

# “Análisis y diseño de mejoras en el proceso de planificación y distribución de dos operaciones en un operador logístico en la ciudad de Guayaquil”

Angie Katherine Álvarez Vélez <sup>(1)</sup> Leonardo Jair Sisalima Jiménez <sup>(2)</sup> Ing. Guillermo Alejandro Baquerizo Palma <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  
[akalvare@espol.edu.ec](mailto:akalvare@espol.edu.ec) <sup>(1)</sup>, [leojsis@espol.edu.ec](mailto:leojsis@espol.edu.ec) <sup>(2)</sup>, [gbaqueri@espol.edu.ec](mailto:gbaqueri@espol.edu.ec) <sup>(3)</sup>

## Resumen

*La empresa de estudio de este trabajo de graduación es un Operador Logístico de la ciudad de Guayaquil, la cual brinda servicio de transporte a diferentes clientes, entre las cuales se ha considerado dos de ellos para realizar un análisis y diseño de mejoras en el proceso de planificación y distribución del Operador Logístico. Se establecerán parámetros entre el OPL y el Cliente para tener una mejor relación y dar las responsabilidades a cada una de las partes, luego se procederá a realizar un análisis sobre los costos de transportación, considerando todo lo que esto implica y así mediante un programa matemático se realizará una mejora minimizando dichos costos.*

**Palabras Claves:** *Diseño de mejoras, parámetros, costos de transportación, programa matemático.*

## Abstract

*The company studied in this work is a ranking Logistics Operator of the city of Guayaquil, which provides transportation services to various clients, which are considered two of them for analysis and design of improvements to the process distribution planning and logistics operator. Parameters will be established between the OPL and the Customer to have a better relationship and responsibilities to each of the parties, and then proceed to an analysis of the costs of transportation, considering all that this implies and so using mathematical program improvements will be made to minimize these costs.*

**Keywords:** *Design improvements, parameters, transportation costs, mathematical program.*

## 1. Introducción

Todos los días se entregan productos en diferentes puntos de una ciudad, teniendo como referencia un origen que es el punto de distribución. Uno de los objetivos de los distribuidores es determinar el número de vehículos que se requieren para la entrega de bienes a los clientes con el objetivo de minimizar el costo de transporte.

Actualmente en Ecuador todo el concepto logístico todavía no está tecnificado en cada uno de los canales que conlleva este tema, es decir ruteo, sistemas de información, integración, etc.

En este sentido, cada vez son más conscientes de la importancia de la gestión del área de distribución (y la gestión logística en general) como parte esencial a la hora de aportar más valor a sus clientes y reducir sus costos. Sin embargo, es poca la utilización de modelos matemáticos a la hora del diseño de rutas, más bien se lo opera de forma empírica o con el mecanismo determinado a través del tiempo.

Se debe aclarar que los métodos antes mencionados por las organizaciones actualmente han

generado utilidades a las mismas por dicha razón no se arriesgan a implementar algo ajeno a lo antes utilizado.

De esta forma, la resolución de los problemas de distribución se convierte en una de las más notables en la investigación de operaciones ya que la reducción de una pequeña parte de los costos operativos puede reflejarse en enormes ahorros económicos e impactar en factores medioambientales, además de incrementar la satisfacción del cliente.

Entonces una planificación del diseño de rutas puede generar ahorros entre el 10% y el 20% en los costos de transportación. Por lo general estos problemas son difíciles de resolver ya que en la práctica el número de clientes es grande y no se resolvería en tiempo polinomial.

## 2. Código de buenas prácticas

Este tipo de operaciones deben tener una regulación de referencia para garantizar el desarrollo futuro de la misma esta puede ser de dos formas:

- Regulación por la administración pública a través de leyes y reglamentos.
- Autorregulación por las empresas que operan en el mercado.

