

**PLAN DE MEJORAMIENTO LOGÍSTICO EN LA OPERACIÓN DE  
DISTRIBUCIÓN URBANA DE LA EMPRESA FRIMAC S.A**

**CHABELI MARCELA SUAREZ MONTERO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
BUCARAMANGA**

**2016**

**PLAN DE MEJORAMIENTO LOGÍSTICO EN LA OPERACIÓN DE  
DISTRIBUCIÓN URBANA DE LA EMPRESA FRIMAC S.A**

**CHABELI MARCELA SUÁREZ MONTERO**

**Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Industrial**

**Director**

**JAVIER EDUARDO ARIAS OSORIO**

**Master en Ingeniería Industrial**

**Codirector**

**MYRIAM LEONOR NIÑO LÓPEZ**

**Doctora en Administración y Dirección de Empresas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS**

**ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES**

**BUCARAMANGA**

**2016**

## Dedicatoria

*A Dios por ser el artífice de este sueño, por guiar cada uno de mis pasos y decisiones. Por toda la sabiduría que me brindó durante este proceso, porque siempre estuvo a mi lado.*

*A mi mamá Rosario, el motor de mi vida, por apoyarme incondicionalmente en todo momento, quien me formó con sus consejos, quien levantó mi cabeza después de cada tropiezo y a quien debo agradecer quien soy hoy. Este logro es para ella.*

*A mi papá Rafael (Q.E.P.D), mi ángel del cielo, por haber creído y confiado en mí desde el inicio, por ser mi ejemplo más valioso de fortaleza y perseverancia. Porque su partida me dejó las mejores enseñanzas en el camino a la consecución de este sueño.*

*A mi tía Mary, mi tío Hernán y mi hermano Nando, por brindarme sus palabras de aliento y sus manos extendidas de apoyo en los momentos de mayor dificultad.*

*A mi primo Edgar, mi ejemplo a seguir, por ser como un hermano y brindarme todas sus enseñanzas y compañía en cada paso dado.*

*A toda mi familia por el apoyo brindado y por ser testigos de este logro*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi alma mater, la Universidad Industrial de Santander, por darme el privilegio de formarme hoy como Ingeniera Industrial*

*A los docentes de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, especialmente a Javier Eduardo Arias por tomar la dirección de mi proyecto, por toda su orientación y por brindarme todos sus conocimientos y apoyo.*

*A la empresa FRIMAC S.A por el compromiso adquirido, por confiar en mis capacidades y brindarme la oportunidad de realizar mi práctica empresarial.*

*Agradezco al Ingeniero Adrián Meléndez, mi tutor de proyecto, por enseñarme el maravilloso mundo de la logística, por la confianza depositada, sus enseñanzas y todo el acompañamiento brindado durante el desarrollo del proyecto.*

*A mis amigos y colegas, especialmente a Lizma, Angie, Sofi, Carito y Leonardo por animarme a seguir en los momentos de dificultad durante este proyecto.*

## RESUMEN

**TÍTULO:** PLAN DE MEJORAMIENTO LOGÍSTICO EN LA OPERACIÓN DE DISTRIBUCIÓN URBANA DE LA EMPRESA FRIMAC S.A.\*.

**AUTOR:** SUAREZ MONTERO, Chabeli Marcela\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Mejoramiento, distribución urbana de mercancías, logística, diagnóstico, procesos, optimización de operaciones, indicadores.

### DESCRIPCIÓN

El presente proyecto de grado se desarrolla bajo la modalidad de Práctica Empresarial en la empresa FRIMAC S.A, dedicada a brindar soluciones logísticas de transporte para carga seca, refrigerada, congelada y al granel. El trabajo se centra en fortalecer y optimizar los procesos de la Operación de Distribución Urbana de mercancías, con el objetivo de generar ventajas competitivas que permitan responder oportunamente a la demanda de los clientes y a su vez reducir los costos de operación, mediante la ejecución de propuestas de mejora basadas en herramientas propias de ingeniería, que permitan generar soluciones encaminadas al mejoramiento de las actividades como la planificación y programación de rutas, tiempos de cargue y entrega, control de la trazabilidad en el desempeño de la operación, entre otras. En relación a las estrategias de transporte, un enfoque adecuado en el tamaño y consolidación del envío, el modo de transporte, asignación de rutas y programación de transportistas; representa una gran ventaja competitiva para una empresa.

Inicialmente, se realiza un diagnóstico que aborda generalidades de la empresa y la descripción detallada de los problemas encontrados en los procesos de la Operación. Posteriormente, se formulan propuestas de mejora para dichos procesos, se elaboran herramientas para la asignación de rutas a los vehículos, la programación de ruterios de distribución y se diseñan indicadores de gestión que permitan llevar un control de la Operación. Finalmente se ejecutan y analizan las propuestas desarrolladas, se evalúa el cumplimiento de los objetivos y se elaboran las respectivas conclusiones y recomendaciones.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Ingeniería Industrial. Directores, MA. Javier Eduardo Arias Osorio, Dra. Myriam Leonor Niño López.

## ABSTRACT

**TITLE:** IMPROVEMENT LOGISTICS PLAN OF URBAN DISTRIBUTION OPERATION FROM FRIMAC S.A COMPANY\*.

**AUTOR:** SUAREZ MONTERO, Chabeli Marcela\*\*

**KEYWORDS:** Improvement, urban freight distribution, logistics, diagnostics, processes, optimization of operations, metrics.

### DESCRIPTION

This degree project is developed as Business Practice in the company FRIMAC S.A that is dedicated to providing logistical transport for dry cargo, refrigerated, frozen and bulk. The project focuses on strengthening and optimizing operation processes of urban freight distribution in order to generate competitive advantages that allows the company to provide timely response to customer demand and reducing costs through the implementation of proposals for improvement based on engineering tools, offering solutions aimed at reducing administrative and operational time of activities such as planning routes and scheduling, loading and delivery times, traceability control in performing operation, among others. In relation to transport strategies, an appropriate approach in the size and consolidation of the shipment, the mode of transport, the allocation of routes and the scheduling of transporters; It represents a great competitive advantage for a company.

First, is performed a diagnosis that includes an overview of the company and a detailed description of the problems encountered in operational processes. Subsequently, proposals for improving these processes are formulated, tools for routing vehicles are developed and management indicators are created keeping track operation. Finally, the developed proposals are analyzed, the fulfillment of the objectives are evaluated and the respective conclusions and recommendations are made.

