



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS**  
**DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS**  
**INFORME DEL PROYECTO DE MATERIA INTEGRADORA**

“Diseño de un método heurístico para maximizar la productividad de la flota pesada con carga contenerizada.”

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**  
**INGENIERA EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE**

**PRESENTADO POR:**

Elodía Barragán Sarmiento

Marcos Romero Suárez

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

**2016**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS**

**INGENIERÍA EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE**

**INFORME DEL PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA**

Habiendo sido nombrado PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA de los señores,

**MARÍA ELODÍA BARRAGÁN SARMIENTO**

**MARCOS EDUARDO ROMERO SUÁREZ**

Con el tema del proyecto integrador “Diseño de un método heurístico para maximizar la productividad de la flota pesada con carga contenerizada.”, previa a la obtención del título de INGENIERO EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE me permito informar que he leído el contenido y he revisado el formato del proyecto integrador, luego de lo cual indico que estoy de acuerdo en que el mismo se lo ha desarrollado conforme a los lineamientos de la Unidad de Titulación Especial de la ESPOL.

Guayaquil, Septiembre de 2016

**GUILLERMO ALEJANDRO BAQUERIZO PALMA**  
**PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios... sin Él no estuviera aquí.  
A mi abuelita por ser mi confidente y mi todo.  
A mi tía por ser mi segunda madre.  
A mi hermano que siempre estuvo pendiente de mí.  
A mi familia porque me ama incondicionalmente.  
A mis profesores por brindarme su ayuda en la realización de éste proyecto.  
A mis amigos por darme alegrías y esperanzas.

-Elodía Barragán

Gracias a Dios por todo, en especial por mi familia.  
Gracias a mis hermanos que siempre estarán para mí, como yo para ellos.  
Gracias a mi madre que siempre estuvo pendiente de mí, a pesar de todos mis errores.  
Gracias a mis compañeros, que hicieron que esta etapa de mi vida sea divertida y muy competitiva

-Marcos Romero

## DEDICATORIAS

Porque sé que has sido mi ejemplo a seguir.  
Porque sé que quieres que sea una gran mujer y profesional.  
Porque sé que ambos hemos sido nuestro apoyo en los momentos difíciles.  
Porque sé que a pesar de todo, quieres lo mejor para mí.  
Y porque sé que me amas, tanto como yo te amo a ti

Infinitas gracias, papá.  
-Elodía Barragán

Puesto que desde que nací sé que sabías que este momento llegaría.  
Porqué en momentos difíciles no dejas que nada te impida cuidar de nuestra familia.  
Por enseñarme que la vida no es nada fácil y que hay que ganársela con trabajo y esfuerzo.  
Porque nunca dejo de aprender de tí y siempre me sorprendes con algo nuevo.

Papá, este trabajo es para ti.  
-Marcos Romero

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Máster Guillermo Baquerizo Palma  
DIRECTOR DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

---

Ph.D. Johni Bustamante Romero  
VOCAL DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

## DECLARACIÓN EXPRESA.

“La responsabilidad del contenido de este proyecto de graduación, nos corresponde exclusivamente y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Reglamento de Graduación de la ESPOL.

---

*María Elodía Barragán Sarmiento*

---

*Marcos Eduardo Romero Suárez*

# ÍNDICE

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	8
ÍNDICE DE TABLAS .....	9
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	10
Capítulo 1.- Antecedentes.....	11
1.1 Reseña histórica de la empresa.....	11
1.2 Problemática actual.....	12
1.3 Justificación del problema.....	12
1.4 Hipótesis de trabajo .....	13
1.5 Objetivo general .....	13
1.6 Objetivos específicos .....	13
Capítulo 2 .- Revisión de literatura.....	14
2.1 Introducción.....	14
2.2 Marco conceptual .....	16
2.2.1 Definición del problema de asignación .....	16
2.2.2 Características en el problema de asignación.....	17
2.2.3 Elementos en el problema de asignación.....	18
2.2.4 Ventanas de tiempo en el problema de asignación.....	21
2.2.5 Heurísticas .....	22
Capítulo 3.- Metodología del trabajo .....	24
Capítulo 4.- Algoritmos y resultados .....	27
4.1 Algoritmo del proyecto .....	27
4.2 Resultado del análisis .....	36
Capítulo 5.- Conclusiones y recomendaciones.....	39
Bibliografía .....	41

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1.2 Imagen corporativa .....	<b>11</b>
Figura 3.1 Flujograma de actividades .....	<b>23</b>
Figura 3.2 Cronograma de trabajo en diagrama de gannt .....	<b>24</b>
Figura 3.3 Procesamiento de pedidos .....	<b>25</b>
Figura 4.1.1 Importación de datos y cálculo de la matriz de distancia.....	<b>27</b>
Figura 4.1.2 Método de la burbuja .....	<b>28</b>
Figura 4.1.3 Función compatibilidad de vector ruta vs choferes .....	<b>29</b>
Figura 4.1.4 Función Time .....	<b>30</b>
Figura 4.1.5 Funciones long y carga .....	<b>31</b>
Figura 4.1.6 Creación de las rutas .....	<b>32</b>
Figura 4.1.7 Algoritmo para la asignación de choferes .....	<b>33</b>
Figura 4.1.8 Diagrama de flujo general del proyecto .....	<b>34</b>
Figura 4.2.1 Comparación de asignaciones .....	<b>36</b>
Figura 4.2.1 Comparación porcentual de asignaciones .....	<b>37</b>
Figura 4.2.3 Productividad de la flota.....	<b>37</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.2 Rutas .....	35
-----------------------	----

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

### -A-

ASIGNACIÓN: Es una variación del problema original de transporte, variación en la cual las variables de decisión  $X(i,j)$  solo pueden tomar valores binarios, es decir ser cero (0) o uno (1) en la solución óptima, lo que supone que la oferta y la demanda están perfectamente alineadas, de hecho ambas son iguales a uno (1).

### -E-

ESTIBA: Es la técnica de colocar la carga a bordo para ser transportada con un máximo de seguridad para el buque y su tripulación, ocupando el mínimo espacio posible, evitando averías en la misma y reduciendo al mínimo las demoras en el puerto de descarga.

### -H-

HEURÍSTICA: Conjunto de técnicas o métodos para resolver un problema.

### -M-

METAHEURÍSTICA: Es un algoritmo de mejora que utiliza los resultados de una heurística para según el tipo de método a usar, generar un mejor beneficio.

### -O-

OPERADOR LOGÍSTICO: Es una empresa que, por encargo de su cliente, diseña los procesos de una o varias etapas de su cadena de suministro como son el aprovisionamiento, transporte, almacenaje y distribución.

### -V-

Ventanas de Tiempo: Es el rango de tiempo que los clientes disponen para la empresa, para poder realizar la entrega de la mercadería. Pueden ser duras o flexibles.

## **Capítulo 1**

### **Antecedentes**

#### **1.1. Reseña histórica de la empresa**

Para efectos de confidencialidad de la empresa, denominaremos a TRANSCARGA como una empresa de operador logístico de comercio exterior, la cual engloba todo lo relacionado a embarques internacionales con cobertura en más de 50 países, agenciamiento de aduanas, servicios de transporte con rastreo satelital y el servicio de estiba.

Su objetivo se basa en proveer un servicio personalizado a cada uno de sus clientes cumpliendo los estándares de calidad y de seguridad en las operaciones logísticas de comercio exterior, sus profesionales están altamente capacitados y comprometidos, ejerciendo el uso apropiado de la tecnología contando con proveedores calificados con el fin de satisfacer a sus clientes.

Además todas sus actividades se encuentran dentro de las normas legales que prevengan actos ilícitos como:

- Contrabando
- Narcotráfico
- Terrorismo
- Delincuencia

utilizando los recursos de manera óptima, con procedimientos adecuados que logren minimizar y mitigar los riesgos garantizando un servicio de calidad a sus clientes y colaboradores.

## 1.2- Problemática actual

Dentro de la empresa TRANSCARGA, una de las operaciones que más ingresos representa a la organización es el traslado de contenedores de importación desde su retiro en el puerto de embarque de destino hasta la bodega del cliente.