## 2.1 Principios

- Principio de Independencia
- Principio de respeto a las normas de la libre competencia
- Principio de sostenibilidad
- Principio de establecimiento de estándares de servicio
- Principio de compromiso de calidad
- Principio de dignificación de la subcontratación
- Principio de cumplimiento de las normas laborales y mercantiles
- Principio de cobertura de riesgos y responsabilidades
- Principio de respeto al medio ambiente
- Principio de cumplimiento a los criterios de prevención de riesgos laborales, salubridad y seguridad
- Principio de transparencia
- Principio de confidencialidad
- Principio de autocontrol

## 3 Definición de ruteo vehicular

Se puede definir ruteo vehicular:

- Uno o más vehículos deben, desde una (o varias) bodega(s), visitar  $n$  clientes para luego volver a su punto de salida.
- Cada cliente debe ser visitado sólo una vez, y la distancia (o costo) total debe ser lo más corta posible.
- $C_{ij}$  representa la distancia (o costo) entre el cliente  $i$  y el  $j$ .

### 3.1 Introducción al VRP

El VRP aparece naturalmente como un problema central en transporte, distribución y logística y pertenece a la clase de problemas NP-difíciles quiere decir que no se conocen algoritmos “eficientes” para su solución exacta. Ha sido estudiado por cerca de 50 años y en la actualidad para el diseño de rutas se utilizan sistemas computarizados.

A menudo, conducen a ahorros de entre 5% y 20% de los costos de producción. El VRP es la intersección de dos problemas fundamentales:

- Traveling Salesman Problem (TSP): Encontrar la ruta más corta que visita todos los nodos de un grafo completo.[2]

- Bin Packing Problem (BPP): Determinar el menor número de recipientes de capacidad  $C$  requeridos para empackar un conjunto dado de objetos.[2]

### 3.2 Problema del ruteo vehicular

El problema del enrutamiento de vehículos o VRP (Vehicle Routing Problem) se podría decir que es una evolución del problema del viajero o TSP (Travelling Salesman Problem). Este problema consiste en servir una serie de clientes ubicados geográficamente de manera dispersa, para atender los clientes se cuenta con una flota de vehículos que parten desde un depósito central, el problema consiste en asignar a cada vehículo una ruta de clientes, de manera que se minimice la distancia recorrida y visite todos los clientes una sola vez.

### 3.3 Evolución del VRP

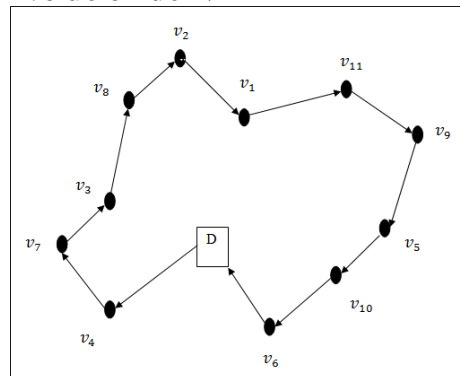


Figura 1 TSP (Problema del agente viajero)

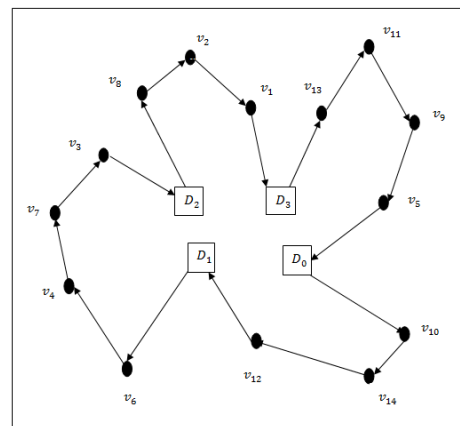


Figura 2 M-TSP (Multi Depot-Problema del agente viajero)

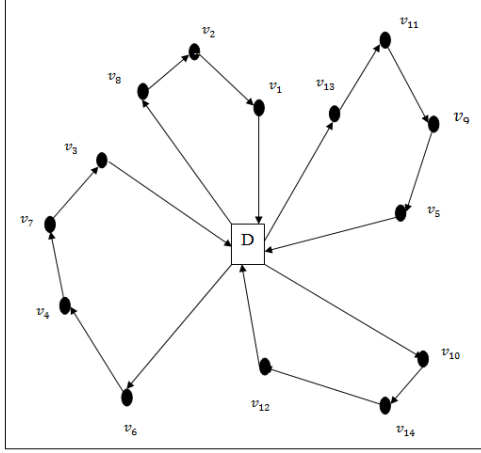


Figura 3 VRP (Vehicle Routing Problem)