---

\*Bachelor Thesis

\*\*Faculty of Physicomechanicals Engineering. School of industrial studies and business. Director M.Sc Jevier Eduardo Arias Osorio, Phd. Myriam Leonor Niño López.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	17
1 GENERALIDADES DEL PROYECTO .....	19
1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA .....	19
1.1.1 Razón Social:.....	19
1.1.2 Localización: .....	19
1.1.3 Objeto Social .....	20
1.1.4 Portafolio de Servicios .....	20
1.1.5 Mercados que atiende la empresa.....	21
1.1.6 Canales de Distribución .....	23
1.1.7 Estructura Organizativa .....	23
1.1.8 Mapa de procesos de la empresa.....	23
1.1.9 Descripción general del proceso que aborda el trabajo de grado.....	24
1.1.10 Diagrama de flujo de procesos de la operación de Distribución Urbana.....	24
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	24
1.2.1 Novedades en la entrega de pedidos: .....	28
2 OBJETIVOS.....	31
2.1 Objetivo General.....	31
2.2 Objetivos Específicos.....	31
2.3 ALCANCE DEL PROYECTO.....	31
2.4 METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....	32
2.4.1 Etapa 1. Introducción a la empresa. ....	32
2.4.2 Etapa 2. Diagnóstico de la empresa. ....	33

2.4.3	Etapa 3. Formulación de propuestas de mejora. ....	33
2.4.4	Etapa 4. Implementación de las propuestas de mejora. ....	34
2.4.5	Etapa 5. Presentación de resultados. ....	34
3	MARCO REFERENCIAL .....	35
3.1	MARCO DE ANTECEDENTES .....	35
3.2	MARCO LEGAL.....	37
3.2.1	Marco legal para empresas de transporte .....	38
3.2.2	Marco legal en la distribución urbana de alimentos .....	38
3.3	MARCO TEÓRICO .....	39
3.3.1	Cadena de suministro .....	39
3.3.2	Logística .....	39
3.3.3	Logística urbana de mercancías.....	40
3.3.4	Modelos de optimización .....	42
3.3.5	Optimización combinatoria.....	43
3.3.6	Complejidad computacional.....	46
3.3.7	El problema de ruteo de vehículos .....	47
3.3.8	VRP with Time Windows.....	52
3.3.9	Métodos de solución del VRPTW .....	53
4	DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA.....	63
4.1	METODOLOGÍA DEL DIAGNÓSTICO .....	63
4.2	DIAGNÓSTICO DE LA OPERACIÓN DE DISTRIBUCIÓN URBANA .....	64
4.2.1	Localización .....	65
4.2.2	Recursos físicos y capacidad instalada .....	66
4.2.3	Condiciones de servicio .....	68

4.2.4	Recurso humano .....	69
4.2.5	Recursos tecnológicos.....	70
4.3	DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS ACTIVIDADES DE LA OPERACIÓN 70	
4.3.1	Planeación y programación de las rutas.....	71
4.3.2	Pre alistamiento de los vehículos .....	72
4.3.3	Picking y cargue de productos.....	73
4.3.4	Transporte y distribución secundaria de productos .....	74
4.3.5	Ajuste de cuentas .....	76
4.4	INFORMACIÓN CUANTITATIVA DE LA OPERACIÓN.....	76
4.4.1	Demanda de la operación.....	76
4.4.2	Ingresos Operacionales .....	77
4.4.3	Costos de operación.....	77
5	FOMULACIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORA.....	78
5.1	MEJORAS EN LA PLANIFICACIÓN DEL CARGUE .....	78
5.1.1	Problemática que se pretende atender.....	78
5.1.2	Objetivos de la propuesta .....	78
5.1.3	Descripción de la propuesta .....	79
5.1.4	Plan de implementación.....	79
5.2	MEJORAS EN LA PROGRAMACIÓN DE LOS RUTEROS DE DISTRIBUCIÓN.....	80
5.2.1	Problemática que se pretende atender.....	80
5.2.2	Objetivos de la propuesta .....	80
5.2.3	Descripción de la propuesta .....	81
5.2.4	Plan de implementación.....	81

5.3	SISTEMA DE INDICADORES PARA LA OPERACIÓN DE DISTRIBUCIÓN URBANA EN BUCARAMANGA, SU ÁREA METROPOLITANA Y PUEBLOS CERCANOS.....	82
5.3.1	Problemática que se pretende atender.....	82
5.3.2	Objetivos de la propuesta.....	83
5.3.3	Descripción de la propuesta.....	83
6	IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORA.....	87
6.1	EJECUCION DE PLANES DE IMPLEMENTACIÓN.....	87
6.1.1	Planificación del cargue.....	87
6.1.2	Ruteros de Distribución.....	93
6.2	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN.....	113
6.2.1	Planificación del cargue.....	113
6.2.2	Ruteros de Distribución.....	115
7	CONCLUSIONES.....	118
8	RECOMENDACIONES.....	120
	BIBLIOGRAFÍA.....	122

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación nacional de la flota de vehículos ofertada por FRIMAC S.A	21
Tabla 2. Listado de clientes comerciales de FRIMAC S.A .....	22
Tabla 3. Matriz de Frecuencia de Novedades .....	28
Tabla 4. Características de los vehículos usados en la Operación de Distribución Urbana de FRIMAC S.A .....	67
Tabla 5. Relación del recurso humano involucrado en la operación de Distribución Urbana .....	69
Tabla 6. Plan de implementación Planificación de Cargues.....	79
Tabla 7. Plan de implementación Rutero de distribución .....	82
Tabla 9. Liquidaciones primer corte de octubre.....	113
Tabla 10. Comparación de resultados de implementación del Rutero de Distribución en la ruta LAGOS .....	116

## LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Logo de la empresa FRIMAC S.A.....	19
Ilustración 2. Fachada FRIMAC S.A.....	19
Ilustración 3. Distribución de la flota de vehículos de FRIMAC S.A .....	20
Ilustración 4. Distribución de la demanda atendida por FRIMAC S.A .....	21
Ilustración 5. Árbol de problemas.....	26
Ilustración 6. Árbol de objetivos.....	27
Ilustración 7. Distribución de causantes de novedades.....	29
Ilustración 8. Clasificación de las principales técnicas de optimización .....	43
Ilustración 9. Representación gráfica de un problema de ruteo de vehículos .....	49
Ilustración 10. Esquema de distribución de producto terminado para el cliente AVIDESA MAC POLLO .....	65
Ilustración 11. Fachada CEDI Avidesa MAC POLLO .....	65
Ilustración 12. Termoregistro usado para el control de la temperatura de los vehículos .....	70
Ilustración 13. Distribución de la demanda de MAC POLLO en Bucaramanga, su área metropolitana y pueblos cercanos.....	77
Ilustración 14. Rutero Diario de asignación de rutas y planificación de cargues...	91
Ilustración 15. Geolocalización de los clientes de la Ruta Lagos .....	95
Ilustración 16. Esquema de un algoritmo bio-inspirado.....	100
Ilustración 17. Diagrama de flujo del ABC.....	106
Ilustración 18. Diagrama de flujo del Vecino más cercano.....	108
Ilustración 19. Diagrama de flujo del algoritmo VRPTW del proyecto de grado ..	109
Ilustración 20. Interfaz de Demanda.....	111
Ilustración 21. Interfaz de Ventanas de Tiempo .....	111
Ilustración 22. Interfaz del rutero .....	112

## LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Comparación de Demandas para el día miércoles .....	89
Gráfica 2. Comparación de liquidaciones - Primer corte de octubre .....	114
Gráfica 3. Máximo y Mínimo de liquidaciones .....	115

## LISTADO DE ANEXOS

**Nota:** Los siguientes anexos se encuentran en carpeta adjunta, pueden ser consultados en la Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander, sala base de datos.

ANEXO A. Tipos de Servicios ofertados por FRIMAC S.A

ANEXO B. Descripción de las operaciones logísticas de transporte y tipos de vehículos demandados por AVIDESA MAC POLLO

ANEXO C. Estructura Organizativa de la empresa

ANEXO D. Mapa de Procesos de la empresa FRIMAC S.A

ANEXO E. Diagrama de flujo e Proceso de la Operación de Distribución Urbana de FRIMAC S.A

ANEXO F. Clasificación de las novedades presentes en la Operación de Distribución Urbana de AVIDESA MAC POLLO

ANEXO G. Descripción de las rutas de Distribución Urbana y viajeras.

