciudad de Bogotá, Colombia publicados en la revista *Semana*, se encontró que en horario matutino en promedio la velocidad en la ciudad es de 27,2 kilómetros por hora, mientras que por la tarde es de 25,3 km/h (Secretaría de Movilidad, 2012). Este valor junto a los resultados arrojados por GAMS en la fase previa, constituyeron la base para realizar el ruteo.

Con el fin de alcanzar una respuesta ideal al problema, se diseñaron dos heurísticas, obteniendo así una serie de indicadores por cada una, para compararlas entre sí y poder encontrar el método que más se acerque a un resultado óptimo, de tal manera que se puedan minimizar costos, tiempo, distancias y recursos necesarios del problema. Además, para el desarrollo de todas las heurísticas se tuvo en cuenta un tiempo de diez minutos antes del fin de la ventana de tiempo, con la intención de evitar inconvenientes que se pueden presentar en las rutas.

Heurística 1: *Less Waste Organizer Model (LWOM)*

Esta heurística tiene como objetivo principal minimizar la cantidad total de rutas y la capacidad sobrante de los vehículos, para lograrlo se crearon los siguientes pasos:

Paso 1: Ordenar las horas de inicio de la ventana de manera ascendente.

Paso 2: Si existen empates en la hora de inicio de los clientes, se debe programar primero quien tenga la hora de finalización menor.

Paso 3: Si la ventana de tiempo es idéntica, se programa primero el cliente que tenga la menor demanda.

Paso 4: Calcular el mínimo de camiones necesarios (\sum demanda / capacidad del camión), de tal forma que respecto a este resultado, ubiquemos cada uno de los primeros clientes de la secuencia en un camión diferente.

Paso 5: Ubicar el cliente con mayor demanda, en el camión con menor capacidad restante.

La Figura 2, expresa en un diagrama de flujo los pasos de la heurística número 1.

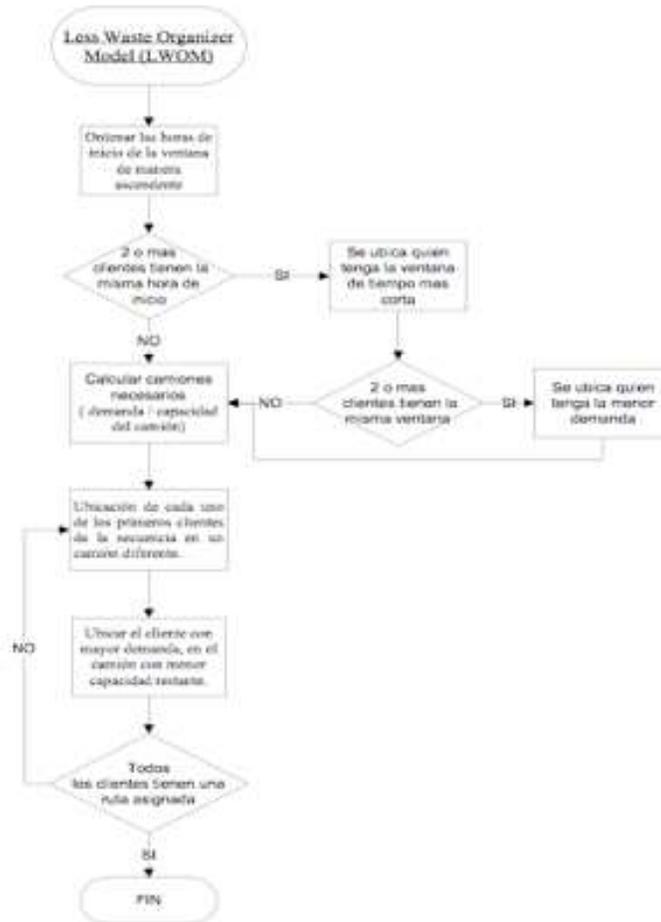


Figura 2: Diagrama de Flujo Heurística LWOM

Heurística 2: Facility Organizer Time Windows Model (FOTW)

El diseño de esta heurística permite minimizar el número de camiones a utilizar, el tiempo muerto en la ruta y tiempo total de recorrido. Su desarrollo se basa en los siguientes pasos:

Paso 1: Ordenar los clientes en sentido ascendente desde la primera hora de inicio hasta la hora mayor.