### 3.4 Modelo matemático del VRP

Un grafo dirigido  $G = (V, E)$  con  
 $V = \{v_0, v_1, v_2, \dots, v_n\}$   $E = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in V, v_i \neq v_j\}$

Y un vector de costos  $c \in R^E$  (también: tiempos de desplazamientos)

El nodo  $v_0$  representa el depósito y tiene asociada una capacidad  $m$  (número de vehículos) [3]

Los nodos  $v_1, v_2, \dots, v_n$  representan clientes y tienen asociadas demandas  $d_1, d_2, \dots, d_n$  y tiempos de servicio.

El VRPTW consiste en la construcción de un conjunto de a lo mucho  $M$  rutas que satisfagan las siguientes restricciones:

- Cada ruta comienza y termina en el depósito.
- Cada cliente es visitado una y sólo una vez por cada un solo vehículo.
- La demanda de cada cliente se satisface en cada visita.
- Los clientes son atendidos dentro de las ventanas de tiempo.
- La demanda total no excede la capacidad  $Q$  de cada vehículo.

Se puede definir la siguiente variable binaria

$$X_{ijm} = \begin{cases} 1, & \text{si el arco } (v_i, v_j) \in E \text{ es considerado en la ruta de un vehiculo } m \in M \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases}$$

Función objetivo está asociada a la suma de todos los costos asociados a los arcos que pertenecen a una solución dada.

$$\min \sum_{m \in M} \sum_{(v_i, v_j) \in E} c_{ij} X_{ijm}$$

La primera condición que debe cumplirse es que luego de visitar un vehículo a un cliente  $v_i \in V \setminus \{v_0\}$ , este debe visitar a uno y solamente a un cliente o al depósito [3].

$$\sum_{m \in M} \sum_{v_j \in \Delta^-(v_i)} X_{ijm} = 1, \forall v_i \in V \setminus \{v_0\}$$

De igual forma, cada recorrido realizado por un vehículo  $m \in M$  debe terminar en el depósito  $v_0$ .

$$\sum_{v_j \in \Delta^+(v_0)} X_{i0m} = 1, \forall m \in M$$

De la misma manera, después de visitar sólo una vez a cada cliente  $v_i \in V \setminus \{v_0\}$ , el vehículo debe dirigirse, a un solo vértice  $v_j \in V$ .

$$\sum_{v_j \in \Delta^+(v_i)} X_{ijm} - \sum_{v_j \in \Delta^-(v_i)} X_{jim} = 0, \forall m \in M, \forall v_i \in V \setminus \{v_0\}$$

La suma de las demandas asociadas a los clientes que son satisfechas por la visita de un vehículo  $m \in M$ , no puede superar la capacidad  $Q$  del mismo.

$$\sum_{v_i \in V \setminus \{v_0\}} d_i \sum_{v_j \in \Delta^+(v_i)} X_{ijm} \leq Q, \forall m \in M$$

Sea  $t_{v_i}$  el tiempo de llegada del vehículo a un cliente  $v_i$ , entonces se debe cumplir con los intervalos de tiempo para cada cliente  $[e_{v_i}, l_{v_i}]$ .

$$e_{v_i} \leq t_{v_i} \leq l_{v_i}, \forall v_i \in V \setminus \{v_0\}$$

Donde  $S_{v_i}$  se define como el tiempo de servicio del cliente  $v_i \in V \setminus \{v_0\}$

Se define la función de tiempo modificada

$$\tilde{t}_{v_i v_j} = \begin{cases} t_{ij} + S_{v_i}, & \text{si } v_i \in V \setminus \{v_0\} \\ t_{ij}, & \text{caso contrario} \end{cases}$$