ANEXO H. Ingresos de la Operación de Distribución Urbana de FRIMAC S.A en el año 2015

ANEXO I. Costos de la Operación de Distribución Urbana en el año 2015

ANEXO J. Herramienta de planificación de asignación de rutas

ANEXO K. Ventanas de tiempo de los clientes

ANEXO L. Código de programación

ANEXO M. Consolidado de novedades de la Operación

ANEXO N. Requerimientos de documentación para el ingreso de vehículos en la operación

ANEXO O. Consolidado de demanda de VIDESA MAC POLLO en KG.

## INTRODUCCIÓN

El mejoramiento en la administración de la cadena de suministro se ha convertido en el camino para fortalecer la competitividad de las empresas mediante la reducción de la incertidumbre y el mejoramiento continuo de la eficiencia en la cadena de valor. Su objetivo general es integrar las diferentes actividades de una empresa incluyendo al consumidor final, con la finalidad de generar valor para todos.

Estratégicamente, la toma de decisiones logísticas tiene como eje principal la optimización de tres áreas fundamentales: inventarios, ubicación y transporte.

En relación a las estrategias de transporte, un enfoque adecuado en el tamaño y consolidación del envío, el modo de transporte, asignación de rutas y programación de transportistas; representa una gran ventaja competitiva para una empresa. El transporte terrestre por carretera es el principal medio de flujo de carga nacional en Colombia y se caracteriza por ser de gran importancia dentro de toda economía, convirtiéndose en un factor transversal de desarrollo. Permite conectar las diferentes actividades económicas y generalmente su comportamiento es directamente proporcional al crecimiento económico del país.

FRIMAC S.A es una empresa que brinda soluciones logísticas integrales de transporte cumpliendo con estándares de calidad y seguridad. En pro de fortalecer su competitividad y eficiencia en el desarrollo de sus operaciones logísticas, la empresa ha optado por desarrollar proyectos enfocados al mejoramiento continuo y optimización de sus procesos. Este trabajo está orientado al mejoramiento, estandarización y control de los procesos involucrados en la Operación de **Distribución Urbana** en Bucaramanga, su área metropolitana y pueblos aledaños. Se formularan alternativas de solución encaminadas al mejoramiento de actividades como la planificación y programación de rutas, tiempos de cargue y entrega, control de la trazabilidad en el desempeño de la operación, entre otras.

## TABLA DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

OBJETIVO	CUMPLIMIENTO	Pág.
Elaborar un diagnóstico del proceso de transporte y distribución de FRIMAC S.A que permita identificar los puntos críticos de mejora.	Capítulo 4.0 Diagnostico de la Empresa	64
Diseñar y formular un plan de mejoramiento logístico para el transporte y distribución de producto terminado a partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico.	Capítulo 5.0 Formulación de propuestas de mejora	80
Formular e implementar una propuesta para la planificación y programación de los tiempos de cargue y distribución de las rutas rurales y urbanas.	Numeral 6.1 Ejecución de planes de implementación	89
Diseñar un sistema de indicadores de gestión que permitan llevar un control de los procesos involucrados en el mejoramiento de la operación.	Numeral 5.3 Sistema de indicadores para la Operación de Distribución Urbana en Bucaramanga, su área metropolitana y pueblos cercanos	84

# 1 GENERALIDADES DEL PROYECTO

## 1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

### 1.1.1 Razón Social. FRIMAC S.A

#### Ilustración 1. Logo de la empresa FRIMAC S.A



*Fuente:* (Frimac S.A, 2008)

**1.1.2 Localización.** Las oficinas administrativas de la empresa están ubicadas en el barrio El Manantial, en la Calle 1ra # 2-05 Floridablanca / Santander (ver *ilustración 2*)

#### Ilustración 2. Fachada FRIMAC S.A

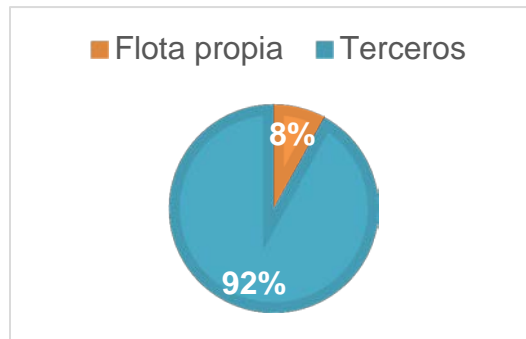


*Fuente:* Departamento de seguridad FRIMAC S.A

**1.1.3 Objeto Social.** FRIMAC S.A es una empresa que brinda soluciones logísticas de transporte para carga seca, al granel, refrigerada y congelada.

**1.1.4 Portafolio de Servicios.** La empresa ofrece diferentes servicios de transporte a los cuales se les asignan vehículos dependiendo de la demanda de los clientes y disponibilidad de la flota. De la totalidad de la flota de vehículos utilizados en los diferentes servicios ofertados solamente el 8% pertenecen a la flota propia de la compañía. El 92% restante de la flota de vehículos pertenecen a propietarios terceros que los colocan a disposición de la empresa para la prestación de servicios.

**Ilustración 3. Distribución de la flota de vehículos de FRIMAC S.A**



*Fuente: Director de Operaciones – FRIMAC S.A*

A nivel nacional se prestan 4 tipos de servicios: servicios de carga seca, servicio de carga al granel, servicio de carga refrigerada y servicio de carga congelada. En el ANEXO A se presenta una breve descripción de cada uno de estos servicios.

En la *Tabla 1* están relacionadas las cantidades de vehículos propios y terceros ofertados en todo el país a diciembre de 2015 según el tipo, la capacidad y el servicio en el que son usados.

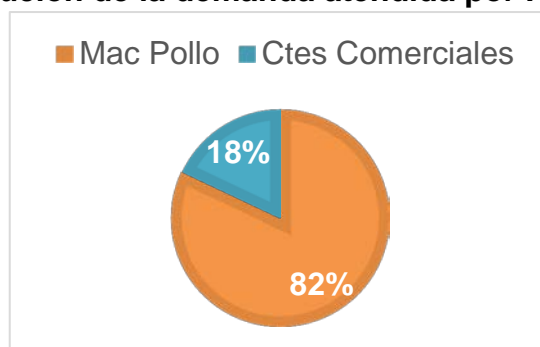
**Tabla 1. Clasificación nacional de la flota de vehículos ofertada por FRIMAC S.A**

TIPO DE VEHICULO	CAPACIDAD (Ton)	PROPIOS (und)	TERCEROS (und)	TOTAL (und)
Sencillo	8	10	180	<b>190</b>
Turbo	3.7	1	41	<b>42</b>
NHR	2.5	3	422	<b>425</b>
Doble Troque	14	4	78	<b>82</b>
Tractomulas	28 - 34	62	270	<b>332</b>
<b>TOTAL</b>	-	<b>80</b>	<b>991</b>	<b>1071</b>

*Fuente: Coordinador de Flota Propia FRIMAC S.A – Dic 2015}*

**1.1.5 Mercados que atiende la empresa.** Por ser una empresa especializada en el transporte de carga refrigerada, FRIMAC S.A se dedica principalmente a abastecer la demanda de empresas que solicitan este tipo de servicios. Del total de la capacidad con que cuenta la empresa para brindar soluciones logísticas de transporte, el cliente más significativo con un porcentaje de participación de 82% es AVIDESA MAC POLLO. El 18% restante le pertenece a Clientes Comerciales Nacionales.

