

# “Dimensionamiento de flota y diseño de rutas de distribución de productos alimenticios refrigerados y secos para un operador logístico”

José Cabrera Morales <sup>(1)</sup> Justine Sánchez Salvatierra <sup>(2)</sup> Ing. Víctor Vega Chica <sup>(3)</sup>

Instituto de Ciencias Matemáticas (ICM) <sup>(1) (2) (3)</sup>

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) <sup>(1) (2) (3)</sup>

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral <sup>(1) (2) (3)</sup>

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador <sup>(1) (2) (3)</sup>

[josedcab@espol.edu.ec](mailto:josedcab@espol.edu.ec) <sup>(1)</sup>, [juansanc@espol.edu.ec](mailto:juansanc@espol.edu.ec) <sup>(2)</sup>, [vvega@espol.edu.ec](mailto:vvega@espol.edu.ec) <sup>(3)</sup>

## Resumen

*En el presente trabajo se hace referencia a un operador logístico dedicado al almacenamiento y distribución de productos refrigerados y secos. El operador logístico desea determinar un plan tarifario de transportación mediante el análisis de los costos fijos y variables, los vehículos idóneos de acuerdo a la capacidad y flujo de la demanda, así como el número de unidades necesarias para llevar a cabo el proceso de distribución. También se realizará el diseño de rutas de distribución para satisfacer las necesidades de los clientes y al mismo tiempo cumplir con las restricciones horarias establecidas por los mismos, con el fin de mantener un alto nivel de servicio. En la primera parte se realiza la selección de la marca del vehículo considerando aspectos técnicos, servicio postventa, precios, entre otros; en la segunda parte, se determinan los costos fijos y variables del modelo tarifario por cada tipo de vehículo; y en la parte final se presentan los resultados y el análisis de las nuevas rutas de distribución que minimizan las cantidades de vehículos utilizados y el costo de transportación total. Por lo antes expuesto, se estudia el problema del operador logístico como un VRPTW (Time Windows Vehicle Routing Problem), el mismo que se resuelve mediante la metaheurística de la Búsqueda Tabú.*

**Palabras Claves:** Plan tarifario, Selección de marca de vehículo, diseñar rutas de distribución, VRPTW, Búsqueda Tabú.

## Abstract

*This paper refers to a logistic operator dedicated to the storage and distribution of dry and refrigerated products. This logistic operator seeks to obtain billing plans according to their transportation services, through the analysis of the variable and fixed costs, the ideal vehicles according to their capacity and the demand, and the number of units needed for the distribution process. Also, distribution routes that satisfy clients' demands and schedules are designed in order to obtain a high quality service. The first part of the paper describes how to choose the vehicles' brand considering technical requirements and after sale service, among other aspects. The second part calculates fixed and variable costs for each type of vehicle, and the last part presents results and new distribution routes that decrease the number of vehicles required and the total transportation cost. For all these reasons the case is treated as a VRPTW (Time Windows Vehicle Routing Problem) and it is solved using Tabu Search metaheuristic.*

**Keywords:** Billing plan, Select vehicle mark, design delivery routes, VRPTW, Tabu Search

## 1. Introducción

La empresa objeto de estudio a quien denominaremos el OPL, realiza sus labores como una central de compras, brindando sus servicios a diversos clientes en la provincia del Guayas, en actividades relacionadas con el almacenamiento, la gestión de inventarios y la distribución de productos alimenticios desde la central de compras hasta los puntos de uso o consumo. El OPL se dedica a la distribución de productos refrigerados y secos. Se emplea una flota heterogénea de vehículos para los productos refrigerados y una flota homogénea (vehículos de 5 Ton) para los productos secos. En ambos casos los medios de transporte utilizados son subcontratados, es decir, no pertenecen a la empresa, pero cumplen con las especificaciones técnicas requeridas para la correcta conservación de los diferentes productos a transportar.

En sus inicios, el OPL realizaba sus operaciones logísticas como actividad de soporte para su propia red de locales de comida rápida, debido a la creciente evolución de este tipo de actividades en el mercado local, los directivos consideraron necesario brindar sus servicios a otras organizaciones con intereses comunes a fin de obtener mejores descuentos que los obtenidos individualmente.

## 2. Planteamiento del Problema

La planificación de las rutas necesarias para distribuir los productos se realiza de manera empírica, y no existe un análisis para establecer el costo real de transportación, ya que se está pagando un precio fijo por cada ruta sin considerar factores claves como: distancia recorrida, mantenimiento del vehículo, pago de sueldos, entre otros. Además, se desconocen las cantidades y capacidades necesarias de vehículos para abastecer a sus clientes y el recorrido idóneo que se debe realizar para cumplir con lo pactado.

Estos inconvenientes muestran que el operador logístico posee grandes oportunidades de mejora. El OPL busca mejorar su nivel de servicio y reducir sus costos operativos, para ello ha encaminado acciones de estudio en sus actividades de distribución para una correcta planificación en cuanto a la forma en la que se realizará dicha operación priorizando la optimización de los recursos.

Por tal motivo se plantea un estudio para determinar el conjunto de rutas y el costo real de transportación, garantizando la disponibilidad de los productos y los cumplimientos de las horas de llegadas establecidas por los diferentes clientes que pertenecen a la red de locales. En la tabla 1 se presentan los costos de transportación y la cantidad de rutas utilizadas

actualmente por el OPL.

**Tabla 1.** Resumen de costos actuales.

	Cantidad de rutas utilizadas				Precio/ruta	Costo total
	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	Total		
Productos Refrigerados	6	2	2	10	\$ 45	\$ 450
Productos Secos	8	4	3	15	\$ 38	\$ 570

## 3. Elección de la marca y capacidades del vehículo

La solución propuesta para el problema planteado depende ante todo de la elección de la marca y las capacidades adecuadas para realizar la distribución de los diferentes productos considerando las restricciones municipales para el transporte de carga en la provincia del Guayas, debido a que existen clientes ubicados en zonas que por sus características geográficas hace imposible el tránsito con vehículos de capacidad superior a 3.5 Ton.