Paso 2: Si realizado el paso 1, encontramos que dos o más clientes tienen la misma hora de inicio, se elige el que tenga una ventana de tiempo más corta, es decir, el menor tiempo disponible para ser atendido.

Paso 3: Si los clientes tienen la misma ventana de tiempo se selecciona primero quien tenga la menor demanda.

Paso 4: Con la organización de los clientes, se crea la primera ruta, donde se elige el primer cliente de la tabla, como el primero en ser atendido, y en orden ascendente hasta cumplir con la capacidad del camión, en el caso que el cliente siguiente en la tabla tenga una demanda superior a la capacidad, se debe encontrar un cliente con la demanda menor o igual a la capacidad sobrante.

Este paso se repite hasta que la capacidad sobrante del vehículo sea menor a las demandas faltantes por acomodar. Al realizar esta ruta se busca cual es el último punto a visitar y desde su hora de inicio se programan en sentido contrario los tiempos en los que se debe visitar cada cliente. Si no es posible modificar la ruta para que se adecúe a la ventana de tiempo siguiente con la capacidad aceptada, se pasa al siguiente cliente y se intenta acomodar a esta ventana de tiempo la ruta.

Paso 5: Se realiza el mismo procedimiento hasta que todos los clientes tengan asignada una ruta, para que finalmente se comparen horas de llegada y salida de cada camión de tal forma que podamos identificar la posibilidad de modificar una ruta para que se adecúe a la hora de llegada de una anterior y así, poder disminuir a un solo camión el cual realizará su ruta inicial, volverá a la bodega y comenzará una ruta completamente nueva. Si esto es posible, la hora de inicio de la siguiente ruta será la hora de llegada del camión más 15 minutos aproximados para realizar el nuevo cargue. Con esta nueva hora se programará la ruta pertinente. La Figura 3, muestra el diagrama de flujo los pasos de la heurística número 2.