Asimismo, se define al par ordenado de clientes  $(v_i, v_j)$  como compatibles, si algún vehículo  $m \in M$  puede visitar  $v_j$  inmediatamente después de  $v_i$ , es decir

$$X_{ijm} (t_{v_i} + \tilde{t}_{v_i v_j} - t_{v_j}) \leq 0, \forall (v_i, v_j) \in E, v_i, v_j \neq v_0$$

Ya que no es lineal esta ecuación se tendrá que linealizar, para ello se utilizará el método *Big N*.

$$t_{v_j} - t_{v_i} \geq S_i + t_{ij} N (1 - X_{ijm}), \forall m \in M$$

Debido a que el problema del VRPTW es NP- Duro, es decir no puede resolverse en tiempo polinomial se ha desarrollado diversas heurísticas que proveen buenas soluciones para el desarrollo del este tipo de problemas.

## 4. Tabu search

El término Búsqueda Tabú (Tabu Search -TS) fue introducido en 1986 por Fred Glover en el mismo artículo que introdujo el término metaheurística. Los principios fundamentales de la búsqueda fueron elaborados en una serie de artículos a finales de los años 80 y principios de los 90, que fueron luego unificados en el libro "Tabu Search" en 1997. El destacado éxito de la búsqueda tabú para resolver problemas de optimización duros, especialmente aquellos que surgen en aplicaciones del mundo real, ha causado una explosión de nuevas aplicaciones durante los últimos años.

La búsqueda tabú es una metaheurística que guía un procedimiento heurístico de búsqueda local en la búsqueda de optimalidad global. Su filosofía se basa en derivar y explotar una colección de estrategias inteligentes para la resolución de problemas, basadas en procedimientos implícitos y explícitos de aprendizaje.

La búsqueda tabú es una Metaheurística muy usada que utiliza algunas ideas de sentido común para permitir que el proceso de búsqueda escape de un óptimo local.[4]

#### 4.1 Esquema

Cualquier aplicación de la búsqueda tabú incluye como una subrutina algún procedimiento de búsqueda local que parezca apropiado para el problema bajo consideración. Un procedimiento de búsqueda local opera como un procedimiento de mejora local excepto que no requiere que cada nueva solución de prueba sea mejor que la solución de prueba anterior)

El proceso comienza con este procedimiento como un procedimiento de mejora local de la manera usual (es decir, al aceptar sólo una solución mejorada en cada iteración) para encontrar un óptimo local.

Una estrategia de la búsqueda tabú es que continúa la búsqueda pero permite movimientos sin mejora hacia las mejores soluciones en la vecindad del óptimo local. Una vez que se alcanza un punto en el que se pueden encontrar mejores soluciones en la vecindad de la solución de prueba, se aplica de nuevo el procedimiento de mejora local para encontrar un nuevo óptimo local.

El peligro de este enfoque es que después de dejar un óptimo local, el proceso se puede ciclar y regresar al mismo óptimo local. Par evitar este círculo vicioso, la búsqueda tabú prohíbe en forma temporal los movimientos que pudieran regresar el proceso, a una solución visitada recientemente.

Una lista tabú registra estos movimientos prohibidos, los cuales se conocen como movimientos tabú.

Existen conceptos avanzados como la intensificación, que implica la exploración de una parte de la región factible con más intensidad de la usual para encontrar en ella muy buenas soluciones, y

la diversificación que implica forzar la búsqueda entrando en áreas de la región factible que no se han explorado con anterioridad, para implantar estos conceptos se utiliza la memoria a largo plazo.[4]

## 5 Propuesta

### 5.1 Diseño de parámetros requeridos para mejorar la relación entre OPL-Cliente.

Se debe tener claro que la confianza y la integridad son esenciales en una economía de libre mercado. Las empresas deberán proyectar estos valores hacia los clientes, proveedores, empleados, etc.

Entre un Operador Logístico y el cliente deben existir parámetros para poder compartir responsabilidades y manejar la operación de manera conjunta.