**Ilustración 4. Distribución de la demanda atendida por FRIMAC S.A**



*Fuente: Director de Operaciones de FRIMAC S.A*

La empresa abastece en un **98%** toda la demanda de transporte necesaria para el desarrollo completo de la **CADENA DE SUMINISTRO DE MAC POLLO**. En el *ANEXO B* se hace una breve descripción de cada una de las operaciones de transporte de la cadena de suministro de MAC POLLO y el tipo de vehículos utilizados por FRIMAC para cada una de ellas.

Para los **Cientes Comerciales** la empresa brinda soluciones de transporte de carga seca, refrigerada y congelada. Los clientes son contactados por medio de cotizaciones que estos solicitan a la página web de la empresa, visitas comerciales realizadas directamente a las empresas o por medio de recomendaciones y la voz a voz de otros clientes. Este servicio se presta a nivel nacional solamente para cargas grandes y representativas. En la *Tabla 2* se relacionan los principales clientes comerciales nacionales de FRIMAC S.A.

**Tabla 2. Listado de clientes comerciales de FRIMAC S.A**

CLIENTES COMERCIALES
PRICESMART
GRUPO NUTRESA (Zenú, Nacional de chocolates, Noel, Colcafé, entre otros)
GRUPO FAMILIA
ALQUERÍA
DANONE
CENCOSUD
LEVAPAN
FRUTCO
CAMAGUEY
FRUTERA DEL LITORAL
GRUPO GLORIA (
RITCH COLOMBIA

*Fuente: Coordinador Dpto. Comercial FRIMAC S.A*

**1.1.6 Canales de Distribución.** FRIMAC S.A por ser una empresa de transporte, más no de almacenamiento, no cuenta con una infraestructura para la prestación del servicio de cargue de mercancía a sus clientes comerciales, por lo tanto, los vehículos asignados por parte de FRIMAC para la prestación de servicios a estos clientes deben llegar al lugar donde se encuentra almacenado el producto que se va a transportar. El cliente debe estar ubicado en un lugar donde los vehículos puedan acceder a cargar los productos sin ninguna restricción y también debe contar con la infraestructura adecuada para el proceso de cargue.

Con respecto al cliente AVIDESA MAC POLLO, el cargue de productos se hace desde la planta de beneficio en el oriente del país (Bucaramanga, Santander), occidente (Buga, Valle del cauca) y desde los principales centros de almacenamiento de producto terminado (CEDI) ubicados en las principales ciudades del país.

**1.1.7 Estructura Organizativa.** La empresa posee un organigrama que refleja su estructura organizativa. Este documento se puede apreciar en el *ANEXO C*.

**1.1.8 Mapa de procesos de la empresa.** En el *ANEXO D* se puede visualizar el mapa de proceso de la empresa junto con los procesos misionales, estratégicos y de apoyo.

**1.1.9 Descripción general del proceso que aborda el trabajo de grado.** El tipo de transporte utilizado por AVIDESA MAC POLLO para la distribución de producto terminado a nivel local y nacional es el terrestre ya que debido a su capacidad de almacenamiento, flexibilidad y cobertura es idóneo para cumplir con las actividades de entrega de pedidos demandados; siendo FRIMAC S.A la empresa encargada de realizar el transporte refrigerado de estos productos asegurándose de que cumplan con la cadena de frío.

Este proyecto se centra en la **Operación de Distribución Urbana del producto de AVIDESA MAC POLLO en la ciudad de Bucaramanga, su área metropolitana y áreas rurales cercanas**. En el *capítulo 3.0* se hará una descripción de las generalidades de la operación, los procedimientos y el registro de la información; un diagnóstico de la situación actual de cada una de las fases del proceso, basado en el seguimiento de las rutas, ingresos y costos, características, información y algunas otras variables de interés, seguido de una identificación de situaciones problemáticas u oportunidades de mejora.

#### **1.1.10 Diagrama de flujo de procesos de la operación de Distribución Urbana**

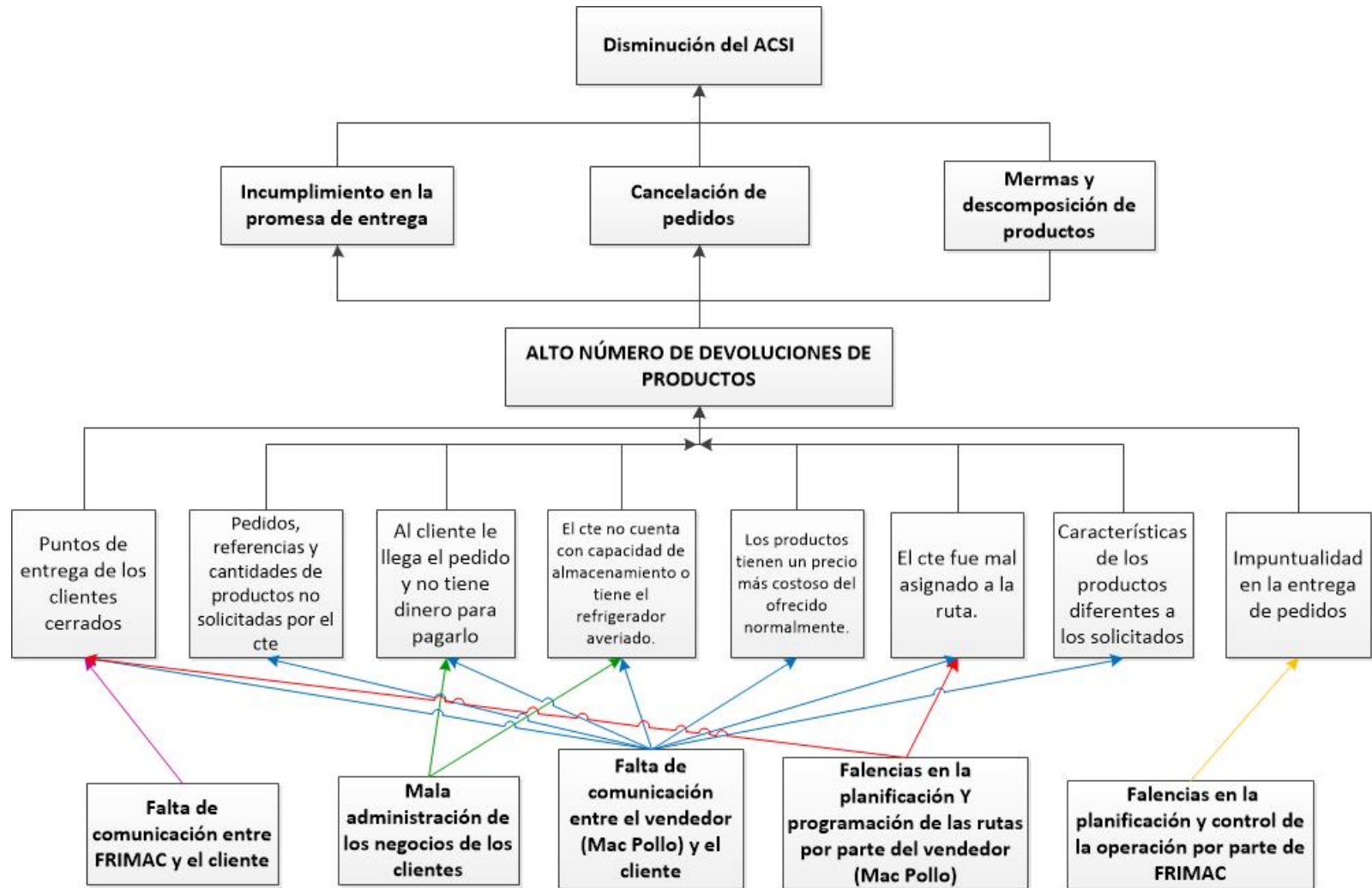
En el *ANEXO E* se puede observar de manera detallada el Diagrama de Procesos de la operación de Distribución Urbana de FRIMAC S.A