Debido a la creciente evolución de este tipo de negocios y en base a estudios recientemente realizados por la empresa, se estableció que además de ser necesario utilizar vehículos de 3.5 Ton, es indispensable considerar para la solución del problema el uso de vehículos de 5 Ton ya que es el medio de transportación utilizado actualmente y vehículos de 10 Ton que permitan responder de manera oportuna la demanda futura de la empresa. Una vez establecidas las capacidades de vehículos necesarias para realizar la transportación, el siguiente paso es determinar la marca del vehículo.

### 3.1. Opciones a seleccionar

En el país existen tres marcas que poseen los tipos de vehículos para el transporte de carga definidos anteriormente, estas son: Chevrolet, Hyundai e Hino. Entre las principales razones por las cuales se eligieron estas marcas es su posicionamiento y gran trayectoria en venta de vehículos en el mercado tanto nacional como internacional. Se evaluaron las opciones considerando tres aspectos decisivos al momento de realizar la compra de vehículos para el transporte de carga.

### 3.2. Forma de evaluación de las opciones

La evaluación de las opciones antes descritas se realizó mediante un estudio de mercado exploratorio.

Este tipo de investigación de mercados se utiliza para las etapas tempranas de los procesos de toma de decisiones, donde se busca obtener información de primera mano, para realizar un análisis preliminar de la situación con un gasto mínimo de esfuerzo y dinero [10].

Dicha investigación se efectuó a partir de entrevistas al personal especializado de cinco empresas dedicadas a la transportación de carga que cuentan con vehículos de características similares en las marcas a analizar, además de una amplia experiencia en el uso de este tipo de vehículos. En la tabla 2, se muestra la escala de evaluación de las distintas alternativas.

**Tabla 2.** Escala de evaluación.

1	2	3	4	5
Pésimo	Malo	Regular	Bueno	Excelente

### 3.3. Matriz de Ponderación

Es una herramienta muy útil debido a que no requiere de mayores esfuerzos en cuanto al levantamiento de la información o al realizar los cálculos matemáticos. La evaluación y selección de la mejor opción en cuanto a la marca del vehículo fue realizada empleando los siguientes pasos:

- Identificación del problema.
- Obtención de la información.
- Definición de opciones.
- Asignación de pesos o ponderaciones.
- Selección de la mejor opción.

Es importante priorizar la utilización de los vehículos de 3.5 Ton para la resolución del problema. Por tal motivo la primera evaluación fue realizada para seleccionar la marca del vehículo entre Chevrolet y Hyundai a quienes se ha denominado como opción 1 y opción 2 respectivamente, debido a que son las únicas marcas que poseen vehículos de esas capacidades. En la tabla 3 se presenta la matriz de ponderación. Los resultados obtenidos para cada característica fueron calculados como el promedio de la calificación asignada por cada uno de los cinco evaluadores.

**Tabla 3.** Evaluación de opciones 1 y 2.

	Características a evaluar	Pesos	Opciones	
			1	2
Aspecto Técnico 50%	Motor			
	Potencia	10%	1,4	2,4
	Torque	10%	1,6	2,4
	Nivel de emisiones	5%	1,6	1,8
	Facilidad de mantenimiento	15%	2,8	2
	Bajo consumo de combustible	15%	1,4	1,8
	Sistema de frenos	10%	1,2	2
	Suspensión	15%	2,4	3
	Confort	10%	1,4	3,4
	Impacto ambiental	5%	2,4	2,8
	Diámetro de giro	5%	2,4	3
	<b>Subtotal</b>		<b>1,87</b>	<b>2,42</b>
Servicio Post-venta 35%	Posicionamiento de la marca	15%	3,4	2,6
	Garantías	15%	3,4	3,2
	Disponibilidad de repuestos	25%	3,4	2,8
	Costo de repuestos	15%	4,4	2,6
	Seguridad del vehículo	10%	1,2	2,6
	Servicio Técnico	10%	3,8	4,6
	Tiempos de respuesta	10%	2,6	2,6
	<b>Subtotal</b>		<b>3,29</b>	<b>2,94</b>
Económico 15%	Precio del vehículo	100%	4,4	4
	<b>Subtotal</b>		<b>4,4</b>	<b>4</b>
	<b>Totales</b>		<b>2,7465</b>	<b>2,839</b>

Luego se realizó una segunda evaluación entre las marcas Chevrolet, Hyundai e Hino siendo ésta última considerada como la opción 3. En este caso se tomó

como referencia sólo al vehículo de 5 Ton ya que las tres marcas poseen los tipos de vehículos descritos en un principio. En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de la segunda evaluación.

**Tabla 4.** Evaluación de opciones 1, 2 y 3.

	Características a evaluar	Pesos	Opciones		
			1	2	3
Aspecto Técnico 50%	Motor				
	Potencia	10%	2,4	2,6	3
	Torque	10%	2	2,6	3,8
	Nivel de emisiones	5%	1,8	1,8	1,8
	Facilidad de mantenimiento	15%	3	2	1
	Bajo consumo de combustible	15%	1,2	2,2	2,8
	Sistema de frenos	10%	1	2	4,4
	Suspensión	15%	2,2	3,6	4,8
	Confort	10%	1,6	3,4	4,4
	Impacto ambiental	5%	2,4	2,8	2,6
	Diámetro de giro	5%	2,6	3,6	4,4
	<b>Subtotal</b>		<b>2</b>	<b>2,64</b>	<b>3,29</b>
Servicio Post-venta 35%	Posicionamiento de la marca	15%	3,8	3	3
	Garantías	15%	3,4	4	4,4
	Disponibilidad de repuestos	25%	3,6	2,8	1,8
	Costo de repuestos	15%	4,4	2,6	1
	Seguridad del vehículo	10%	1,2	2,6	2,4
	Servicio Técnico	10%	4,2	4,6	4,6
	Tiempos de respuesta	10%	2,6	3	4,8
	<b>Subtotal</b>		<b>3,44</b>	<b>3,16</b>	<b>2,89</b>
Económico 15%	Precio del vehículo	100%	4,6	4	3,2
	<b>Subtotal</b>		<b>4,6</b>	<b>4</b>	<b>3,2</b>
	<b>Totales</b>		<b>2,894</b>	<b>3,026</b>	<b>3,1365</b>

### 4. Costos Fijos y Costos Variables

Existen tres formas para establecer el valor del flete, para la resolución del problema planteado se consideró necesario utilizar el costo mixto, el cual se obtiene a partir de los diferentes costos fijos y variables asociados al tipo de vehículo utilizado.