A continuación se definirán 10 principios básicos para que se tenga una mejor relación OPL-Cliente.

#### 1. Principio de Procedimiento

- El camión es cargado durante la madrugada para poder salir el día siguiente a realizar la ruta.
- La ruta es realizada con un ayudante proporcionado por el cliente para verificar la constancia de la entrega.

#### 2. Principio de Información

- Ofrecer la información suficiente a clientes actuales y potenciales acerca de las características del servicio prestado por el operador y las tarifas aplicadas.
- El Operador Logístico deberá capacitar a sus trabajadores sobre la empresa a la que se brindará el servicio, conocer los cuidados del producto, las reglas impuestas, el proceso a seguir, etc.

#### 3. Principio de Confidencialidad

- No se deberá difundir información confidencial tanto del Operador como del Cliente a personas o entidades ajenas a la operación.
- El Cliente no deberá compartir la información de tarifas a otras empresas, ni descuentos, promociones, etc.

#### 4. Principio de Cumplimiento

- El camión deberá estar la noche anterior para poder ser cargado durante la madrugada.
- Al día siguiente en la hora pactada para el comienzo de ruta el chofer deberá estar puntual y el camión ya debe de tener toda la carga completa para realizar la entrega.

#### 5. Principio de Presentación

- Los camiones tendrán que llegar limpios a las bodegas correspondientes, para poder cargar y no tener inconvenientes con la carga.
- Tanto el chofer y el ayudante por parte del Cliente deberán estar de una manera presentable, y equipados para realizar la ruta respectiva.

#### 6. Principio de Tiempo

- Cumplir con los tiempos establecidos tanto para el Operador como para el cliente, es decir al comienzo de la ruta, durante y al final de la misma.

#### 7. Principio de Responsabilidades

- Si existiese alguna pérdida durante la ruta, la responsabilidad será compartida, Chofer-Ayudante.
- Si existiese un robo se tendrán dos enfoques del mismo:
  - ✓ Si el robo es por descuido de las personas involucradas, se descontará parte del sueldo de las mismas por el valor de la mercancía perdida
  - ✓ Caso contrario se analizará el tema con el Operador y el Cliente para llegar a una mejor resolución.

#### 8. Principio de Permisos

- El camión deberá estar debidamente legalizado con todos los papeles al día, si llegase a ser detenido por alguna autoridad y éste tiene carga del cliente, será netamente responsabilidad del Operador.
- Si la documentación del producto no está completa o errónea y llegase a tener inconvenientes con alguna autoridad, será netamente responsabilidad del Cliente.

#### 9. Principio de Entrega.

- Si al momento de ir al lugar de destino, el cliente no recibe el producto se deberá analizar el caso por el cual no lo recibe y determinar responsabilidades como:
  - ✓ Si la carga llegó en mal estado por consecuencia del viaje, esa ruta no será tomada en cuenta al

momento de la facturación del Operador.

- ✓ Si la carga está incompleta o no es lo que el cliente solicitó, ese viaje será cobrado por el Operador así no se haya realizado la entrega.
- ✓ Caso contrario a los anteriores, se realizará una reunión entre ambas partes para definir responsabilidades.

#### 10. Principio de Facturación.

- El reporte de facturación tendrá que ser enviado al cliente por quincena (viernes), una vez enviado al cliente a más tardar martes de la siguiente semana deberá ser validado para que el Operador pueda realizar la respectiva facturación, si no se cumplen los días pactados de acuerdo al proceso, en la siguiente facturación habrá un descuento del 2% a favor de que sí lo cumplió.
- Una vez realizada la factura se tendrá un plazo de quince días para que esta sea cancelada, caso contrario no se realizará ninguna ruta hasta que no se realice el pago.

Cualquier incumplimiento de alguno de los principios establecidos, será sancionado por el 1.5% del total de la facturación de la ruta. Si los incumplimientos por cualquiera de las dos partes continúan, la empresa afectada podrá terminar el contrato si así lo desea.