Actualmente la asignación de recursos en la programación diaria de transporte se realiza de manera empírica y manual, repercutiendo en grandes costos.



Figura 1.2 Imagen corporativa  
Fuente: Creado por los autores

## 1.3.- Justificación del problema

El 80% de las utilidades que genera la empresa TRANSCARGA las obtiene del traslado de contenedores de importación dentro del país.

Se aplicarán cuatro heurísticas para lograr una óptima programación de estos recursos.

Actualmente la empresa realiza la asignación de camiones sin considerar los puntos claves que se analizan en la transportación de mercancías irrespetando ventanas horarias, retrasos en las operaciones dentro del puerto, mala asignación de equipos de acompañamiento, rutas, entre otros.

Esto permite afirmar que este estudio ayudará:

- Asignar a los choferes con sus unidades considerando las restricciones dentro del puerto de llegada y la bodega del cliente.
- Respetar las ventanas de tiempos tanto del puerto de llegada como la bodega del cliente.
- Aumentar la productividad, con el fin de que cada chofer con su respectiva unidad logren realizar como mínimo dos operaciones en el día.

#### **1.4.- Hipótesis de trabajo**

Este trabajo de titulación pretende demostrar que a través de las diferentes heurísticas a desarrollar para la asignación de rutas, puede dar soluciones factibles para analizar que camión va ser asignado a cada ruta para no impactar en la productividad de la flota.

#### **1.5.- Objetivo general**

Programar varios métodos heurísticos para maximizar la productividad de la flota pesada con carga contenerizada a través de un software computacional

#### **1.6.- Objetivos específicos.**

- Minimizar el número de camiones, equipo de arrastre, tiempos de descarga y operaciones en puerto.
- Incrementar el indicador del requerimiento del cliente cumpliendo con la de entrega del contenedor hasta la bodega del cliente.

## Capítulo 2

### Revisión de literatura

#### 2.1. Introducción

Se analizan las diversas teorías y métodos existentes para resolver el problema de asignación vehicular con ventanas de tiempo:

- 1) *Estudio del problema de la asignación de carga para rutas de autoventa en empresas de consumo masivo*, por Javier Sánchez Nevárez y Jorge Abad Morán, Ecuador, 2012. Se basa en el estudio e identificación de los elementos que intervienen en la asignación de carga en rutas de autoventa, se concentra en el diseño de un modelo de programación matemática que considere todos los aspectos posibles con la finalidad de mejorar la rentabilidad de la operación, considerando las distintas variables de producto, zona, vehículo, nivel de confianza y bodega de recargue y restricciones como para toda zona asignada al vehículo la suma de los volúmenes no debe exceder a la capacidad del vehículo pudiendo establecer un método de estimación de la demanda como un factor decisivo en los resultados del modelo, ya que el dimensionamiento del espacio de probabilidades alimenta al modelo para la toma de decisiones.
- 2) *Desarrollo de una herramienta de optimización de rutas para la empresa Verificaciones Industriales de Andalucía (VEIASA)*, por Macarena González Gutiérrez, Sevilla, 2014. Se basa en planificar de forma más eficiente las rutas a realizar por los verificadores durante la prestación de servicios de los laboratorios provinciales. Inicialmente el modelo se plantea como una herramienta que optimice las rutas y sus distancias y al mismo tiempo realice el máximo número de visitas. Se busca que este modelo determine el orden en que se va a visitar a los clientes, en función de su localización geográfica y las distancias entre ellos, elegir el vehículo adecuado considerando la incompatibilidad y limitación de patrones, y asignar el verificador considerando su cualificación. Como la empresa abarca cada día un área concreta, esta herramienta se diseña

para determinar la ruta a seguir en un día concreto, a partir de los clientes que han solicitado algún pedido.

- 3) *A Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Tight Time Windows and Limited Working Times*, por Sadegh Mirshekarian, Ohio, 2015. Basado en el problema de enrutamiento de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) es un problema de ruteo de vehículos capacitados bien estudiado, donde el objetivo es determinar un conjunto de rutas viables para una flota de vehículos, con el fin de servir a un grupo de clientes con ventanas de tiempo especificados. El último objetivo de optimización es minimizar el tiempo total de viaje de los vehículos presentando un nuevo enfoque heurístico híbrido para el problema explorando las ideas de mejora. Para resolver esta investigación docente el autor utilizó el método de los ahorros (Clarke and Wright (1964)) implementando la restricción de las ventanas horarias.
- 4) *Diseño de un modelo de optimización para asignación de flota vehicular en empresas que manipulen transporte de carga*, por Serrano Conde y Eduardo Enrique, Bucaramanga, 2012. Se enfoca en la asignación de flota, pues es el punto de partida para su programación, diseñando dos modelos matemáticos de asignación de flota vehicular, uno para cada estrategia, los cuales permiten identificar la combinación de viajes que causará el mínimo costo total de transporte para un determinado periodo de tiempo, respetando las restricciones que caracterizan este proceso, como oferta y demanda de materias primas, productos en proceso y productos terminados; disponibilidad de flota, viajes vacíos y almacenamiento. Los modelos matemáticos se utilizarán como herramienta de soporte en el proceso de selección de la estrategia de solución del problema de transporte, posteriormente, debe desarrollarse un análisis de sensibilidad para cada modelo, pero evaluando los mismos escenarios; con el fin de encontrar la mejor alternativa de movilización de materias primas, productos en proceso y productos terminados para cada estrategia, al mismo tiempo que se evalúa cuál es la mejor estrategia en términos de costos totales de transporte para un determinado periodo de tiempo.

## **2.2. Marco Conceptual**

Para la ejecución de este proyecto es necesario como ayuda referencial y como fundamento teórico, mencionar todo lo relacionado con el diseño del modelo para determinar la solución a este problema.

En la actualidad el problema de asignación consiste en encontrar la forma óptima de asignar ciertos recursos disponibles para la realización de determinadas tareas al menor costo, suponiendo que cada recurso se destina a una sola tarea, y que cada tarea es ejecutada por uno solo de los recursos.

Es uno de los problemas fundamentales de optimización combinatoria de la rama de optimización o investigación operativa. El modelo se puede aplicar a la asignación de empleados a tareas, de fábricas a productos, de vendedores a territorios. Con una sencilla manipulación, el método también se puede aplicar al caso en el que se pretende maximizar cierta cantidad de recursos.

El problema de asignación es un caso particular del problema de transporte, en el que la oferta en cada origen y la demanda en cada destino son ambas de valor 1.

Hoy en día en pleno apogeo de la globalización surge cada vez con mayor frecuencia el uso de este problema en la rama de la investigación de operaciones, que es la aplicación del método científico para asignar los recursos o actividades de forma eficaz, en la gestión y organización de sistemas complejos. Su objetivo es ayudar a la toma de decisiones.

### **2.2.1 Definición del problema de asignación**

Hay un número de personas y un número de tareas. Cualquier persona puede ser asignado para desarrollar cualquier tarea, contrayendo algún costo que puede variar dependiendo de la persona y la tarea asignada. Es necesario, para desarrollar todas las tareas, asignar una sola persona a cada tarea de modo que el costo total de la asignación sea mínimo.



Los problemas de asignación presentan una estructura similar a los de transporte, pero con dos diferencias: asocian igual número de orígenes con igual número de demandas y las ofertas en cada origen es de valor uno, como lo es la demanda en cada destino.

### **2.2.2 Características en el problema de asignación**

El problema de asignación presenta las siguientes características:

- El Problema de Asignación debe estar equilibrado, es decir, que las ofertas y las demandas sean iguales a 1. Un elemento importante para el problema de asignación es la matriz de costos. Si el número de renglones o columnas no son iguales, el problema está desbalanceado y se puede obtener una solución incorrecta. Para obtener una solución correcta la matriz debe ser cuadrada.
- Si el número de personas y tareas son iguales y el costo total de la asignación para todas las tareas es igual a la suma de los costos de cada persona (o la suma de los costos de cada tarea, que es lo mismo en este caso), entonces el problema es llamado problema de asignación lineal. Normalmente, cuando hablamos de problema de asignación sin ninguna matización adicional, nos referimos al problema de asignación lineal.