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A partir del diagnóstico realizado se construye el árbol de problemas (ver *Ilustración 6*) basado en las principales falencias de la operación y el árbol de objetivos (ver *Ilustración 7*) que se centra en las mejoras de dichas falencias. Ambos se leen de abajo hacia arriba partiendo del origen de los problemas que causan diferentes tipos de novedades de la operación, teniendo como problema central el **alto número de novedades** que originan tres principales consecuencias: Incumplimiento en las promesas de entregas a los clientes, cancelación de pedidos en último momento y mermas o descomposición de productos. Estas

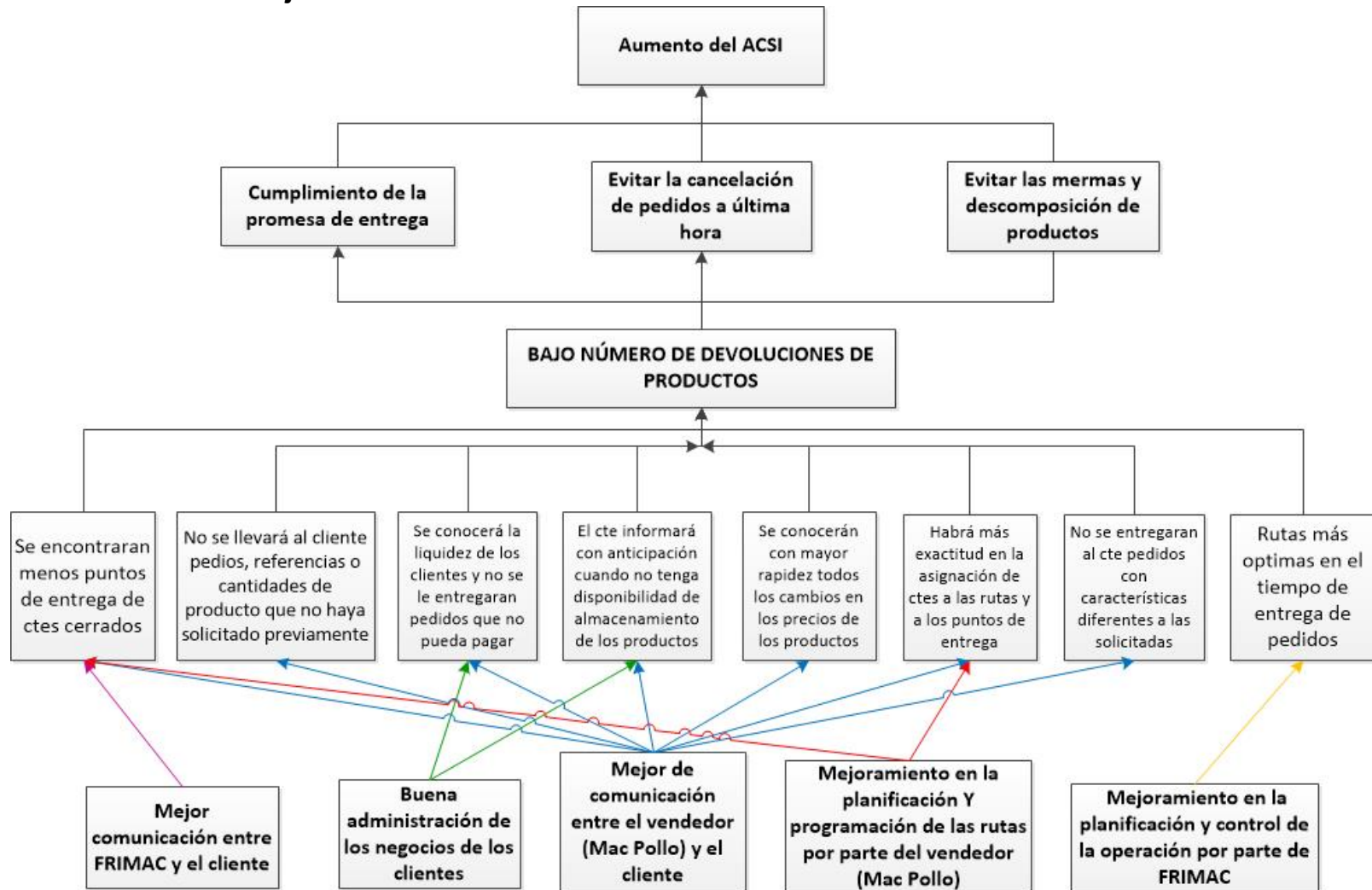
consecuencias afectan de forma directa el Servicio de atención y satisfacción del cliente (ACSI).

Ilustración 5. Árbol de problemas



Fuente: autora.

Ilustración 6. Árbol de objetivos



Fuente: autora.

**1.2.1 Novedades en la entrega de pedidos.** El cumplimiento de la ruta por ser la etapa más crítica del proceso obligó a la clasificación y descripción de cada una de las novedades presentes durante el proceso de entrega de producto terminado a cada uno de los clientes. Diariamente cada una de las rutas contiene diferentes tipos de novedades por esta razón se hizo una clasificación en relación con cada una de las partes que pueden afectar directamente el desarrollo normal de la operación. Dicha clasificación está presente en el *ANEXO F* y fue usada posteriormente para la elaboración de la Matriz de Frecuencia de Novedades que contiene los resúmenes cuantitativos de las principales causantes de devoluciones de la operación.

**Tabla 3. Matriz de Frecuencia de Novedades**

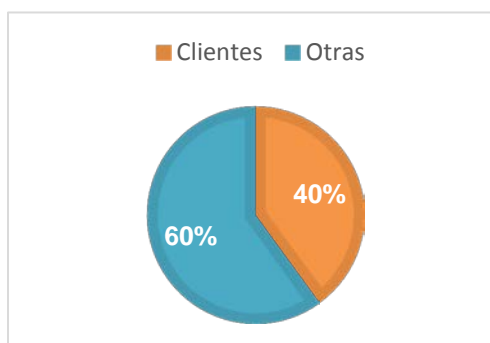
TIPO DE NOVEDAD	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16
CANT NO SOLICITADA	3,48%	0,00%	0,00%	0,55%	0,82%
CERRADO	23,77%	22,32%	20,72%	19,73%	25,82%
DOBLE PEDIDO	0,00%	0,00%	0,00%	1,10%	1,23%
MAL DIGITADO	4,64%	17,10%	14,41%	13,15%	11,89%
NO ALMACEN (CTE)	1,74%	0,29%	0,90%	0,82%	0,41%
NO HAY DINERO	27,54%	24,06%	31,98%	18,63%	19,26%
NO HIZO PEDIDO	0,87%	9,28%	13,96%	13,42%	15,98%
NO JUSTIFICA	0,00%	2,61%	2,70%	3,84%	0,82%
NO SE OTORGA MERMA	1,16%	0,00%	0,00%	0,55%	0,82%
NO SE PERMITE MANIPULAR EL PROD	0,00%	0,00%	0,00%	0,27%	0,41%
PEDIDO CANCELADO	1,16%	0,00%	0,00%	0,55%	0,00%
PEDIDO INCOMPLETO	0,00%	0,00%	0,00%	0,27%	1,23%
PROD CONGELADO	0,00%	0,58%	0,45%	2,19%	0,00%
PROD COSTOSO	2,61%	3,77%	3,15%	2,47%	2,05%
PROD GRANDE	3,48%	2,32%	0,90%	2,19%	3,28%
PROD NO SOLICITADO	16,23%	0,58%	1,35%	1,92%	2,46%
PROD PEQUEÑO	1,16%	0,87%	2,70%	1,37%	0,82%
TARDE/TEMPRANO	4,64%	9,57%	4,05%	12,88%	6,56%
TENIA PROD	5,22%	4,06%	2,70%	4,11%	6,15%
PROD AVERIAS	0,00%	0,29%	0,00%	0,00%	0,00%
PROD AGUADO	0,29%	0,87%	0,00%	0,00%	0,00%
PROD AVERIADO	0,58%	0,29%	0,00%	0,00%	0,00%
PROD SIN DESCUENTO	0,29%	1,16%	0,00%	0,00%	0,00%
CALAMIDAD	0,87%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
OTRO	0,29%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Se evidencio que durante los últimos meses entre el 40% y 50% de las devoluciones de la operación se deben a novedades relacionadas o que tienen causa directa por el cliente, dentro de estas las de mayor frecuencia son “encontrar el punto de entrega cerrado” y “no tener dinero para pagar el pedido”.