**Costos Fijos:** Los aspectos necesarios para el cálculo de los costos fijos son: Costo de vehículo, Matrícula, Seguros, Baterías, Sueldo Chofer y Ayudante, Lavado del vehículo y Mantenimiento anual. En las tablas 5 y 6, se detallan los costos fijos asociados a la utilización de los vehículos de 10Ton, 5Ton, 3.5Ton.

**Tabla 5.** Tabla de costos fijos de vehículos de carga refrigerada

Costos Fijos		HINO 10 Ton	HINO 5 Ton	HYUNDAI 3.5 Ton
Chasis	Compra	\$ 62.807,04	\$ 32.032,00	\$ 27.990,00
Furgón	Compra	\$ 19.712,00	\$ 9.856,00	\$ 7.885,00
(a) Chasis + Furgón	[ V.U. 5 años]	\$ 16.104,00	\$ 8.378,00	\$ 7.175,00
(b) Matrícula	2,50% al año	\$ 1.520,00	\$ 801,00	\$ 701,00
(c) Seguro	4,50% al año	\$ 2.736,00	\$ 1.441,00	\$ 1.260,00
Baterías	Compra	\$ 183,00	\$ 150,00	\$ 150,00
(d) Batería	[ V.U. 1 año]	\$ 410,00	\$ 336,00	\$ 336,00
Sueldo Chofer y Ayudante	Mensual	\$ 757,00	\$ 757,00	\$ 757,00
(e) Sueldo	Al año	\$ 9.084,00	\$ 9.084,00	\$ 9.084,00
(f) Lavado	52 lavadas al año	\$ 520,00	\$ 520,00	\$ 520,00
(g) Mantenimiento anual	6% chasis + furgón	\$ 4.843,00	\$ 2.519,46	\$ 2.158,00
<b>Costo anual (a+b+c+d+e+f+g)</b>		<b>\$ 35.217,24</b>	<b>\$ 23.079,30</b>	<b>\$ 21.232,04</b>
<b>Costo fijo por viaje</b>		<b>\$ 48,38</b>	<b>\$ 31,70</b>	<b>\$ 29,16</b>

**Tabla 6.** Tabla de costos fijos de vehículos de carga seca.

Costos Fijos		HINO 10 Ton	HINO 5 Ton	HYUNDAI 3.5 Ton
Chasis	Compra	\$ 62.807,04	\$ 32.032,00	\$ 27.990,00
Furgón	Compra	\$ 8.624,00	\$ 4.592,00	\$ 3.214,00
(a) Chasis + Furgón	[ V.U. 5 años]	\$ 13.886,00	\$ 7.325,00	\$ 6.241,00
(b) Matrícula	2,50% al año	\$ 1.520,00	\$ 801,00	\$ 700,00
(c) Seguro	4,50% al año	\$ 2.736,00	\$ 1.441,00	\$ 1.260,00
Baterías	Compra	\$ 183,00	\$ 150,00	\$ 150,00
(d) Batería	[ V.U. 1 año]	\$ 410,00	\$ 336,00	\$ 336,00
Sueldo Chofer y Ayudante	Mensual	\$ 757,00	\$ 757,00	\$ 757,00
(e) Sueldo	Al año	\$ 9.084,00	\$ 9.084,00	\$ 9.084,00
(f) Lavado	52 lavadas al año	\$ 520,00	\$ 520,00	\$ 520,00
(g) Mantenimiento anual	6% chasis + furgón	\$ 4.176,00	\$ 2.203,00	\$ 1.877,00
<b>Costo anual (a+b+c+d+e+f+g)</b>		\$ 32.332,72	\$ 21.709,88	\$ 20.017,05
<b>Costo fijo por viaje</b>		\$ 44,41	\$ 29,82	\$ 27,50

**Costos Variables:** Los costos variables considerados para este estudio son: consumo de combustible, neumáticos, lubricantes y filtros.

- Consumo de combustible:

$$Precio = \left( \frac{\$}{galón} \right)$$

$$Rendimiento = \left( \frac{km}{galón} \right)$$

$$Costo combustible \left( \frac{\$}{km} \right) = \frac{Precio}{Rendimiento}$$

- Consumo de neumáticos:

$$Precio = precio\ unitario * cantidad$$

$$Costo\ neumaticos \left( \frac{\$}{km} \right) = \frac{Precio (\$)}{Rendimiento (km)}$$

- Consumo de lubricantes y filtros:

$$Precio = \left( \frac{\$}{galón} \right)$$

$$Consumo = \left( \frac{galón}{km} \right)$$

$$Costo\ lubricantes \left( \frac{\$}{km} \right) = Precio * Consumo$$

A continuación, en la tabla 7 y 8 se detallan los costos variables por la utilización de los vehículos.

**Tabla 7.** Tabla de costos variables para vehículos de carga refrigerada.

Costos	HINO 10 Ton	HINO 5 Ton	HYUNDAI 3.5 Ton
Consumo de combustible	\$ 0,0650 / Km	\$ 0,0650 / Km	\$ 0,0650 / Km
Consumo de llanta	\$ 0,0431 / Km	\$ 0,0243 / Km	\$ 0,0187 / Km
Consumo de lubricante	\$ 0,0445 / Km	\$ 0,0445 / Km	\$ 0,0445 / Km
Consumo de filtros	\$ 0,0091 / Km	\$ 0,0060 / Km	\$ 0,0060 / Km
<b>Costos variables (\$ / km)</b>	<b>\$ 0,1616 / Km</b>	<b>\$ 0,1397 / Km</b>	<b>\$ 0,1341 / Km</b>