**Oferta:** Cantidad que representa la disponibilidad del artículo en la fuente/fábrica de donde proviene.

**Demanda:** Cantidad de artículos que necesita recibir el destino para cumplir sus necesidades.

### **2.2.3 Elementos en el problema de asignación**

#### **Los depósitos**

Tanto los vehículos como las mercancías a transportar suelen estar ubicados inicialmente en depósitos. El depósito estará ubicado en el Guasmo Sur, cada ruta comienza y finaliza en el depósito.

En los problemas con múltiples depósitos, cada uno podría tener diferentes características, como su ubicación y capacidad máxima de producción, de la misma manera cada depósito tenga una flota de vehículos asignada antes de realizar la asignación. En ciertos casos las rutas pueden comenzar en depósitos diferentes.

Los depósitos, al igual que los clientes, podrían tener ventanas de tiempo. En algunos casos debe considerarse el tiempo necesario para cargar o preparar un vehículo antes de que comience su ruta, o el tiempo invertido en su limpieza, preparación de documentos (guía de embarque, remisión, declaración aduanera), cambio de equipo de acompañamiento (chasis, combo, plataforma, expandible, generador). Incluso, por limitaciones de los propios depósitos, puede ser necesario evitar que demasiados vehículos estén operando en un mismo depósito a la vez.

#### **Las Rutas**

Los problemas de rutas de vehículos tratan de determinar la ruta o rutas para cada uno de los vehículos de la flota cumpliendo con todo el conjunto de restricciones e intentando alcanzar los objetivos propuestos. Para el presente proyecto de titulación se debe realizar la ruta: depósito, puerto, bodega del cliente y si se vence la carta del contenedor se entrega el vacío a los depósitos de vacío.

La función objetivo debe: minimizar tiempo de espera, número de vehículos a utilizar, tiempo total de transporte y/o la distancia total recorrida, maximizar el beneficio de la operación, la función de utilidad del cliente, o su beneficio y satisfacción.

En la mayoría de los casos se supone que un vehículo solo recorrerá una ruta en el periodo de planificación, pero en la mayoría de las operaciones un mismo vehículo podría participar de más de una ruta.

## **Los Clientes**

Cada cliente tiene cierta cantidad de demanda que deberá ser satisfecha por algún vehículo, los clientes estarán ubicados dentro del perímetro urbano (centro, norte, sur de Guayaquil), fuera del perímetro urbano (Km 22 vía Daule hacia delante), Durán, Quito, Manta, entre otros.

En muchos casos, la demanda es un bien que ocupa lugar en los vehículos y es usual que un mismo vehículo no pueda satisfacer la demanda de todos los clientes en una misma ruta. También podría ocurrir que la mercadería deba ser transportada a los clientes pero no esté inicialmente en el depósito, sino distribuida en ciertos sitios donde la mercadería deba ser recogida como en bodegas o puertos. En este caso, los puertos donde se encuentra la mercadería deben ser visitados antes que los clientes.

Otra variante del problema, cada cliente tiene una ubicación de origen y desea ser transportado hacia un sitio de destino. Aquí la capacidad del vehículo impone una cota sobre la cantidad de clientes que puede alojar simultáneamente. Usualmente se exige que cada cliente sea visitado exactamente una vez. Sin embargo, en ciertos casos se acepta que la demanda de un cliente sea satisfecha en momentos diferentes y por vehículos diferentes. Los clientes podrían tener restricciones de ventanas horarias de recepción de la mercadería, estas restricciones se expresan en forma de intervalos de tiempo en los que un vehículo puede arribar al cliente.

En problemas con varios vehículos diferentes podrían existir restricciones de compatibilidad. En estos casos, cada cliente solo puede ser visitado por algunos de los vehículos (por ejemplo, algunos vehículos muy pesados no pueden ingresar en ciertas localidades, licencias ambientales, dimensiones del equipo de acompañamiento, entre otros).

## **Los Vehículos**

La capacidad de un vehículo podría tener varias dimensiones, como por ejemplo peso y volumen. Cuando en un mismo problema existen diferentes tipos de producto, los vehículos podrían tener compartimentos, de modo que la capacidad del vehículo dependa del tipo de producto de que se trate. En general, cada vehículo tiene asociado un costo fijo en el que se incurre al utilizarlo y un costo variable, proporcional a la distancia que recorra.

Los problemas de asignación vehicular en que los que todos los vehículos tienen los mismos atributos (capacidad, costo, etc.) se denominan de flota homogénea, y, en caso de haber diferencias, se trata de problemas de flota heterogénea. Para el presente proyecto se tratará de flota homogénea ya que dentro de cada contenedor la mercancía tiene las mismas características.

Las regulaciones legales pueden limitar el tiempo en que un vehículo puede estar en circulación e incluso prohibir el pasaje de ciertos vehículos por ciertas zonas de la red vial. En algunos casos los clientes dispondrán de horarios nocturnos para poder recibir la mercancía, la legislación o los convenios laborales pueden imponer restricciones sobre el tiempo máximo que un vehículo debe estar en circulación (descanso o relevo de conductores), su velocidad y carga máxima, e incluso el paso por determinadas zonas de la red.

Es interesante en ocasiones intentar equilibrar las cargas de trabajo de los conductores, el tiempo o carga de los vehículos. En este caso se supone que cada vehículo tiene la posibilidad de recorrer como mínimo una ruta en el periodo de planificación.

## **Las Coordenadas**

Cuando se debe realizar la ruta al puerto, bodega del cliente o depósito del contenedor vacío, el departamento de seguridad se encarga de obtener la dirección precisa del cliente para posteriormente enviar esa información los coordinadores de transporte. Se usarán las direcciones de los clientes para obtener sus coordenadas (latitud y longitud) usando el programa Google Maps).

#### **2.2.4 Ventanas de tiempo en el problema de asignación**

Las ventanas de tiempo en la salida de un trayecto fueron una de las primeras opciones de optimización introducidas, ya que ajustando las horas de salida de los trayectos se puede reducir el número de vehículos necesarios, *Bélanger (2004)*. Esta flexibilidad en la hora de salida aumenta el número de posibles conexiones entre trayectos y ofrece posibilidades de mejorar la calidad de la solución en términos de beneficio o de reducción del número de vehículos.

Pero esta flexibilidad debe ser controlada para que no se produzcan situaciones no deseadas. En este sentido, se introduce el concepto de relaciones de precedencia entre trayectos, como mecanismo de carácter general que permite modelar restricciones de diversa naturaleza que aparecen en los problemas de la vida real, y que sirven para evitar esas situaciones no deseadas que puede provocar la apertura de la hora de salida a una ventana de tiempo. Estas relaciones de precedencia se establecen ligando las variables de comienzo y fin de varios trayectos.

Las ventanas de tiempo en la salida ofrecen mucha flexibilidad, pero a menudo no ofrecen la suficiente como para plasmar los requerimientos que se plantean en situaciones de la vida real. Una de estas situaciones son los trayectos que se realizan una o varias veces a la semana ya que no se puede expresar mediante una ventana de tiempo en la salida. La idea del concepto de ventana de tiempo discreta en la salida, como un conjunto de ventanas de tiempo que definen la posible salida del trayecto, de forma que la salida del trayecto que fijará el sistema de optimización estará dentro de una sola de las ventanas de tiempo definidas en la salida. Al igual que las relaciones de precedencia, las ventanas de tiempo discretas se presentan como un mecanismo de carácter general que permite modelar muchas situaciones de diferente naturaleza que se presentan en la vida real.

## 2.2.5 Heurísticas

### Heurística: Heurística Glotona y búsqueda local

Una heurística glotona (greedy<sup>1</sup>) se construye a partir de una solución factible inicial eligiendo lo más ventajoso en cada paso.

Luego se trata de mejorar la solución inicial con una búsqueda en la vecindad de soluciones, búsqueda local.

Es un mecanismo general que debe adaptarse a las particularidades de cada problema; donde el proceso de adaptación puede tener múltiples implementaciones.