Estos porcentajes también están relacionados de forma indirecta con el actual plan de visitas a los clientes o rutero, el cual es programado de forma muy empírica sin ningún tipo de herramienta tecnológica o matemática, generando muchas veces desorganización en la entrega de los pedidos.

Generalmente se presentan son problemas de comunicación, planeación y programación de las rutas que serán puntos claves a tener en cuenta en las propuestas de solución para el mejoramiento de los procesos de esta operación. El **60% restante** son novedades relacionadas con Bodega, con los vendedores asignados por Mac Pollo y el personal involucrado de FRIMAC en la operación.

#### **Ilustración 7. Distribución de causantes de novedades**



*Fuente: Directora de ventas – Mac Pollo*

En el ANEXO M se encuentra un archivo Excel, en el cual las novedades de operación se encuentran clasificadas y tabuladas según la ruta y el mes.

También se observaron falencias en la planeación y asignación de rutas a los vehículos, proceso que actualmente se realiza basado en la experiencia diaria. Esto se ve reflejado en la falta de equidad en la cantidad de toneladas movidas mes a mes por cada vehículo, ocasionando diferencias significativas entre las liquidaciones de más de \$1'500.000, haciendo claridad en que los conductores y auxiliares de rutas reciben ingresos según la cantidad de peso transportado.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un plan de mejoramiento logístico para la operación de Distribución Urbana de la empresa FRIMAC S.A

### 2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un diagnóstico del proceso de transporte y distribución de FRIMAC S.A que permita identificar los puntos críticos de mejora.
- Diseñar y formular un plan de mejoramiento logístico para el transporte y distribución de producto terminado a partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico.
- Formular e implementar una propuesta para la planificación y programación de los tiempos de cargue y distribución de las rutas rurales y urbanas.
- Diseñar un sistema de indicadores de gestión que permitan llevar un control de los procesos involucrados en el mejoramiento de la operación.

### 2.3 ALCANCE DEL PROYECTO

En el desarrollo del proyecto de grado la autora pretende hacer entrega de los siguientes productos que permitan el cumplimiento de los objetivos:

- ✓ Diagnóstico completo de la Operación de Distribución Urbana del producto terminado de AVIDESA MAC POLLO.
- ✓ Plan de mejoramiento logístico para la Operación de Distribución Urbana de FRIMAC S.A
- ✓ Herramienta para la planificación en la asignación de vehículos a las rutas de distribución urbana.

- ✓ Herramienta tecnológica para programación de rúters de distribución urbana.
- ✓ Sistemas de indicadores para evaluar y controlar los procesos logísticos en la Operación.

## **2.4 METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

**2.4.1 Etapa 1. Introducción a la empresa.** Esta etapa se fundamenta en conocer la empresa FRIMAC S.A, especialmente el área de Distribución Urbana donde se enfocará el proyecto y en definir, tanto el alcance como los resultados a obtener después de realizado el proyecto. Para efectuar el alcance se necesitan unas actividades antecesoras que se definen a continuación:

- a. Presentación de la propuesta de proyecto ante el Gerente y representante legal de FRIMAC S.A con el propósito de dejar claro los objetivos propuestos para el desarrollo.
- b. Inicio de la metodología para realizar el diagnóstico de la empresa, con asistencia diaria de lunes a viernes con un promedio de 35 horas a la semana.
- c. Visita al Gerente de Ventas Y Gerente administrativo de Avidesa Mac Pollo para socializar el diagnóstico realizado previamente y las propuestas de mejora a implementar. Esto se hace con la finalidad de obtener permisos para el uso de información de ambas empresas.

**2.4.2 Etapa 2. Diagnóstico de la empresa.** La autora realiza un estudio de fuentes primarias, secundarias, revisión bibliográfica y antecedentes de otros proyectos. Lo anterior con el objetivo de conocer los procedimientos que se realizan en la empresa y determinar la situación actual de los procesos logísticos de distribución y la planificación y control de las operaciones logísticas de distribución. A partir de esto se inicia el desarrollo de la metodología de diagnóstico y se conocen algunas herramientas para facilitar el mejoramiento de los procesos a intervenir. Se realiza una breve descripción de la localización del proyecto, las condiciones de prestación de servicio de la empresa y los recursos necesarios para el normal desempeño de la operación. También, mediante un estudio de tiempos se toman datos de los tiempos de cargue y distribución, los km recorridos, los kg distribuidos, número de clientes atendidos, para de esta manera tener una descripción general de cada ruta. Finalmente se construye un consolidado de las principales novedades que se presentan en la operación durante la actividad de distribución del producto.

**2.4.3 Etapa 3. Formulación de propuestas de mejora.** Se realiza una observación detallada de la información obtenida en el diagnóstico, herramienta utilizada seguidamente para realizar propuestas de mejora y dar alternativas de solución a los procesos que aborda el proyecto. Para las propuestas de mejora, sólo se tienen en cuenta las más significativas y a las que se les puede dar cumplimiento a corto plazo, con el objetivo de dar cumplimiento a todos los objetivos del proyecto. Basándose en la herramienta del diagnóstico se hace una descripción del problema y el objetivo que pretende alcanzar el mejoramiento del problema. Esto será presentado a la gerencia de la empresa.

**2.4.4 Etapa 4. Implementación de las propuestas de mejora.** En esta etapa se pretende diseñar una solución para la planificación y programación de las rutas de distribución mediante el uso de herramientas ofimáticas y también para la toma y almacenamiento de indicadores de gestión. La planificación de los cargues y la asignación de rutas de distribución a los vehículos se mejorará mediante el uso de la herramienta ofimática Excel, mientras que para la programación del orden de las entregas para las rutas de distribución se usará el lenguaje de programación GO que se encuentra enlazado directamente con Google Maps.