**Tabla 8.** Tabla de costos variables para vehículos de carga seca.

Costos	HINO 10 Ton	HINO 5 Ton	HYUNDAI 3.5 Ton
Consumo de combustible	\$ 0,0520 / Km	\$ 0,0520 / Km	\$ 0,0520 / Km
Consumo de llanta	\$ 0,0431 / Km	\$ 0,0243 / Km	\$ 0,0187 / Km
Consumo de lubricante	\$ 0,0445 / Km	\$ 0,0445 / Km	\$ 0,0445 / Km
Consumo de filtros	\$ 0,0091 / Km	\$ 0,0060 / Km	\$ 0,0060 / Km
<b>Costos variables (\$ / km)</b>	<b>\$ 0,1486 / Km</b>	<b>\$ 0,1267 / Km</b>	<b>\$ 0,1211 / Km</b>

## 5. Ruteo Vehicular

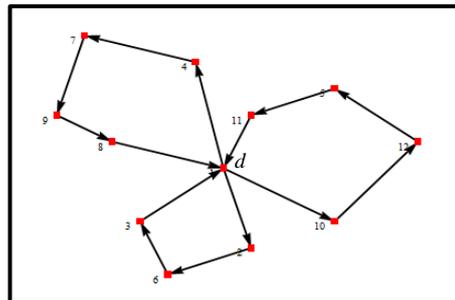
### 5.1 Vehicle Routing Problem (VRP)

Dentro de la administración de la cadena de suministro, la transportación física de los productos ocupa un papel importante, y al mismo tiempo es uno de los problemas más difíciles y costosos de resolver para toda empresa, en especial cuando se debe atender a un conjunto de clientes. El Vehicle Routing Problem (VRP) intenta resolver este problema.

El VRP básico, introducido por Dantzig y Ramser en 1959, consiste en la determinación de un conjunto de rutas que parten de un depósito común, de tal manera que visite un conjunto de clientes satisfaciendo sus demandas a un costo mínimo. Este problema se puede modelar mediante un grafo en el que los vértices representan los clientes y el depósito; y los arcos representan las interconexiones entre clientes o entre depósitos y los clientes. Es importante destacar que los arcos pueden ser unidireccionales o bidireccionales, dependiendo si los caminos de interconexión pueden ser recorridos en una o ambas direcciones respectivamente [5].

En la figura 1 se muestra una ejemplificación de un VRP donde se aprecia la existencia de un único depósito denotado por d, el cual es el punto de partida y de llegada de las diferentes rutas.

**Figura 1.** Representación gráfica de un VRP



#### 5.1.1 Variantes del Vehicle Routing Problem

Existen muchas variantes del VRP entre las más conocidas tenemos:

- CVRP-Capacitated Vehicle Routing Problem

Esta primera variante coincide con el VRP básico, la única diferencia es que en este modelo se considera una cantidad limitada  $K$  de vehículos, cada uno con una capacidad  $Q$  la cual no puede ser excedida por la suma total de las demandas asignadas a dicha ruta o vehículo.

- MDVRP-Multiple Depot Vehicle Routing Problem

A diferencia de los problemas anteriores éste se caracteriza por tener más de un depósito y consiste en determinar la mínima cantidad de rutas necesarias para satisfacer la demanda de los clientes asignados a cada depósito y que a su vez cumplan con las restricciones del sistema.

- VRPPD - Vehicle Routing Problem - Pickup and Delivery

Esta variante particular del VRP considera que los clientes puedan devolver algún tipo de artículo y no necesariamente son los productos que en algún momento demandaron sino envases o gavetas que fueron necesarios para su transportación inicial, esto implica que el problema se vuelva más complejo y se pueda pensar que sea necesario aumentar el tamaño de la flota. Por tal motivo es recomendable que en las restricciones del sistema se considere realizar las entregas de los productos demandados por los clientes antes de recibir las devoluciones de los mismos.

- Otras variantes del VRP

En la tabla 9 se presentan las diferentes variantes existentes del VRP.

**Tabla 9.** Tabla de variantes del VRP.

SDVRP	Split Delivery Vehicle Routing Problem.
SVRP	Stochastic Vehicle Routing Problem.
CVRPTW	Capacitated Vehicle Routing Problem-Time Windows.
VRPSD	Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands.
VRPSDC	Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands and Customers.
VRPST	Vehicle Routing Problem with Stochastic Travel Times.
VRPM	Vehicle Routing Problem with Multiple use of vehicles.

## 5.2 Vehicle Routing Problem-Time Windows (VRPTW)

Este problema consiste en determinar un conjunto de rutas óptimas que empiecen en un depósito central y terminen en el mismo, visitando a un conjunto de clientes una sola vez y satisfaciendo las ventanas

horarias de los clientes asignados a dichas rutas sin violar las restricciones de capacidad de cada vehículo a un costo mínimo. Cabe recalcar que por la naturaleza del problema, esta variante del VRP será la que se aplique para resolver el problema planteado.

La principal característica de esta variante del VRP es el cumplimiento de la ventana horaria, es así que cada cliente previamente ha establecido un único intervalo de tiempo  $[a, b]$  en el que podrá ser visitado, es decir, para considerar que una solución es factible bajo ningún concepto deberá ocurrir que el cliente sea visitado antes o después de su ventana horaria, cuando esto ocurre se denominan ventanas horarias duras. Pero llevado a la práctica, en muchas ocasiones podría resultar difícil de lograr. Por ello surgen también los tipos de ventanas horarias suaves.

Establecer un tipo de ventana horaria suave para las diferentes rutas, consiste en permitir el incumplimiento de las ventanas horarias impuestas por los clientes siempre y cuando existan penalizaciones por las acciones mencionadas que afectarán directamente al costo total de la ruta.

## 5.3 Búsqueda Tabú

Introducido por Glover (1986), consiste en mantener información almacenada sobre las últimas soluciones visitadas con el fin de usarla para guiar la búsqueda y evitar que el algoritmo se mueva a soluciones visitadas recientemente, por lo que se dice que la búsqueda tabú tiene memoria (Aarts y Lenstra, 2003). En cada iteración, el algoritmo explora el vecindario de la mejor solución encontrada. Se adopta como mejor solución la mejor solución en el vecindario, aun si ésta no es mejor que la solución actual. Para que el algoritmo no se quede atrapado en un ciclo, se almacena la información relativa a las soluciones recientemente visitadas en una lista llamada lista tabú (Sait y Youssef, 1999). Para copiar información sobre el pasado reciente, la búsqueda tabú almacena los últimos movimientos, donde un movimiento es una operación por medio de la cual se alcanza una solución vecina a partir de la solución actual, un movimiento puede consistir en intercambiar la posición de dos elementos en el vector [8].