Pasos para resolver la Heurística Glotona Criterio de Ordenamiento:

El objetivo del método es minimizar la distancia total viajada por todos los vehículos y minimizar indirectamente el número de vehículos necesarios para atender todas las paradas, cumplir con las restricciones de la bodega del cliente con respecto a los camiones

- Heurística de turno en puerto para carga del contenedor de importación.
  1. Se ordenan los turnos de manera ascendente
  2. Cada turno debe cumplir la ventana horaria, no debe de llegar pasado los 40 minutos del turno, caso contrario se cae la operación.
  
- Heurística de compatibilidad del camión.
  1. Se ordenan los camiones con la codificación:
    - 1: Camiones con choferes que no tienen licencia ambiental y sí pueden llevar cargas valiosas.

---

<sup>1</sup> greedy: es aquel que, para resolver un determinado problema, sigue una heurística consistente en elegir la opción óptima en cada paso local con la esperanza de llegar a una solución general óptima.

2: Camiones con choferes que no tienen licencia ambiental y no pueden llevar cargas valiosas.

3: Camiones con choferes que tienen licencia ambiental y no pueden llevar cargas valiosas.

4: Camiones con choferes que tienen licencia ambiental y sí pueden llevar cargas valiosas.

2. Se ordenan los clientes con la codificación:

1: Pueden ser visitados por cualquier camión.

2: Pueden ser visitados por cualquier camión que tenga licencia ambiental.

3: Pueden ser visitados por cualquier camión que tengan permiso para llevar carga valiosa.

3. Una vez ordenados a los clientes se utilizaran los carros con el siguiente orden: 1, 2, 3, 4 ya que cumplen con la restricción del literal 2.

4. Si un camión realiza dos operaciones en el día se presentará una combinación de restricciones del cliente, en la cual se crea la función *Es Compatible* que por medio de combinaciones se verifica que la unidad seleccionada cumpla con la restricción del cliente.

- Heurística de entrega de vacíos

1. Se codifican la entrega del vacío de la siguiente manera:

1: No entrega vacío.

2: Entrega vacío en los patios de Depconsa.

3: Entrega de vacío en los patios de Tasesa Norte.

2. Si la codificación es 1 se regresa al depósito, caso contrario irá a dejar el vacío y regresará al depósito.

## Capítulo 3

### Metodología de trabajo

#### 3.1 Introducción

En el presente proyecto se analizarán los procedimientos utilizados para poder alcanzar nuestro objetivo general que buscará satisfacer la necesidad que presenta nuestra empresa, en la cual se engloban la distribución de tareas y sub tareas a realizar permitiendo una mejor estructuración y organización, la cual será analizada en intervalos de tiempos.



Figura 3.1 Flujograma de actividades

Fuente: Creado por los autores



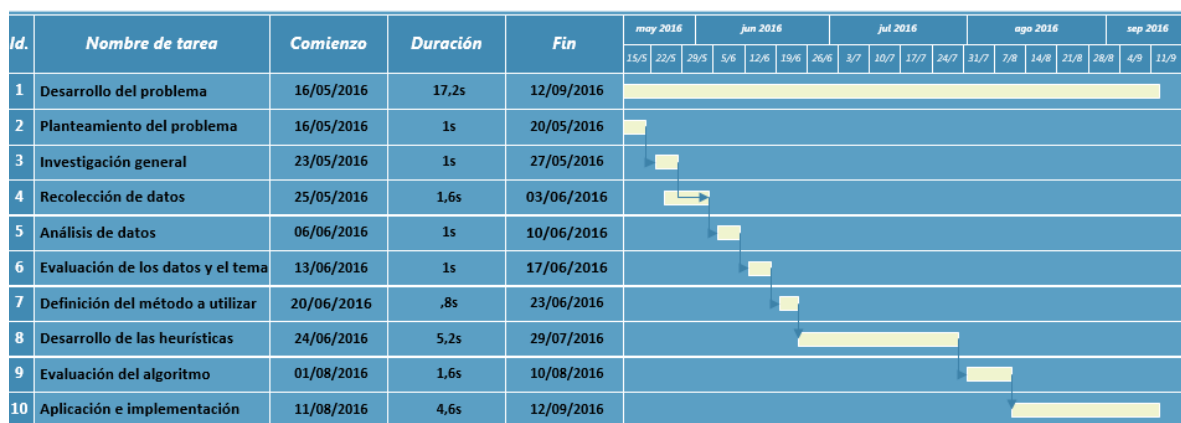


Figura 3.2 Cronograma de trabajo en Diagrama de Gannt

Fuente: Creado por los autores

El diseño de la investigación se lo realizará de manera documental ya que sus bases son encontradas en investigaciones escritas de diferentes auditorías y de trabajo de campo, ya que los datos obtenidos serán obtenidos donde se producen las operaciones en este caso el de transporte, lo cual involucra trabajar junto al personal que realiza la entrega de los contenedores de importación.

La base de datos de los clientes, rutas, camiones, contenedores, equipos de arrastre y de acompañamiento se encontrará en el programa Qlickview<sup>2</sup>. Ya que el personal de sistema labora los reportes del área de planificación en dicho programa.

La población del presente proyecto de estudio es la empresa indicada, la cual está comprendido por programadores y coordinadores de transporte, gerente de operaciones y choferes.

<sup>2</sup> qlickview: visión integrada de la información a través de cuadros de mando, tableros de control e informes analíticos; todo ello desde una única plataforma, obteniendo información ya sea de datos de su ERP, diversas bases de datos, formatos de texto, Excel, de XML, etc.

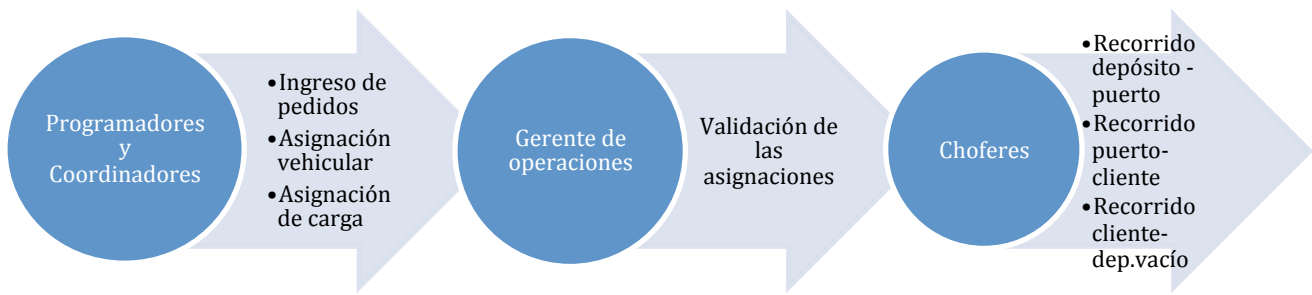


Figura 3.3 Procesamiento de pedidos

Fuente: Creado por los autores

Las operaciones de la empresa con respecto al trayecto de retirar el contenedor dentro de los terminales del puerto, trabaja con una ventana horaria de 4:00 a 20:00 horas, las bodegas dentro del perímetro urbano, fuera del perímetro urbano, Durán, Quito, Ambato, Manta, entre otros su ventana horaria es de 08:00- 22:00 horas, mientras las bodegas que se encuentran en zonas regeneradas su ventana horaria es de 20:00 a 23:00 horas, el recorrido de los choferes dentro de las diferentes rutas están comprendidas en todo el transcurso del tomando descansos paulatinos de 4 a 2 horas.

## Capítulo 4

### Algoritmos y Resultados

#### 4.1 Algoritmo del proyecto

Para resolver el problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo, existen diferentes métodos para su desarrollo, desde metaheurísticas, heurísticas y algoritmos exactos que muestran una solución cercana al óptimo en una franja de tiempo aceptable.

A continuación se aplicarán las tres heurísticas que se explicaron en el capítulo dos y que fueron desarrolladas en Wolfram Mathematica, 10.

- Heurística de turno en puerto para carga del contenedor de importación.
- Heurística de compatibilidad del camión.
- Heurística de entrega de vacíos.

Desarrollo del proyecto:

- Paso 1: Importar los datos: coordenadas de las bodegas, peso de la carga, ventanas horarias de los puertos y clientes, recorrido (perímetro urbano, fuera del perímetro urbano, Durán, Quito, entre otros, tipo de codificación del chofer, entrega del vacío).
- Paso 2: Importar los datos de los carros
- Paso 3: Calcular las distancias de depósito a puertos y de puertos a bodegas de los clientes, se lo calcula con la distancia de Manhattan.