### **5.2 Metaheurística para resolver el ruteo vehicular.**

Como se definió anteriormente en el diseño de rutas será modelado por un CVRPTW, por lo cual para su resolución será un algoritmo basado en la búsqueda Tabú, el cual tendrá las siguientes partes:

#### **5.2.1. Solución Inicial**

Para una solución inicial se empleará una heurística glotona, que mediante el algoritmo del vecino más cercano se encontrará una solución inicial, considerando capacidad del camión y respetando la hora máxima de llegada a un cliente.

Se creó una función para obtener esta solución inicial, llamada CVRPTW.

*CVRPTW[Distancias, ventana, demanda, tiempo]*

La solución actual del CVRPTW (OP1) es:  
 $\{1,7,5,1,3,4,11,1,9,1,10,1,6,12,1,8,2,1\}$

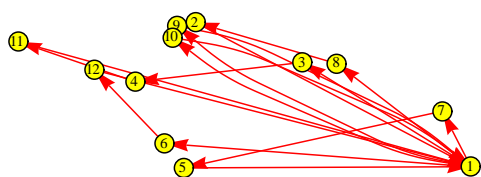


Figura 4 Solución inicial de OP1

### 5.2.2. Asignación del costo de una solución

Esta función determina el costo asociado a una solución recibiendo como parámetros de entrada una solución, la matriz de distancias, las ventanas de tiempo, tabla de tiempos entre cliente y una penalización en caso que incumpla con el límite superior de la ventana horaria de algún cliente.

### 5.2.3 Función Intercambio

Esta función nos permite explorar la vecindad cambiando dos clientes entre rutas factibles es decir cumpliendo ventanas de tiempos y capacidad del camión. Es necesario mencionar que este intercambio entre rutas puede mejorar o empeorar el costo de la solución.

En este caso existe un cambio factible de cliente entre la ruta 4 y la ruta 5, se puede observar en el siguiente caso.

$\{\{1,7,5\}, \{1,3,4,11\}, \{1,9\}, \{1,6\}, \{1,10,12\}, \{1,8,2\}\}$   
 $\{\{1,7,5\}, \{1,3,4,11\}, \{1,9\}, \{1,10\}, \{1,6,12\}, \{1,8,2\}\}$

### 5.2.4 Lista de Candidatos

Dado un número de tamaño, esta lista almacena en sus dos primeras columnas los cambios de clientes entre rutas y en la última columna almacena la diferencia de los costos de estos cambios respectivamente, con el objetivo de identificar si este cambio mejora o empeora, esto quiere decir que de toda la lista la fila que tenga en su tercera columna el número más negativo será el que haya mejorado con más eficiencia la solución.

Así se presenta la lista de OP1

10	9	$5.684341886080801 \times 10^{-14}$
10	8	-10.699999999999989
9	6	7.699999999999989
7	10	-15.599999999999966
7	12	17.699999999999999
3	7	6.
10	7	-15.599999999999966
10	4	22.200000000000045
6	2	9.
10	7	-15.599999999999966
9	4	24.5
7	4	22.399999999999977
10	7	-15.599999999999966
5	12	-3.7999999999999545
12	5	-3.7999999999999545
9	10	$5.684341886080801 \times 10^{-14}$
4	12	0.
9	3	-7.2999999999999545
10	12	5.
4	7	22.399999999999977

	Actual	Propuesta	Contraste	Contraste (%)
Distancia(Km)	102.2	93.65	8.55	8.365
Tiempo de viaje (min)	811	766	45	5.54
Costo total (\$)	91.1107	90	1.1107	1.2190
Orden de visita de Los clientes	1,9,7,2,8,1 1,11,10,12,1 1,13,14,15,1	1,14,15,13,1 1,11,10,12,1 1,4,2,5,6,1		
	1,4,3,5,6,1	1,9,7,8,3,1		

### 5.2.5 Función llamada “memoriapos”

Esta función elige el cambio que genera menor costo en la función en este caso la coordenada elegida es  $\{10,7\}$  para OP1, esta función recibe como parámetros la lista de candidatos y otra función llamada matrixmen que obliga a no seleccionarla en un número determinado de iteraciones.