### 5.3.1 Lista Tabú

Es una lista en la cual se almacenan los movimientos recientes por un lapso denominado tiempo de permanencia. El algoritmo previene los ciclos al prohibir que se ejecute un movimiento en la lista; aunque esta prohibición puede anularse eventualmente si se cumple una condición, denominada criterio de aspiración, que suele consistir en admitir un movimiento en la lista tabú si la solución resultante es la mejor hasta el momento [8].

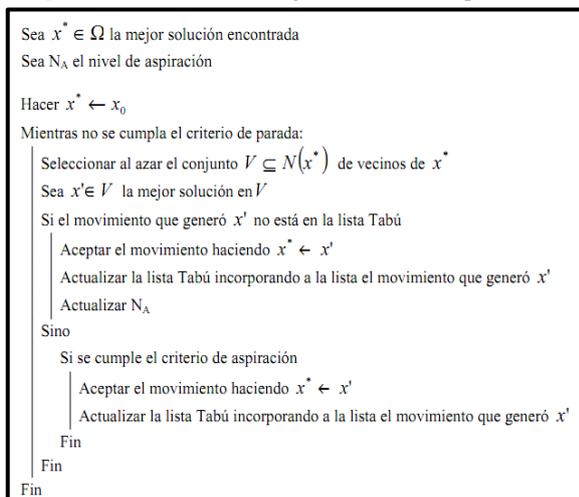
### 5.3.2 Memoria de mediano y largo plazo

El mecanismo de memoria de mediano plazo consiste en favorecer la búsqueda en regiones donde se han encontrado buenas soluciones. Este proceso se conoce como de intensificación y se lleva a cabo dándoles alta prioridad a soluciones similares a la actual y penalizando las que se alejen de ella. Se dice que la intensificación es un mecanismo de memoria de mediano plazo porque normalmente el proceso se da por terminado si durante un número fijo de iteraciones no se logra mejorar la función objetivo. Una vez terminado el proceso de intensificación puede resultar conveniente explorar regiones nuevas en el espacio de búsqueda. El mecanismo de memoria de largo plazo cumple con este objetivo de diversificación por favorecer soluciones con características diferentes a la solución actual. Ambos procesos, la intensificación y la diversificación, se incorporan en la función objetivo con pesos o ponderaciones que se modifican durante el desarrollo del algoritmo [8].

### 5.3.3 Algoritmo de la Búsqueda Tabú

En la figura 2 se muestra el pseudocódigo de la metaheurística Búsqueda Tabú.

Figura 2: Idea básica del algoritmo de la búsqueda tabú.



### 5.4 Heurística de Segmentación de Clientes

Una de las dificultades para la implementación del modelo de transporte planteado es la gran cantidad de nodos o clientes que el modelo debía considerar. Los nodos de la red se encuentran ubicados en diferentes zonas geográficas de la ciudad de Guayaquil que hemos denominado como zonas: 1, 2 y 3, por tal motivo se consideró necesaria la realización de una heurística que permita determinar el conjunto de clientes que se encuentran ubicados en las diferentes zonas, es decir, los resultados finales del presente

estudio estarán dados en función de las diferentes zonas y para los diferentes tipos de productos que maneja la empresa (productos refrigerados y secos).

La heurística consta de una función cuyos datos de entrada son el conjunto de clientes, la matriz de distancias y tres variables dadas por el usuario, cuyo valor haga referencia a un nodo o semilla perteneciente a cada zona. Para la estimación de las distancias se empleo la métrica de Manhattan la misma que será explicada brevemente en los parámetros del modelo.

El objetivo de la heurística es tomar las semillas dadas por el usuario y asignar cada nodo perteneciente a las diferentes zonas a un conjunto vacío.

En dichos conjuntos se incluirán únicamente aquellos nodos cuyas distancias sean mínimas partiendo desde el nodo dado por el usuario. En la figura 3, se presenta el código de la heurística de segmentación.

Figura 3. Heurística de segmentación.

```

segc[n1_, n2_, n3_, dis_, c1_] :=
(
  c1 = {}; c2 = {}; c3 = {};
  c1 = Append[c1, n1];
  c2 = Append[c2, n2];
  c3 = Append[c3, n3];
  For[t = 2, t <= Length[dis], t++,
    If[t != n1 && t != n2 && t != n3,
      e1 = dis[[n1, t]];
      e2 = dis[[n2, t]];
      e3 = dis[[n3, t]];
      If[e1 <= e2 && e1 <= e3, c1 = Append[c1, t],
        If[e2 <= e3 && e2 <= e1, c2 = Append[c2, t],
          If[e3 <= e1 && e3 <= e2, c3 = Append[c3, t]]];];];];
  zona1 = {}; For[w = 1, w <= Length[c1], w++,
    zona1 = Append[zona1, c1[[w]]];];
  zona2 = {}; For[q = 1, q <= Length[c2], q++,
    zona2 = Append[zona2, c2[[q]]];];
  zona3 = {}; For[r = 1, r <= Length[c3], r++,
    zona3 = Append[zona3, c3[[r]]];];
)
  
```

## 6. Análisis de Resultados

Este capítulo presenta el análisis de los resultados obtenidos con la implementación de la metaheurística basada en el algoritmo de la búsqueda tabú que permite resolver el problema.

### 6.1 Selección del vehículo

En el capítulo anterior se determinaron los posibles tipos de vehículos a utilizar y las marcas mediante la implementación del modelo de matriz de ponderación como se muestra en el resumen de las tablas 10 y 11.