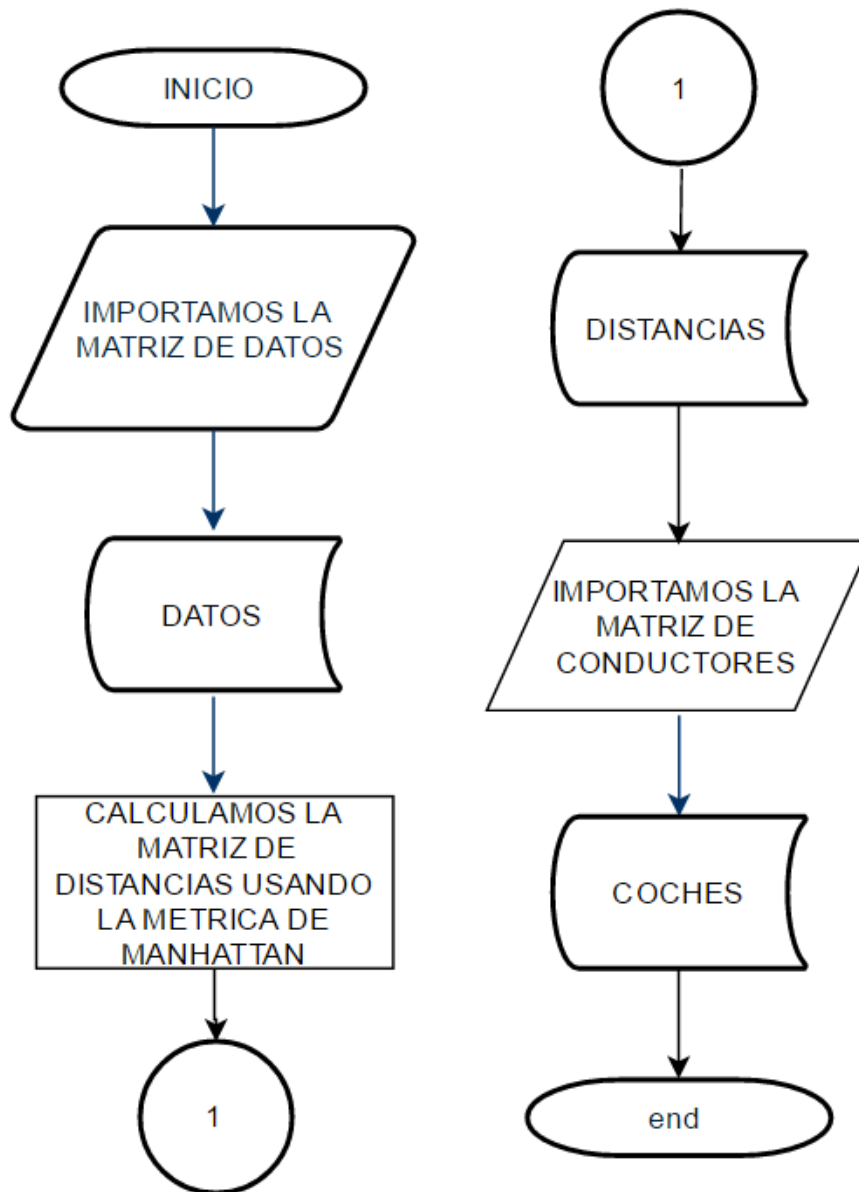


Figura 4.1.1 Importación de datos y cálculo de la matriz de distancia

Fuente: Creado por los autores

- Paso 4: Realizar el método de la burbuja para ordenar a los camiones, conforme al criterio de código de riesgo de mercancía.

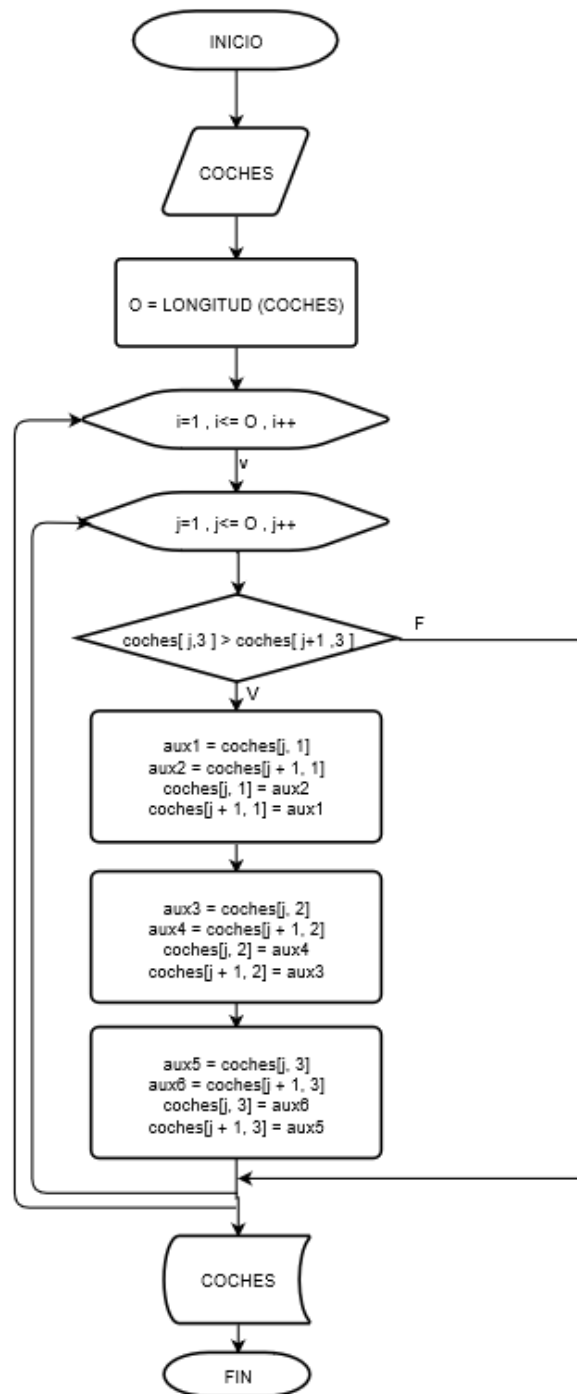


Figura 4.1.2 Método de la burbuja

Fuente: Creado por los autores

- Paso 5: Función Compatibilidad.

Recibe como parámetro un vector ruta y un conductor, devuelve el valor TRUE (1) si es compatible caso contrario retorna FALSE (0).