### 5.2.6 Función “Actualiza”

La función actualiza trabaja con los resultados de la función memoriapos, es decir las coordenadas que te dan como resultado, actualizando el vector solución con su respectivo cambio.

### 5.2.7 Función Tabu Search

Basándose en un algoritmo de búsqueda tanto de vecindad local (intensificación) como cambio de vecindad (diversificación) para cada proceso, se realiza una lista de mejores resultados presentados por cada iteración de los procesos ya mencionados del cual al final se obtendrá el mejor es decir el de menor costo de las listas memorias.

A continuación los resultados de esta función:

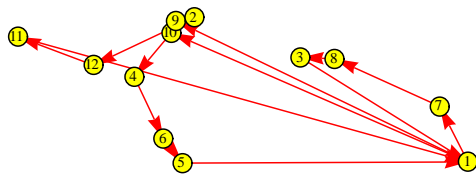


Figura 5 Solución inicial de OP1

## 6. Análisis de los resultados

La metodología que utiliza el OPL para desarrollar este tipo de ruteo se basa en la experiencia que ha desarrollado a través del tiempo que ha permanecido ofreciendo este servicio. La siguiente tabla muestra la comparación entre la situación actual y la solución propuesta por el algoritmo de búsqueda Tabú.

	Actual	Propuesta	Contraste	Contraste (%)
Distancia(Km)	177.5	139.80	37.7	21.23943
Tiempo de viaje (min)	693	685	8	1.15
Costo total (\$)	100.03375	95.5663	4.46745	4.4659
Orden de visita de Los clientes	1,3,8,7,1 1,11,12,4,6,5,1 1,2,9,10,1	1,10,4,6,5,1 1,9,2,12,11,1 1,7,8,3,1		

Tabla 1 Análisis de resultados de OP1

## 7. Conclusiones y Recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

Para este trabajo se ha diseñado y analizado los parámetros entre OPL-cliente y posteriormente se ha modelado el problema del CVRPTW mediante una heurística de tipo Tabú, lo cual el objetivo primordial era la disminución en distancias recorridas totales generando un beneficio económico para la empresa, abarcando desde la causa raíz del problema que se encontraba la empresa hasta la planificación de nuevas rutas.

A lo largo de la investigación realizada sobre el análisis y diseño de mejoras en el proceso de planificación y distribución, se puede distinguir entre una empresa ordenada con una que no lo es, ya que al momento de realizar una negociación para brindar un buen servicio se debe de plantear parámetros para dar un mejor rumbo al acuerdo entre ambas partes, por lo que se puede concluir que con estos parámetros se logre los siguientes puntos:

- Compartir responsabilidades, fracasos y éxitos.
- Realizar un trabajo más ordenado.

- Brindar un nivel de servicio mejor.
- Ambas partes deberán colaborar en la realización de los principios o parámetros a seguir para que haya equidad entre las dos partes.

Con respecto a la planificación de rutas se puede concluir que:

- El modelo de programación lineal entero mixto formulado en la sección 2.4.2 y resuelto por una metaheurística implantada en la sección 3.5, permitió generar buenos resultados, con respecto a la solución actual de la empresa, cumpliendo así lo objetivos propuestos.
- Se obtuvo un ahorro en combustible de \$2.20 diarios de la flota, que involucra también un beneficio medioambiental.
- También se logró disminuir los tiempos de viajes al visitar todos los clientes por día, generando así más tiempo de descanso para los choferes por día.
- En distancias totales recorridas se obtuvo una diferencia de 26.6 km con respecto a la situación actual lo que generó un ahorro del 14.98% diarios.
- Se logró cumplir de manera satisfactoriamente con las ventanas horarias de los clientes.