**Tabla 10.** Tabla resumen de la selección de marca para el vehículo de 3.5 Ton.

Aspecto	Opciones	
	Chevrolet	Hyundai
Técnico 50%	1,87	2,42
Servicio Post-venta 35%	3,29	2,94
Económico 15%	4,4	4
<b>Total</b>	<b>2,746</b>	<b>2,839</b>

**Tabla 11.** Tabla resumen de la selección de marca para el vehículo de 5 y 10 Ton.

Aspecto	Opciones		
	Chevrolet	Hyundai	Hino
Técnico 50%	2	2,64	3,29
Servicio Post-venta 35%	3,44	3,16	2,89
Económico 15%	4,6	4	3,20
<b>Total</b>	<b>2,638</b>	<b>2,879</b>	<b>3,126</b>

Las tablas anteriores definen que para el vehículo de 3.5 Ton la marca Hyundai es ganadora con 3,026 puntos y para los vehículos de 5 y 10 Ton es la marca Hino con 3,1365 puntos.

Asimismo, en la tabla 12 se muestran los costos en los que se incurre al adquirir los tres tipos de vehículos en las marcas antes mencionadas.

**Tabla 12.** Precios de vehículos.

Marca	Chevrolet	Hyundai	Hino
Capacidad	3.5 Ton	5 Ton	10 Ton
Precio	\$ 27.990,00	\$ 32.032,00	\$ 60.807,04

## 6.2 Heurística de Segmentación

La implementación de la heurística de segmentación de clientes fue realizada para ambos tipos de productos que maneja la empresa con datos obtenidos en Google Earth de la ubicación geográfica de cada uno de los locales resultado que se muestra en las tablas 13 y 14.

**Tabla 13.** Clasificación de clientes que demandan productos refrigerados.

Productos Refrigerados	
Zona 1	23 Clientes
Zona 2	10 Clientes
Zona 3	8 Clientes

**Tabla 14.** Clasificación de clientes que demandan productos secos.

Productos Secos	
Zona 1	20 Clientes
Zona 2	9 Clientes
Zona 3	6 Clientes

## 6.3 Resultados del Ruteo

Los resultados obtenidos para la línea de productos alimenticios refrigerados y secos están dados por cada una de las zonas antes descritas, para ello se realizaron cinco corridas cada una con n iteraciones y una lista de m vecinos.

### 6.3.1 Productos Refrigerados

Los resultados del ruteo para los productos refrigerados se los muestra de acuerdo a cada zona.

- Zona 1

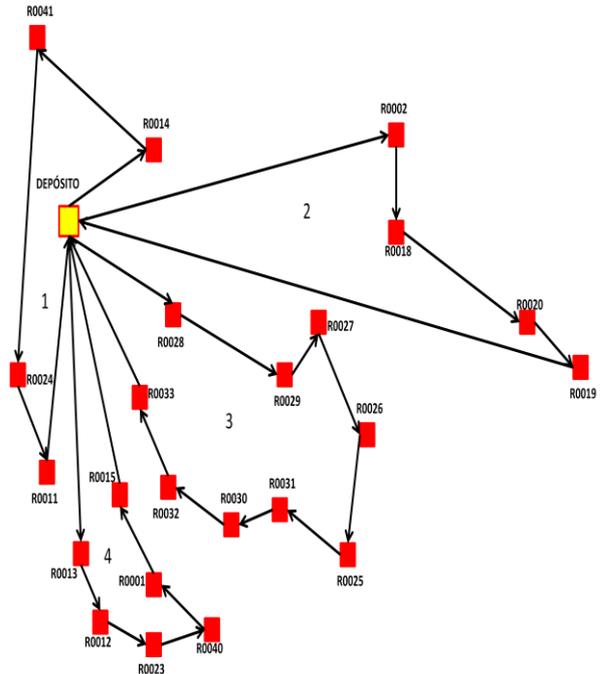
En la tabla 15 se detallan los costos iniciales y mejorados del ruteo del OPL.

**Tabla 15.** Detalle de costos en la zona 1 de productos refrigerados.

Zona 1	
Costo Inicial	\$ 270,00
Costo Mejorado	\$ 223,94
Ahorro Porcentual	17 %

En la figura 3 se puede observar el ruteo mejorado para la zona 1 de los productos refrigerados.

**Figura 3.** Ruteo para la entrega de productos refrigerados en la zona 1.



- Zona 2

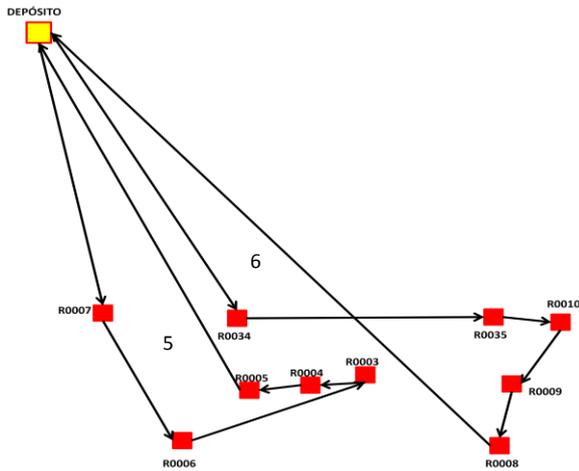
En la tabla 16 se detallan los costos iniciales y mejorados del ruteo del OPL.

**Tabla 16.** Detalle de costos en la zona 2 de productos refrigerados.

Zona 2	
Costo Inicial	\$ 90,00
Costo Mejorado	\$ 84,79
Ahorro Porcentual	6%

En la figura 4 se puede observar el ruteo mejorado para la zona 2 de los productos refrigerados.

**Figura 4.** Ruteo para la entrega de productos refrigerados en la zona 2.



- Zona 3

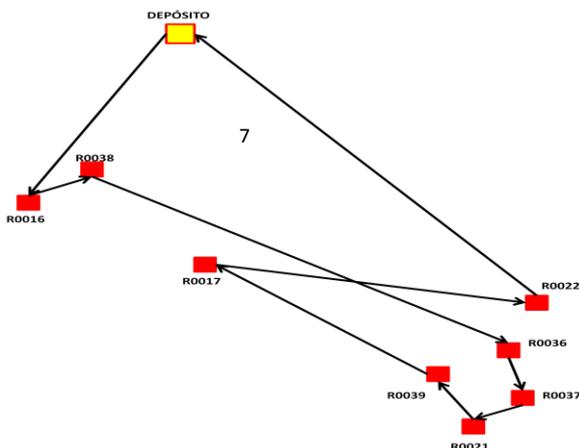
En la tabla 17 se detallan los costos iniciales y mejorados del ruteo del OPL.