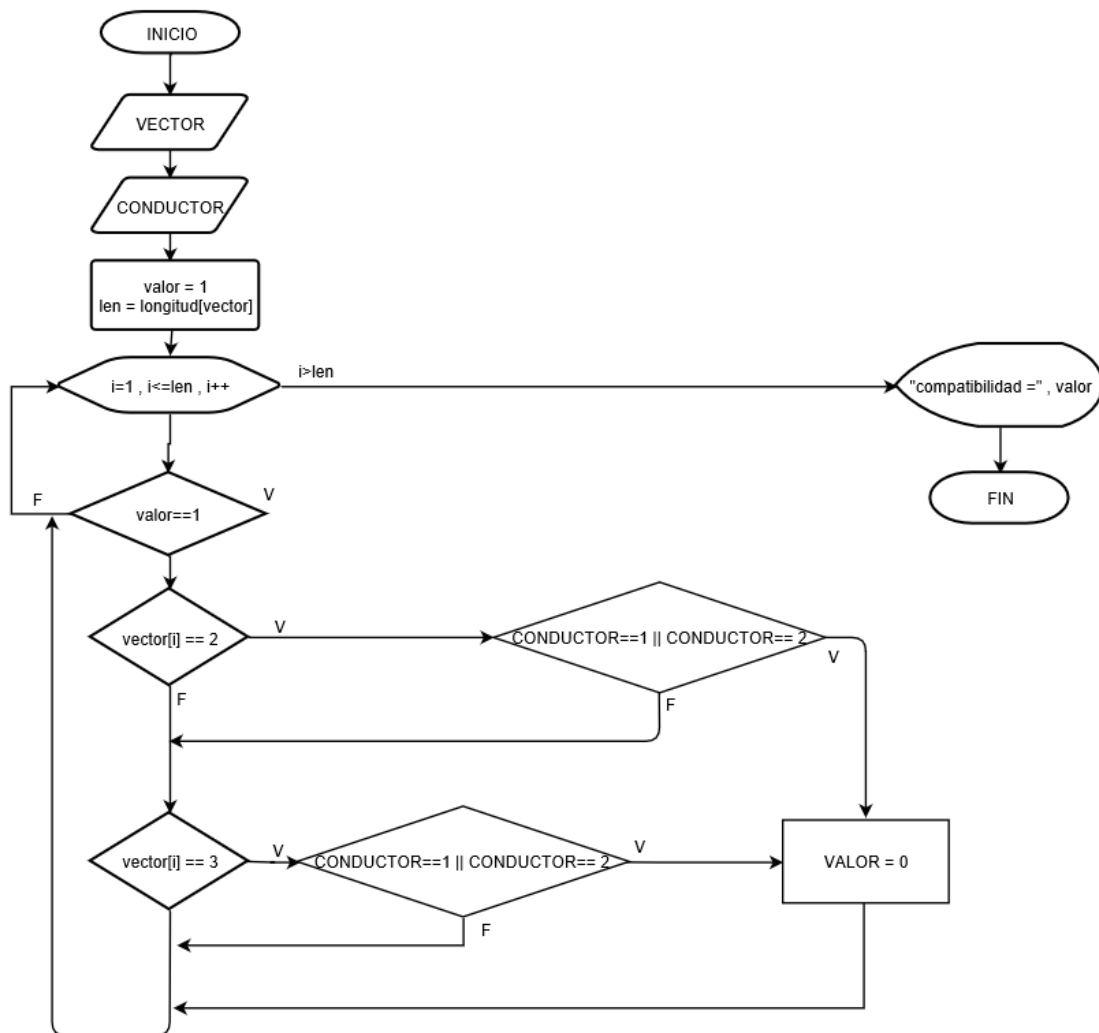


Figura 4.1.3 Función compatibilidad de ruta vs chofer

Fuente: Creado por los autores

- Paso 6: Función *TIME*.

Reciben como parámetro una ruta y calcula el tiempo que se demora en completar la ruta hasta ese momento.

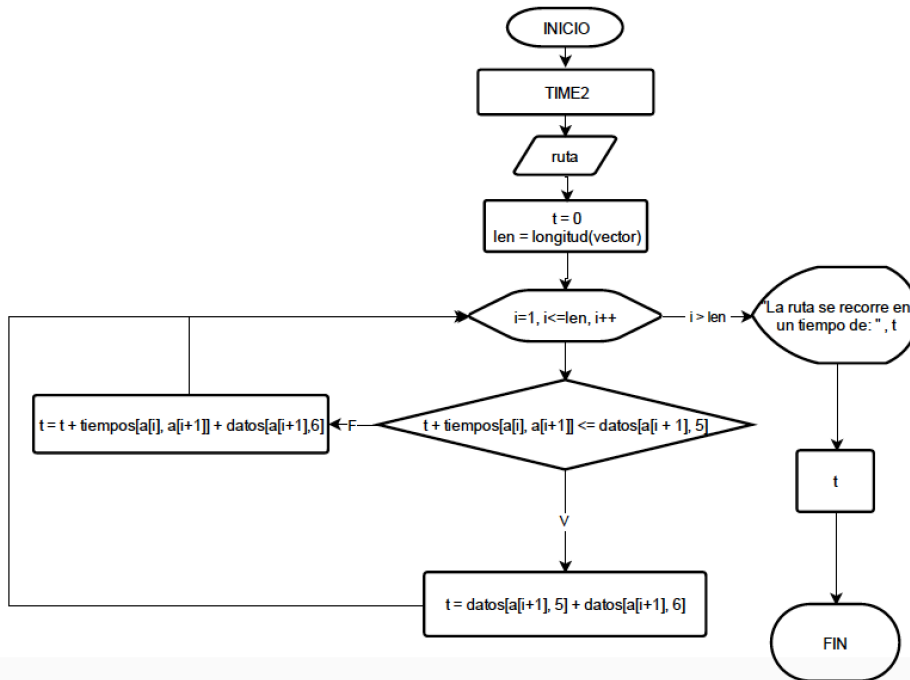


Figura 4.1.4 Función *Time*

Fuente: Creado por los autores

- Paso 7: Función longitud y función carga.

Reciben como parámetro una ruta y calculan la distancia a recorrer y la carga que transporta respectivamente.

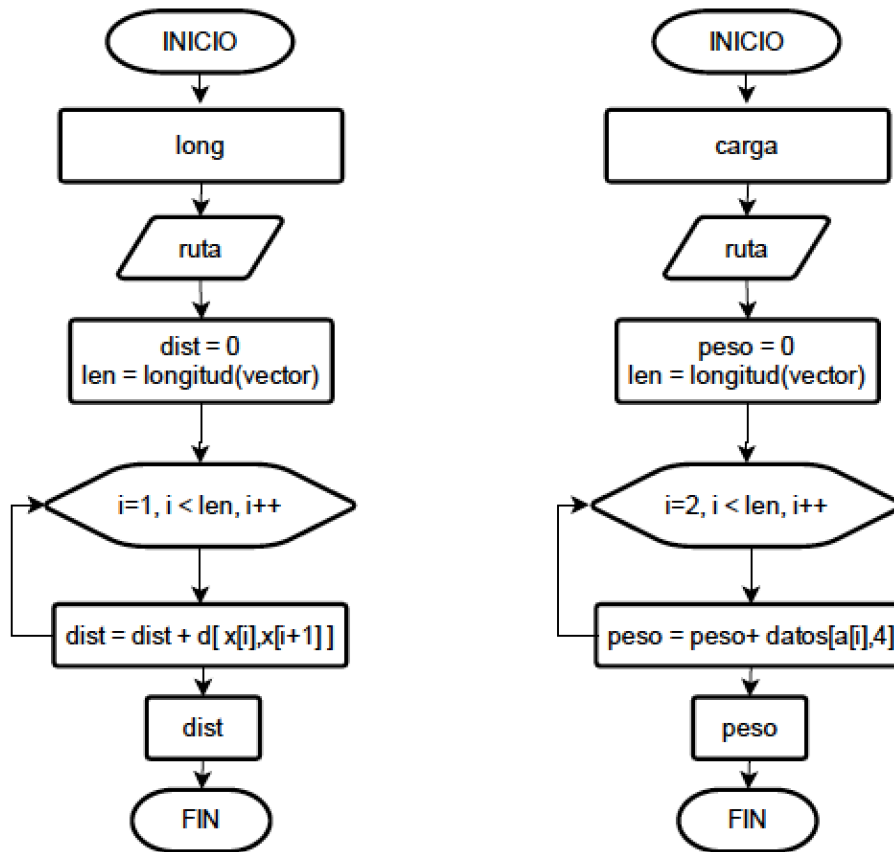


Figura 4.1.5 Funciones LONG y CARGA

Fuente: Creado por los autores



- Paso 8: Creación de rutas.