### 7.2 Recomendaciones

Se recomienda implementar los parámetros propuestos en el presente trabajo por el intercambio de información entre los Operadores Logísticos y sus clientes, con el fin de acortar ciclos de entrega, optimizar los movimientos logísticos, mejorar el nivel de notificación sobre stocks y el servicio al cliente. También se recomienda por los resultados obtenidos, el uso de este algoritmo para el enrutamiento vehicular, ya que amplía el espacio de búsqueda de soluciones factibles, por lo que manualmente con un número mayor de clientes sería difícil explorar esta búsqueda.

Se recomienda utilizar este método añadiéndole una función de distribución de probabilidades para el

Tabla 2 Análisis de resultados de OP2

tiempo de atención en los clientes, esto supondría la obtención de datos aún más realistas.

Se sugiere comparar los resultados de la metaheurística Tabu Search con otro tipo de metaheurísticas como por ejemplo con la de Recocido Simulado mencionada antes en el capítulo 2, con el fin de diferenciar la eficiencia de las mismas.

Además se sugiere modificar el algoritmo en los módulos de solución inicial y exploración de vecindario, agregando otro tipo de metodologías que

mejoren el desempeño de la metaheurística tanto en tiempo computacional como los resultados.

### 13. Agradecimientos

Agradezco primero a Dios por iluminarme día a día en el camino de mi vida universitaria, a mi familia, a mis profesores en general entre ellos el ingeniero Baquerizo por demostrar la preocupación e interés al realizar poco a poco este proyecto, al ingeniero Erwin Delgado por la confianza, amistad y enseñanza que supo brindarme, y al ingeniero Pablo Álvarez por enseñarme que pase lo que pase hay que defender la verdad y la justicia ante todo. Agradezco a mi compañero de Tesis Jair Sisalima por esa patadita de confianza que supo darme en el momento perfecto.

Angie Katherine Álvarez Vélez

El mayor de los agradecimientos a nuestro creador Dios que nos bendice día a día.

Agradezco a mis padres que me brindaron su apoyo incondicional y a mis profesores que participaron de manera activa en nuestra formación académica, así como al ingeniero Guillermo Alejandro Baquerizo coordinador de la carrera, que siempre estuvo al tanto del éxito de este proyecto, agradezco a la empresa por la proporción de datos necesarios para realizar este proyecto y por último a mi compañera de tesis que más que una amiga supo darme ese consejo que necesité en el transcurso del presente proyecto.

A mis amigos, a todos y cada uno de ellos, por estar ahí siempre, en los buenos y malos momentos.

Leonardo Jair Sisalima Jiménez

### 8. Referencias

- [1] A., T. H. (2004). *Investigación de Operaciones*. Mexico: Pearson.
- [2] Daza, J. M., Montoya, J. R., & Narducci, F. (2009). Resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases. *EIA, ISSN*, 23-38.
- [3] Delgado, E. (2010). *Problema del ruteo vehicular*. Guayaquil.
- [4] J., F. H. (2007). *Introducción a la investigación de operaciones*. Mexico: Pearson.
- [5] María González PRODUCCIÓN, P. Y. (2 de 2002). *GESTIOPOLIS*. Obtenido de <http://www.gestiopolis.com/canales/economia/articulos/42/modeloasigna.htm>
- [6] Pirabán, A. J. (2008). *Problema de enrutamiento de vehículos*. Obtenido de <http://andresjaquep.files.wordpress.com/2008/12/estado-del-arte-vrpprimer-entrega.pdf>
- [7] Salvador, B. R., Gutiérrez Andrade, M. A., & De los Cobos Silva, S. G. (s.f.). *BUSQUEDA TABU: Un Procedimiento Heurístico para Solucionar Problemas de Optimización Combinatoria*. Obtenido de <http://www.azc.uam.mx/publicaciones/enlinea2/1-3.htm>
- [8] UDT-IA Unidad de desarrollo Tecnológico en Inteligencia artificial. (9 de 2002). Obtenido de <http://www.iiia.csic.es/udt/es/blog/jrodriguez/2009/vehicle-routing-problem-vrp-problema-del-enrutamiento-vehiculos>