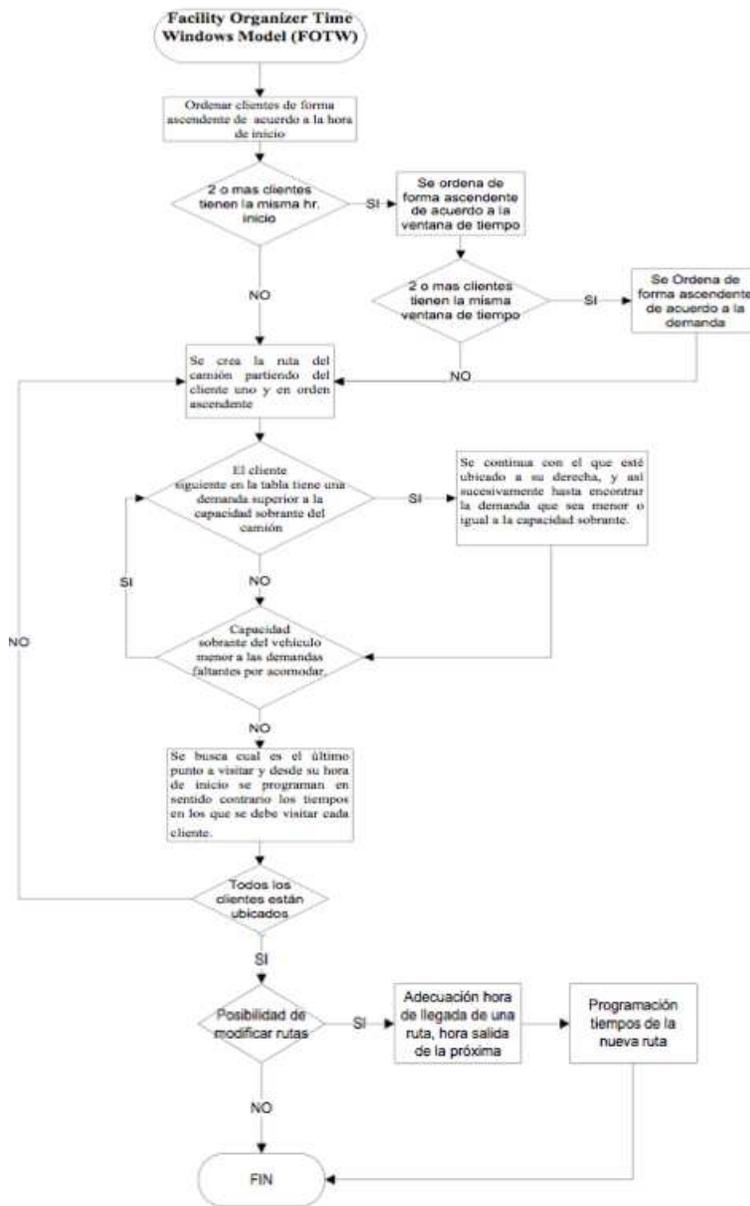


Figura 3: Diagrama de Flujo Heurística FOTW

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se ingresaron los datos conocidos del problema a la herramienta GAMS con el objetivo de tomar decisiones que nos permita minimizar los costos de ruteo. La Tabla 2 muestra claramente las bodegas a abrir (W3, W4, y W8) y los clientes atendidos por cada una, teniendo en cuenta las capacidades y demandas. Q representa la capacidad de cada bodega expresada en unidades de producto, U representa la capacidad de bodega utilizada, S la capacidad sobrante y % U el porcentaje de utilización de la capacidad.

Tabla 2: Resultados de la apertura de bodegas y asignación de clientes a éstas

W3	C1	C4	C6	C8	C11	C16	C17	C23	C24	C25	C28	C30	Q	U	%U	S
Demanda	54	57	46	39	20	38	45	62	55	57	62	50	597	585	98%	12
W4	C2	C3	C12	C14	C18	C20										
Demanda	59	63	65	65	64	68							436	384	88%	52
W8	C5	C7	C9	C10	C13	C15	C19	C21	C22	C26	C27	C29				
Demanda	33	53	38	46	33	42	25	45	54	52	31	54	525	506	96%	19

Para evaluar la eficiencia de las heurísticas diseñadas para la programación de rutas, se definieron indicadores como la capacidad sobrante en los vehículos, el tiempo total del recorrido en minutos, el número de camiones requeridos y el total de rutas realizadas. Las tablas 3 y 4, presentan los resultados obtenidos por cada una de las heurísticas definidas.

Tabla 3: Indicadores Rutas Heurística 1

Indicadores LWOM	W3	W4	W8	Total
Capacidad Sobrante de Vehículos	15	66	94	175
Tiempo Total Recorrido en Minutos	781,2	439,2	792,6	2013
Total Camiones	4	3	4	11
Total Rutas	4	3	4	11

Tabla 4: Indicadores Rutas Heurística 2

Indicadores FOTW	W3	W4	W8	Total
Capacidad Sobrante de Vehículos	165	66	94	325
Tiempo Total Recorrido en Minutos	336,75	247,8	462	1046,55
Total Camiones	2	1	2	5
Total Rutas	5	3	4	12

Para poder comparar los resultados obtenidos en las dos heurísticas diseñadas, utilizamos dos indicadores primarios y tres indicadores secundarios. Los primarios, son aquellos que miden las variables fundamentales del modelo es decir, las variables que son indispensables para minimizar tiempo y costo, mientras que los secundarios miden las variables tácticas del modelo (Pérez, 2012).

Los indicadores que se establecieron son los siguientes:

- **Total Tiempo recorrido heurística:** Representa el tiempo total en minutos que se demoran los camiones en realizar las distintas rutas; este indicador es crucial ya que representa el objetivo principal que es

minimizar la suma de tiempo de viaje y por lo tanto se minimizan costos, es por eso que cuenta con un peso de 35% del total. (Indicador Primario relativo a Minimizar el Tiempo Total de la ruta)

- **Total Número de Camiones:** Representa el número total de camiones utilizados en cada heurística; este indicador es muy importante porque los camiones tienen costos asociados como, Mantenimiento, Combustible, Llantas, etc. Es por eso que cuentan con un peso de 35% del total (Indicador Primario relativo a Minimizar los Costos totales de la heurística)
- **Total Capacidad Sobrante:** Representa las unidades que el camión dejó de transportar, teniendo aún la capacidad para hacerlo. Este indicador define el nivel de utilización de los vehículos, por eso cuenta con un peso de 10% del total.
- **Número Total de Rutas:** Representa el total de rutas utilizadas para hacer la heurística, esto indica cuántas veces tiene que volver el camión al depósito, haciendo que se genere mayor tiempo y mayor costo asociado debido al traslado. Se le asignó un peso igual al 10%.
- **Tiempo de Cálculo de la Heurística, min/ruta:** Representa el tiempo total en promedio que se demora hacer una ruta de una bodega que cuenta con 10 clientes. Se le asignó un peso igual al 10%.