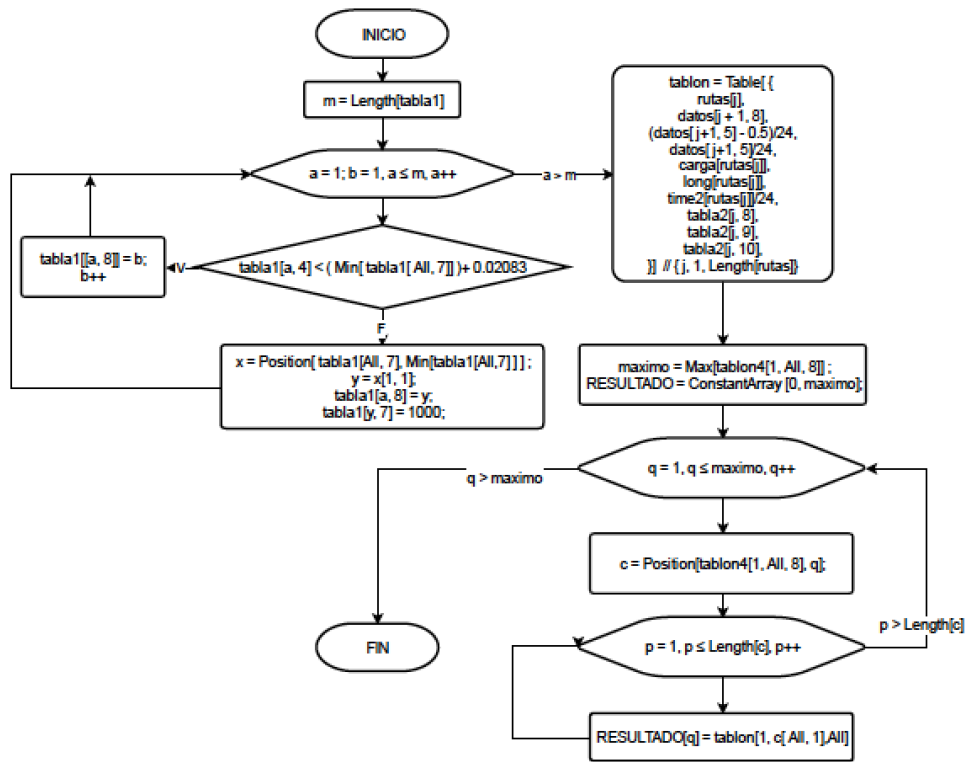


Figura 4.1.6 Creación de rutas

Fuente: Creado por los autores

- Paso 9: Asignación de choferes.

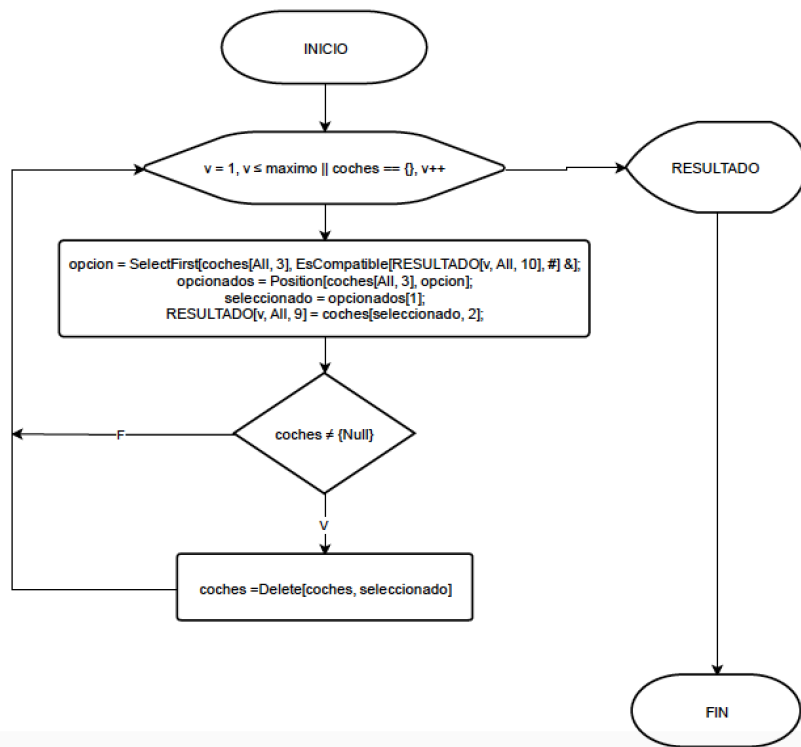


Figura 4.1.7 Algoritmo para la asignación de choferes

Fuente: Creado por los autores

Diagrama general del algoritmo

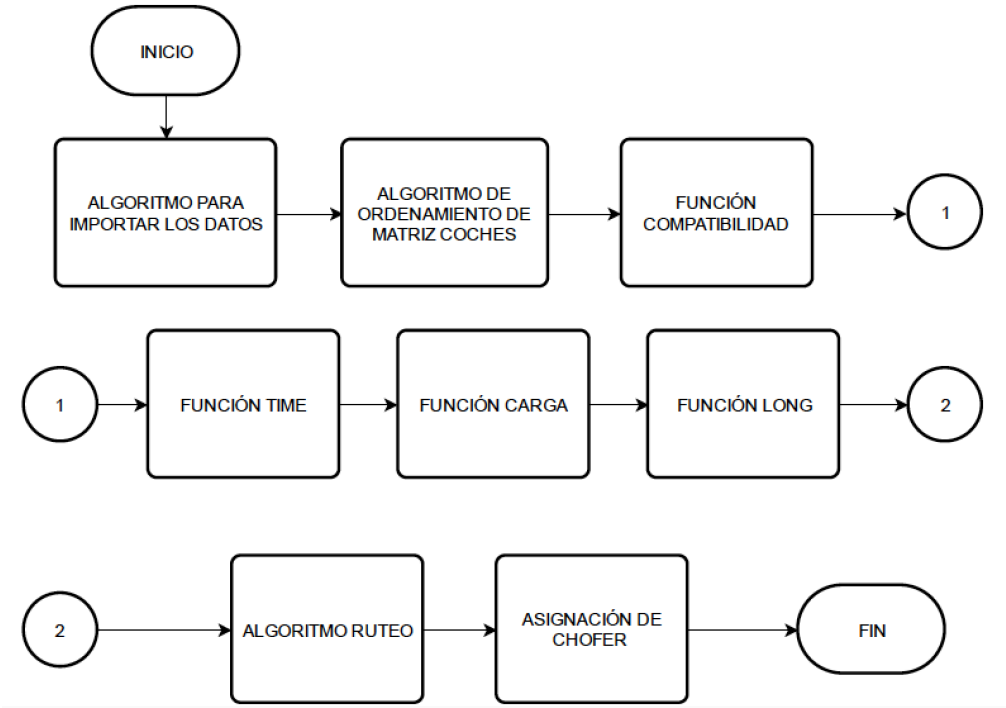


Figura 4.1.8 Diagrama de flujo general del proyecto

Fuente: Creado por los autores

## 4.2 Resultado del Análisis

Actualmente TRANSCARGA maneja una flota de carga contenerizada de 52 camiones en el área de importaciones, para efectos del proyecto se quiere lograr optimizar el uso de los camiones comprendido en todo el mes de julio y la primera semana agosto en la cual se recibieron el retiro de 1392 contenedores de importación en las cuales estuvieron establecidas en las siguientes rutas:

Ruta	Total
GUAYAQUIL PERIMETRO URBAN	884
GUAYAQUIL - DURAN	145
GUAYAQUIL - QUITO	141
GUAYAQUIL FUERA DEL PERIM	111
GUAYAQUIL - POSORJA	27
GUAYAQUIL - MILAGRO	21
GUAYAQUIL - MANTA	17
GUAYAQUIL - MACHALA	12
GUAYAQUIL - DAULE	7
GUAYAQUIL - BUENA FE	4
GUAYAQUIL - LA LIBERTAD	3
GUAYAQUIL - CUENCA	2
GUAYAQUIL - LATACUNGA	2
GUAYAQUIL - AMBATO	2
GUAYAQUIL - SANTO DOMINGO	2
GUAYAQUIL- ALLOAG	2
GUAYAQUIL - ARENILLA (EL	2
GUAYAQUIL - PLAYAS	1
GUAYAQUIL - RIOBAMBA	1
GUAYAQUIL - CAYAMBE	1
GUAYAQUIL - GUANO	1
GUAYAQUIL - INGENIO DE LA TRONCAL	1
GUAYAQUIL - NARANJAL	1
GUAYAQUIL - MARCELINO MARIDUEÑA	1
GUAYAQUIL - PORTOVELO	1
<b>Total general</b>	<b>1392</b>

Tabla 4.2 Rutas

Fuente: Creado por los autores

Aplicando las cuatro heurísticas en el software computacional Wolfram Mathematica, las cuales se mencionan a continuación:

- Heurística Glotona Criterio de Ordenamiento.
- Heurística de turno en puerto para carga del contenedor de importación.
- Heurística de compatibilidad del camión.
- Heurística de entrega de vacíos