**2.4.5 Etapa 5. Presentación de resultados.** Una vez realizadas todas las actividades en la empresa y culminado el compromiso con la misma, se realiza un análisis de todo el desarrollo del proyecto verificando con los indicadores de evaluación la implementación de las propuestas de mejora. En esta fase de culminación del proyecto se realizan conclusiones y recomendaciones para la empresa, que serán expuestos a la gerencia, los jurados del proyecto y a quien pueda interesar.

### 3.1 MARCO DE ANTECEDENTES

Con base en la revisión y búsqueda bibliográfica realizada de proyectos relacionados con el mejoramiento logístico de operaciones de transporte, Martínez Carrascal<sup>1</sup> realizó su proyecto de grado en la empresa Pimpollo S.A titulado “Mejoramiento a los procesos de transporte del área de producción avícola en la zona oriente de Pimpollo S.A”, en el que se realiza un diagnóstico para cada una de las diferentes operaciones de transporte involucradas en la producción avícola. En el documento se evidencia el contraste entre el estado de los proceso al principio y al final del proyecto, teniendo como soporte los sistemas de indicadores diseñados. El presente trabajo de grado se enfocará en realizar el diagnóstico de una sola de las operaciones en el transporte avícola (distribución urbana), por lo tanto este diagnóstico debe ser muy detallado y claro para posteriormente formular mejoras y políticas en los procesos logísticos de la empresa.

En relación al diseño de indicadores de gestión de los procesos, Fernández Castillo<sup>2</sup> con su trabajo de grado titulado “Establecimiento de un modelo de planeación estratégica y diseño de indicadores de gestión como instrumentos de dirección gerencial en el área comercial de la compañía avícola Pollosan” cuyo principal logro fue hacer entrega del sistema integral de indicadores de gestión para el área comercial de Pollosan. Los indicadores son herramientas muy útiles para el mejoramiento de la calidad, eficiencia y productividad de los procesos y se consideran los medios más económicos y prácticos para la identificación de problemas, sobretodo en empresas de servicios. Actualmente FRIMAC no cuenta

---

<sup>1</sup> MARTÍNEZ CARRASCAL Natalia. Proyecto de Grado. Mejoramiento a los procesos de transporte del área de producción avícola en la zona oriente de PIMPOLLO S.A. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2007.

<sup>2</sup>FERNÁNDEZ CASTILLO Silvia Carolina. Proyecto de Grado. Establecimiento de un modelo de planeación estratégica y diseño de indicadores de gestión como instrumentos de dirección gerencial en el área comercial de la compañía avícola POLLOSAN. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2006.

con un sistema de indicadores logísticos en la operación de distribución urbana, por lo tanto el diseño e implementación de estos indicadores se plantea como unos de los objetivos específicos del proyecto, con los cuales se pretende llegar a tener un mayor control y bases sólidas para toma de decisiones.

Recientemente Ulloa Murcia<sup>3</sup> realizó una revisión bibliográfica exhaustiva en su trabajo de grado titulado “Estado del arte de los modelos de optimización en la logística urbana de mercancías” construido con artículos de la base de datos ISI WEB OF KNOWLEDGE y se hace una descripción de los diferentes modelos de optimización que se han desarrollado para la logística urbana de mercancías a partir del 2004 incluyendo temas como la predicción de la demanda, inversión en infraestructura, localización de facilidades logísticas y modelos VRP. Es importante en el desarrollo de este proyecto tener conocimiento de los avances en materia científica en la distribución urbana de mercancías a nivel nacional e internacional. El estudio de los diferentes modelos de optimización trabajados para solucionar los problemas de logística urbana de mercancías mediante modelos de ruteo de vehículos VRP, componen la base fundamental para el planteamiento e implementación de las propuestas de mejora de la operación de distribución urbana de la empresa.

Finalmente Bakarcic y Di Piazza<sup>4</sup> en su tesis doctoral titulada “Ruteo de vehículos y asignación de conductores: un enfoque combinado” aborda el problema de la entrega de mercancías bajo el cumplimiento de restricciones horarias, en función de un conjunto de vehículos disponibles y la asignación de conductores a cada vehículo. Este esquema de solución propuesto es una buena guía para la solución de los modelos de distribución de productos de la empresa.

---

<sup>3</sup>ULLOA MURCIA Joan Manuel. Proyecto de Grado. Estado del arte de los modelos de optimización en la logística urbana de mercancías. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2015.

<sup>4</sup>BAKARCIC Damián. DI PIAZZA Gabriela. Proyecto de grado doctoral. Ruteo de vehículos y asignación de conductores: un enfoque combinado. Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires. 2012.

## 3.2 MARCO LEGAL

El transporte en Colombia está regulado dentro de las funciones del Ministerio de Transporte, el cual lleva procesos muy de la mano con el Registro Único Nacional de Tránsito – RUNT, el Instituto Nacional de Vías – INVIAS y la Aeronáutica Civil – AEROCIVIL<sup>5</sup>. En el marco legal del sector transporte encontramos cuatro actores claves:

- **Los generadores de carga:** son las empresas manufactureras o comercializadoras que requieren servicios de transporte de mercancías para el traslado y distribución hasta sus respectivos clientes. La mayoría de estas empresas contratan operadores logísticos que ya cuentan con tecnologías y experiencia en la logística de transporte.
- **Los operadores Logísticos:** son empresas cuya razón social consiste en brindar soluciones logísticas para toda la cadena de suministro de los generadores de carga; procesos como el aprovisionamiento, transporte, almacenaje y distribución. Las empresas de transporte hacen parte de este grupo<sup>6</sup>.
- **Clientes:** son los que generan la demanda de bienes y según sus necesidades se pueden categorizar en establecimientos comerciales, distribución comercial tradicional, establecimientos industriales y domicilios.
- **Ente regulador:** Son los organismos encargados de velar que en el desarrollo de estas operaciones se cumplan las normas y leyes establecidas por el Estado. En Colombia algunos de los organismos reguladores son los mencionados al comienzo del *numeral 2.2*

---

<sup>5</sup> Ministerio de Transporte. Caracterización del transporte automotor de carga en Colombia 2010-2012. 2014 [ En

Línea]<[https://www.mintransporte.gov.co/Documentos/documentos\\_del\\_ministerio/Estadisticas](https://www.mintransporte.gov.co/Documentos/documentos_del_ministerio/Estadisticas)>

<sup>6</sup> Universidad ICESI. ¿Cómo escoger un operador logístico? [ En Línea]<<http://www.icesi.edu.co/icecomex/images/Como%20escoger%20un%20Operador%20Logistico.pdf>>

**3.2.1 Marco legal para empresas de transporte.** Las empresas de servicio de transporte terrestre automotor de carga en Colombia para realizar sus operaciones en territorio nacional deben estar legalmente constituidas y debidamente habilitadas cumpliendo con las normas que regulan el transporte, entre otras leyes 105 de 1993 y 336 de 1996, y el decreto No. 173 e 2001, “Por el cual se reglamenta el servicio público de transporte terrestre automotor de carga”.

Es así, como para constituir una empresa de transporte se debe tener en cuenta lo que establece el artículo 10º de la ley 336 de 1996 “se entiende el operador o **EMPRESA DE TRANSPORTE** la persona natural o jurídica constituida como unidad de explotación económica permanente con los equipos, instalaciones y órganos de administración adecuados para efectuar el traslado de un lugar a otro de personas o cosas, o de unas y otras conjuntamente<sup>7</sup>”.