La tabla 5, muestra los pesos porcentuales que se le dio a cada heurística creada y su valor ponderado para decidir el método que mejor se adapta a dar la respuesta óptima al problema de programación y diseño de rutas.

Tabla 5: Comparativo de la ponderación de indicadores para las heurísticas diseñadas

	Peso	LWOM	Calificación	Ponderado	FOTW	Calificación	Ponderado
Total Tiempo Recorrido	35%	2013	3	1,05	1046,55	5	1,75
Total Camiones	35%	11	3	1,05	5	5	1,75
Total Capacidad Sobrante	10%	175	5	0,5	325	4	0,4
Total Rutas	10%	11	5	0,5	12	4	0,4
Tiempo de Calculo min/ruta	10%	15	3	0,3	10	4	0,4
Total Pesos	100%			3,4			4,7

Como se observa en la tabla anterior, las calificaciones ponderadas dan como resultado que la heurística FOTW, es la que mejor responde a una solución del problema según las relevancias asignadas a cada indicador, sin embargo la heurística no asegura el óptimo.

6. CONCLUSIONES

Encontramos que el CVRPTW – VRPTW, el problema capacitado con ventanas de tiempo es una de las variantes más importantes del VRP, pero también es uno de los problemas más complicados y el cual merece un mayor estudio, gracias a su importante aplicación en la vida diaria.

Entre más restricciones se le agreguen al problema y más variaciones tenga, este será cada vez más complicado de resolver, en este caso, encontramos que tenemos una integración de variantes al problema del VRP un *Capacitated Multiple Depotss VRP with Time Windows*, para el cual se diseñaron dos heurísticas y donde al final se compararon sus indicadores, hallando que la heurística FOTW es la que satisface de la mejor manera el objetivo principal y proporciona unos resultados que mejorarían la operación de ruteo desde las tres bodegas abiertas a los 30 clientes.

Debido a que en ciertos casos encontrar la solución factible que cumpla con todas las ventanas de tiempo es muy complicado, podemos flexibilizar este tipo de restricciones, incurriendo en prácticas que nos permitan determinar un plan operativo de distribución que conlleve a optimizar la cantidad de vehículos a utilizar, distancias y tiempos totales.

Los anteriores resultados pueden llevar a concluir que la heurística *Facility Organizer Time Windows Model* (FOTW) podría resultar muy conveniente en la práctica debido a su facilidad de implementación y su gestión provechosa en la asignación de rutas de transporte. En un futuro se desarrollarán investigaciones para realizar una Meta-heurística capaz de minimizar en mayor medida los costos y tiempos totales del problema anteriormente dado.

REFERENCIAS

- Taller Latino de Investigación de Operaciones. (2001). "Revisión y programación de modelos de optimización como una plataforma en GAMS-CPLEX para problemas de ruteo de vehículos". Puebla, Mexico.
- Pérez, C. M. (2012). "Los indicadores de gestión". Recuperado el 23 de Noviembre de 2012, de *Soporte*: <http://www.escuelagobierno.org/inputs/los%20indicadores%20de%20gestion.pdf>
- Ballou, R. (2004). "Administración de la Cadena de Suministros". *Pearson*.
- WEB VRP. (2012). *VRP Variantes*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2012, de <http://neo.lcc.uma.es/vrp/>.
- López, L. F. (2011). "Diseño de método de solución basados en un algoritmo genético híbrido al problema multiobjetivo de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo difusas". *Facultad de ingeniera. Universidad de la Sabana*. Colombia.
- Morton, *Pentico, Wiley & Sons*. (1993). "Heuristic scheduling systems".
- Nilsson. (2003). "Heuristics for the traveling salesman problem". *Department of Computer Science. Linkoping University*. Sweden
- Ralphs, Hartman and Galati. (2001). "Capacitated vehicle routing and some related problems". *MRutgers University*, Newark, Estados Unidos.
- Secretaría de Movilidad. (2012). "Velocidad en vías bogotanas subió 28%". *Revista Semana*.
- Daza J.M., Montoya J.R., and Narducci F. (2009). "Resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento meta heurístico de dos fases". *EIA, Escuela de Ingeniería de Antioquia*, Medellín, Colombia, Vol 12, pp 23-38.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.