Se pudo obtener los siguientes resultados:

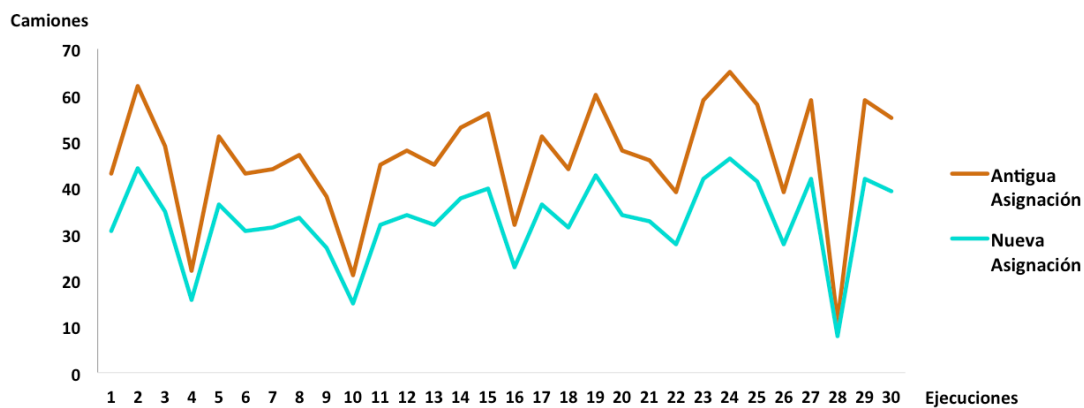


Figura 4.2.1 Comparación de asignaciones

Fuente: Creado por los autores

Dentro del mes de julio y la primera semana de agosto del presente año, no se consideran los domingos ya que en ese día no se realizan operaciones de entrega del contenedor a las bodegas del cliente, podemos observar que en la antigua asignación antes de aplicar la programación, hubieron días en donde se utilizó mas de 52 camiones, contrayendo costos de subcontratación, mientras que con la nueva asignación el máximo de carros que se utilizó fue 46 camiones en el día 24.

Si queremos ver en términos porcentuales, en la antigua asignación se utilizaron 46 camiones promedio de los cuales representa el 89% de ocupación de la flota, mientras que en la nueva asignación se optimizó la ocupación de la flota en un 63% utilizando un promedio de 33 camiones.

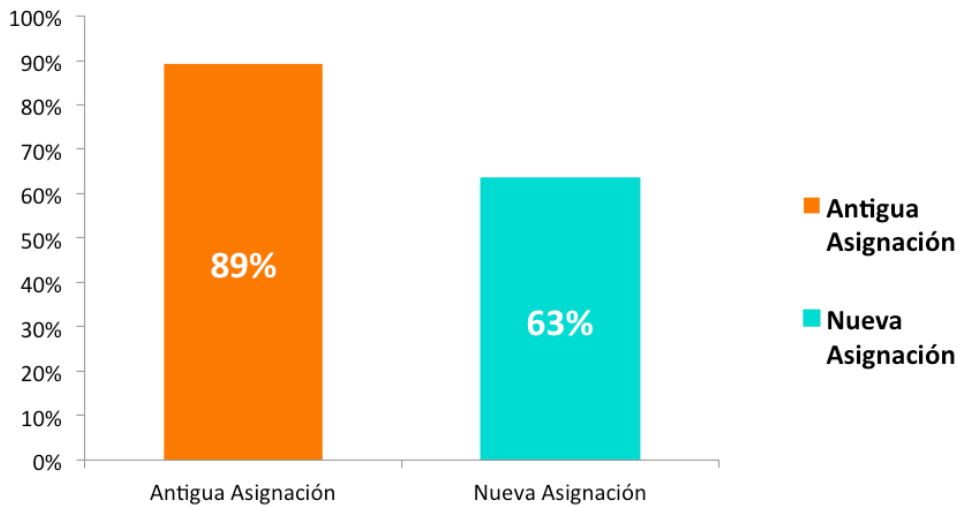


Figura 4.2.2 Comparación porcentual de asignaciones

Fuente: Creado por los autores

Adicionalmente, la empresa considera de vital importancia la productividad de la flota en la cual define como productividad, que el camión realice dos operaciones como mínimo en el día, de tal manera que se logró obtener los siguientes resultados:

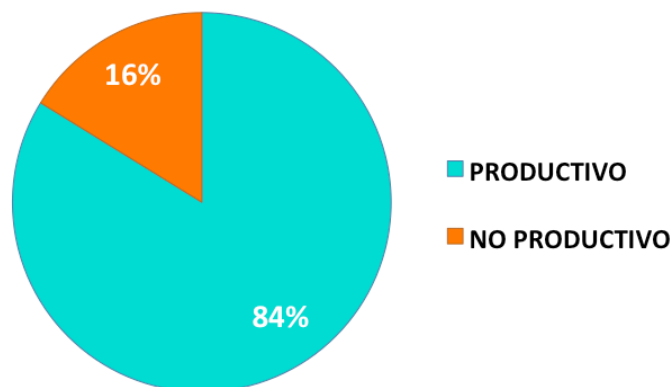


Figura 4.2.3 Productividad de la Flota

Fuente: Creado por los autores

El 84% nos indica que de un promedio de 33 camiones, 28 camiones realizaron dos operaciones en el día, mientras que 5 camiones (16%) no fueron productivos ya que en todo el mes de julio y la primera semana de agosto solo realizaron una operación en el día.

## **Capítulo 5**

### **Conclusiones y Recomendaciones**

#### **5.1 Conclusiones**

- En el presente estudio se han programado cuatro heurísticas en un software computacional, el cual se basó en resolver el problema de asignación vehicular con ventanas de tiempos, ya que es un problema que en toda empresa dedicada a la transportación presenta, ya que lo que se quiere lograr es realizar una buena asignación, optimizar recursos y generar ganancias.
- Aplicando la programación, el personal dedicado a la coordinación de transporte ya no presentó el problema de perder los pases de turno en los módulos dentro del puerto y por ende ya no hubo la necesidad de reprogramar turnos.
- Adicionalmente al aplicar la restricción de las ventanas horarias en la bodega de los clientes, se cumplió con la petición del cliente la cual consiste en la llegada del contenedor en la hora establecida.
- Se aumentó la productividad de la flota 84% , logrando beneficios tanto para la empresa como para el conductor ya que al realizar dos operaciones en el día aumentaron las ganancias.
- Con la nueva asignación de camiones, se destinaron seis camiones a las operaciones de exportación y distribución.

## 5.2 Recomendaciones

- Con respecto a los tiempos de descarga en las bodegas de los clientes, se recomienda al personal de la coordinación del transporte, gestionar con los clientes el tiempo promedio de descarga, para que no existan sobretiempos.
- Se debe capacitar al resto de conductores que no pueden trasladar ciertas mercaderías a las bodegas de los clientes, para que no sea una restricción al momento de la asignación de camiones.
- Se recomienda que los programadores y coordinadores de transporte, trabajen en conjunto con esta nueva programación que ya esta siendo aplicada dentro de TRANSCARGA, para que exista un buen canal de comunicación durante la asignación de camiones.
- Se recomienda que los seis camiones que se utilizarán en las operaciones de exportación y distribución se realice una programación para su asignación, ya que existen restricciones a considerar para esas operaciones.



## Bibliografía

Desarrollo de una herramienta de optimización de rutas para la empresa Verificaciones Industriales de Andalucía (VEIASA), por Macarena González Gutiérrez, Sevilla, 2014.

*Estudio del problema de la asignación de carga para rutas de autoventa en empresas de consumo masivo*, por Javier Sánchez Nevárez y Jorge Abad Morán, Ecuador, 2012.

The Vehicle Routing Problem with Time Windows and Driver-Specific Times, Michael Schneider, Germany, 2015.

A Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Tight Time Windows and Limited Working Times, por Sadegh Mirshekarian, Ohio, 2015.

Elección de Rutas de distribución en un Operador Logístico aplicando un procedimiento basado en VRPTW, Cuba, 2014.

Optimización de rutas de transporte , por Andrés Aguado Aranda, Javier Jiménez de Vega, Madrid, 2013