**Tabla 17.** Detalle de costos en la zona 3 de productos refrigerados.

Zona 3	
Costo Inicial	\$ 90,00
Costo Mejorado	\$ 72,27
Ahorro Porcentual	20%

En la figura 5 se puede observar el ruteo mejorado para la zona 3 de los productos refrigerados.

**Figura 5.** Ruteo para la entrega de productos refrigerados en la zona 3.



En la tabla 18 se detallan los vehículos utilizados en cada ruta.

**Tabla 18.** Tipos de vehículos utilizados por ruta para distribución de productos refrigerados.

Ruta	Tipo de vehículo
1	10 Toneladas
2	3,5 Toneladas
3	5 Toneladas
4	10 Toneladas
5	3,5 Toneladas
6	3,5 Toneladas
7	10 Toneladas

### 6.3.2 Productos Secos

Los resultados del ruteo para los productos secos se los muestra de acuerdo a cada zona.

- Zona 1

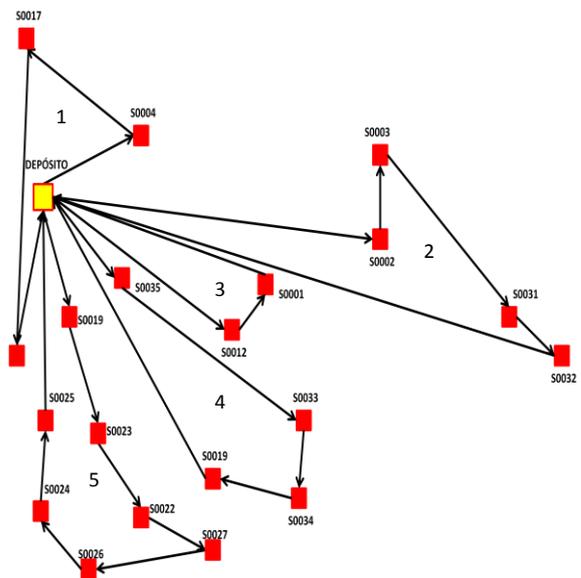
En la tabla 19 se detallan los costos iniciales y mejorados del ruteo del OPL.

**Tabla 19.** Detalle de costos en la zona 1 de productos secos.

Zona 1	
Costo Inicial	\$ 304,00
Costo Mejorado	\$ 261,69
Ahorro Porcentual	14%

En la figura 6 se puede observar el ruteo mejorado para la zona 1 de los productos secos.

**Figura 6.** Ruteo para la entrega de productos secos en la zona 1.



- Zona 2

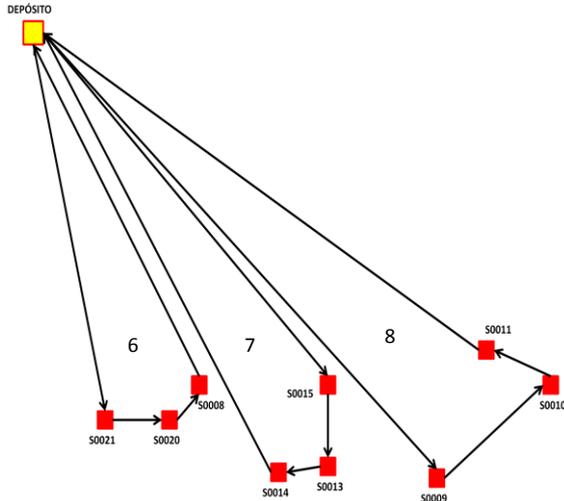
En la tabla 20 se detallan los costos iniciales y mejorados del ruteo del OPL.

**Tabla 20.** Detalle de costos en la zona 2 de productos secos.

Zona 2	
Costo Inicial	\$ 152,00
Costo Mejorado	\$ 119,28
Ahorro Porcentual	22%

En la figura 7 se puede observar el ruteo mejorado para la zona 2 de los productos secos.

**Figura 7.** Ruteo para la entrega de productos secos en la zona 2.



- Zona 3

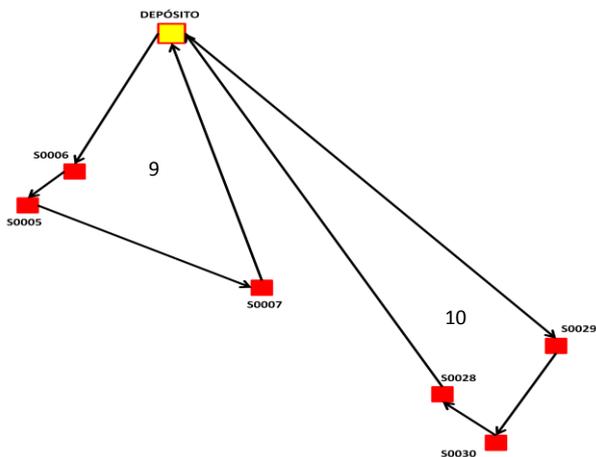
En la tabla 21 se detallan los costos iniciales y mejorados del ruteo del OPL.

**Tabla 21.** Detalle de costos en la zona 3 de productos secos.

Zona 3	
Costo Inicial	\$ 114,00
Costo Mejorado	\$ 103,34
Ahorro Porcentual	9%

En la figura 8 se puede observar el ruteo mejorado para la zona 3 de los productos secos.

**Figura 8.** Ruteo para la entrega de productos secos en la zona 3



En la tabla 22 se detallan los vehículos utilizados en

cada ruta.

**Tabla 22.** Tipos de vehículos utilizados por ruta para distribución de productos secos.

Ruta	Tipo de vehículo
1	3,5 Toneladas
2	3,5 Toneladas
3	10 Toneladas
4	10 Toneladas
5	10 Toneladas
6	3,5 Toneladas
7	3,5 Toneladas
8	3,5 Toneladas
9	3,5 Toneladas
10	10 Toneladas

## 7. Conclusiones y Recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

- En base al estudio técnico realizado en este trabajo se obtuvieron considerables reducciones en los costos, lo que puede ser atribuible al establecimiento del precio justo de transportación evitando que las partes implicadas en la contratación de la flota salgan perjudicadas.
- Para el caso de los productos refrigerados existe una reducción en los costos de transportación del 15%, mientras que para la distribución de productos secos el ahorro es del 9% como se indica en la tabla 23.

**Tabla 23.** Costos totales de transportación.

	Costo actual (mensual)	Costo mejorado	Costo actual (diario)	Costo mejorado	Ahorro porcentual
Productos Refrigerados	\$ 13.500	\$ 11.430	\$ 450	\$ 381,00	15%
Productos Secos	\$ 17.100	\$ 14.529,30	\$ 570	\$ 484,31	9%

- Una vez realizado el estudio en base a la matriz de ponderaciones se pudo determinar que la marca adecuada para vehículos de 3.5 Ton es Hyundai y para los vehículos de 5 y 10 Ton es la marca Hino. Así mismo, se puede afirmar que las cantidades a utilizar de cada tipo de vehículo son las que se muestran en la tabla 24.

**Tabla 24.** Cantidades de vehículos a utilizar

	Tipo de vehículo		
	3,5 [Ton]	5 [Ton]	10 [Ton]
Productos refrigerados	3	1	3
Productos secos	6	-	4

- Como resultado de las iteraciones del algoritmo se obtuvo el conjunto de rutas que contribuyen a mejorar la distribución de los productos de la empresa, determinando que las rutas de distribución deben ser rediseñadas debido a que actualmente la empresa utiliza un total de 10 rutas para abastecer a clientes que demandan productos refrigerados y 14 para aquellos que demandan productos secos, mientras que la solución del algoritmo plantea que únicamente sería necesaria la utilización de 7 y 10 rutas respectivamente para abastecer en su totalidad la demanda. Esta reducción de rutas contribuye al ahorro en los costos de transportación y a su vez favorece las operaciones de distribución.
- La planificación de las rutas como la que se plantea en este estudio, considera restricciones de ventanas horarias, demanda de productos tanto en cantidad como en calidad a fin de cumplir una promesa de servicio.

## 7.2 Recomendaciones

- Dado que el presente estudio es realizado para una empresa que pretende mejorar la distribución de sus productos empleando una flota tercerizada y en base a los resultados obtenidos con la implementación del algoritmo, no se considera necesaria la contratación del total de vehículos detallados en la tabla 24 ya que el cumplimiento de las ventanas horarias establece que una gran cantidad de rutas sean realizadas en horarios de la mañana y otras en horarios de la tarde. Esto facilita la planificación de rutas permitiendo a la empresa la designación de un mismo vehículo a rutas compatibles, siempre que estas no precisen ser realizadas al mismo tiempo. Por ello, se recomienda la contratación de los vehículos tal como se muestra en las tablas 25 y 26, esto no significa que exista una reducción de costos mayor que la presentada en la tabla 23 puesto que la realización de dos o más rutas empleando un mismo vehículo no exime a la empresa del costo sino del manejo de más vehículos para realizar la distribución.

**Tabla 25.** Cantidades de Vehículos a subcontratar para productos refrigerados

	Productos Refrigerados		
	3,5 [Ton]	5 [Ton]	10 [Ton]
Rutas en Horario Matutino	2	-	2
Rutas en Horario Vespertino	1	1	1
<b>Total de Vehículos a Subcontratar</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

**Tabla 26.** Cantidades de Vehículos a subcontratar para productos secos

	Productos Secos		
	3,5 [Ton]	5 [Ton]	10 [Ton]
Rutas en Horario Matutino	3	-	1
Rutas en Horario Vespertino	3	-	3
<b>Total de Vehículos a Subcontratar</b>	<b>3</b>	<b>-</b>	<b>3</b>

- Al realizar estudios de este tipo es recomendable considerar ciertas variables exógenas como las restricciones viales, variaciones en los costos que afectan directa e indirectamente al flete y otras dadas por la empresa como el porcentaje de utilización mínimo que debe poseer cada vehículo para poder salir del depósito.
- Antes de realizar la distribución diaria de productos, se considera necesario que cada chofer cuente con el plan de ruta impreso exigiéndole que cumpla con el orden detallado para obtener la reducción de costos estimada en el presente estudio.
- Es recomendable que las decisiones se tomen en base a estudios e investigaciones realizadas, la asignación de nuevos clientes a una ruta es una actividad que puede parecer sencilla pero que al realizarla de manera empírica es muy probable que genere efectos negativos en los costos y/o en la promesa de servicio.
- Es importante mencionar que existen otras maneras de realizar la segmentación de clientes, entre ellas la más recomendable para problemas de este tipo sería segmentar de acuerdo a la concentración de clientes en cada zona.
- Debido a la constante evolución del mercado, se recomienda el desarrollo de una plataforma informática que permita la modificación de los parámetros de entrada del modelo usando como base la información obtenida en este trabajo.

## 8. Referencias Bibliográficas

- [1] Hillier, F., Lieberman, G., Investigación de Operaciones, McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A., 2001, Pág. 1-2.
- [2] Cepeda, C., "Diseño de una red logística de abastecimiento de alimentos para la ciudad de Guayaquil mediante la aplicación de un modelo matemático". ESPOL. 2007.
- [3] García, J. y Maheut, J., "Modelos y métodos de investigación de operaciones," Grupo de Investigación ROGLE. 2011-2012. Pág.28.
- [4] Cortes, A., "Teoría de la complejidad computacional y teoría de la computabilidad," Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2004, ISSN: 1815-0268, Pág. 103-104.

[5] Delgado, Erwin., “Problema de recolección de Desechos Hospitalarios en la Ciudad de Guayaquil”. ESPOL. 2007.

[6] García, J. “AlgoriTonos basados en cúmulos de partículas para la resolución de problemas complejos,” 2006.

[7] Hernández, J., Presentación de “Metaheurísticas aplicada a la bioinformática”. Corporación universitaria para el desarrollo de internet A.C. 2011.

Pág. 4.

[8] Vélez M. y Montoya J. “Metaheurísticos: una alternativa para la solución de problemas combinatorios en administración de operaciones,” Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia). 2007, ISSN 1794-1237 Número 8, Pág. 106–108.

[9] AECOC, “RAL sobre productos congelados,” 1997.