**3.2.2 Marco legal en la distribución urbana de alimentos.** La distribución urbana de alimentos en Colombia es regulada bajo el Decreto 3075 de 1997 (diciembre 23) en el capítulo VII<sup>8</sup>. Las operaciones y condiciones de almacenamiento, transporte y comercialización de alimentos deben evitar:

- a) La contaminación y alteración del alimento
- b) La proliferación de microorganismos indeseables en el alimento
- c) El deterioro o daño del envase o embalaje

---

<sup>7</sup> Ministerio de Transporte. Caracterización del transporte automotor de carga en Colombia 2010-2012. 2014 [ En Línea]<[https://www.mintransporte.gov.co/Documentos/documentos\\_del\\_ministerio/Estadisticas](https://www.mintransporte.gov.co/Documentos/documentos_del_ministerio/Estadisticas)>

<sup>8</sup>Alcaldía de Bogotá. Decreto 3075 de 1997. [ En Línea]<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=3337>>

### 3.3 MARCO TEÓRICO

**3.3.1 Cadena de suministro.** Stock y Lambert<sup>9</sup> definen la cadena de suministro como la integración de las funciones principales del negocio desde el usuario final a través de proveedores originales que ofrecen productos, servicios e información que agregan valor para los clientes y otros interesados (stakeholders).

**3.3.2 Logística.** Stock y Lambert<sup>10</sup> definen logística como “la parte de la cadena de suministro que plantea, implementa y controla el eficiente y efectivo flujo y almacenamiento de bienes, servicios y la información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo con el propósito de satisfacer los requerimientos del cliente”

Su origen se da en el ejército, donde se considera la logística como el suministro de bienes requeridos en tiempo, lugar y forma para el cumplimiento de manera eficiente de las actividades encomendadas. De ahí se empieza a aplicar el concepto en ámbitos empresariales donde su función principal era controlar el flujo físico de materiales, sin embargo su alcance se fue ampliando y su importancia es tal que se crearon cargos de responsabilidad logística en la mayoría de las empresas, evidenciando el valioso rol que juega está en los sistemas de gestión empresarial<sup>11</sup>.

---

<sup>9</sup> STOCK J; LAMBERT D. Capítulo II. Strategic Logistics Management. Irwin – Mc Graw Hill. 2001 p59

<sup>10</sup> STOCK J; LAMBERT D. Capítulo II. Strategic Logistics Management. Irwin – Mc Graw Hill. 2001 p57

<sup>11</sup>ALBA, Osbel. Logística: conceptualización y tendencias actuales.

3.3.2.1 **Actividades principales en la logística.** Ballou<sup>12</sup> en su libro “Logística: Administración de la cadena de suministro” plantea que las siguientes actividades son consideradas en todos los procesos logísticos debido a que contribuyen a la mayor parte de los costos totales y son esenciales para obtener una coordinación efectiva:

- a) **Transporte:** es una de las más importantes actividades logísticas debido a que absorbe aproximadamente en promedio de un tercio a dos tercios de los costos logísticos. El transporte se refiere a los distintos métodos para mover el producto de un punto a otro, esto incluye escoger el método, el uso de la capacidad y la creación de las rutas. Ninguna empresa puede operar sin proveer este servicio.
- b) **Administración del inventario:** Esta actividad se da porque usualmente no es posible proveer instantáneamente la producción al cliente, además proporciona un cierto grado de disponibilidad del producto entre el proveedor y el demandante. Representa entre un tercio y dos tercios de los costos logísticos añadiendo valor de tiempo.
- c) **Procesamiento de órdenes:** los costos en esta actividad suelen ser menores comparados con los de transporte o mantenimiento de inventario, pero aun así es considerada una actividad principal. Se considera un elemento crítico al momento de entregar los pedidos a los clientes y se une al movimiento del producto con la entrega, su operación es entregar el producto al cliente en el lugar y tiempo adecuado.

**3.3.3 Logística urbana de mercancías.** La logística urbana de mercancías es el eslabón de la cadena de transporte que se sitúa dentro de la ciudad, es decir su única preocupación es una gestión adecuada de la distribución de mercancías dentro de la ciudad, sea para aprovisionar a consumidores o empresas.

---

<sup>12</sup>BALLOU Ronald H. Logística: Administración de la cadena de suministro. 5ta edición. Pearson. 2011. p9

La distribución urbana de mercancías lleva consigo impactos negativos. Estudios realizados por Lindholm y Behrends<sup>13</sup> indican que sus actividades generan entre el 20% y el 30% del tráfico de las ciudades, y representa la emisión de al menos el 50% de contaminantes en el ambiente, además de ser el mayor generador de tráfico y accidentes en las ciudades. Por lo anterior, en muchos países es más importante el buen manejo de la distribución de mercancías, que la gestión de la movilidad de las personas, sea en bicicleta, motocicleta, vehículo privado, sistema de transporte público o como viandante (persona que transita a pie por espacios públicos).

Dado a que todas las ciudades tienen características diferentes se descarta la posibilidad de un modelo de logística urbana de mercancías aplicable de forma general. Sin embargo, tener claro los actores que hacen parte en la distribución de mercancías y sus interacciones, hace más fácil la adaptación, creación y mejoramiento de modelos.

**3.3.3.1 Recursos de la logística urbana de mercancías.** Se pueden identificar dos tipos de recursos: recursos monetarios y no monetarios.

Los *recursos monetarios* pueden venir de fondos públicos y privados, y son usados en gran variedad de inversiones que mejoren las actividades de la distribución de mercancías.

Los *recursos no monetarios* son: el combustible usados para transportar la mercancía, los bienes transportados, el personal que toma parte en las operaciones de transporte, el software, equipos que se usen para la carga, descarga, entrega, recibimiento o manejo de mercancía, infraestructura y bases.

---

<sup>13</sup> LINDHOLM, María y BEHRENDTS, Sonke. Challenges in urban freight transport planning-a review in the Baltic sea región. En: journal of transport geography. 2012. Vol 22, p 129-136

### 3.3.3.2 **Actividades logísticas en la distribución urbana de mercancías**

Las actividades desarrolladas en la distribución urbana de mercancías son típicas de la logística y requieren al menos de un actor, que hace uso de mínimo un recurso. Las actividades que se deben llevar a cabo en un proceso de distribución depende de cada situación particular, y pueden ser las siguientes: ordenar, recibir, descargar, almacenar, cargar, verificar, transportar mercancía, y consolidación entre actores.

**3.3.4 Modelos de optimización.** Los modelos de optimización sirven como herramienta para la toma de decisiones que maximizan o minimizan una función objetivo a partir de un método o técnica de optimización, sometidas a un conjunto de variables y restricciones. Su aplicación abarca la micro/macro economía, finanzas, marketing, economía de la energía, asignación de tareas, organización de la planificación de operaciones, ingeniería química, etc. Para comprender adecuadamente estos modelos es necesario tratar 3 conceptos con los cuales están estrechamente relacionados: investigación de operaciones, modelos y optimización matemática<sup>14</sup>.

**3.3.4.1 Modelo matemático.** Es una representación matemática que da una realidad compleja expresada de forma sencilla, se usa como herramienta para la toma de decisiones, cuyos resultados sean útiles y tangibles. Basado en un problema específico organiza, estructura y analiza datos que den una solución con el uso o desarrollo de algoritmos.

Taha<sup>15</sup> señala los siguientes 5 pasos para el desarrollo de un modelo:

- Identificación del problema
- Construcción del modelo

---

<sup>14</sup> ULLOA MURCIA Joan Manuel. Proyecto de Grado. Estado del arte de los modelos de optimización en la logística urbana de mercancías. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2015

<sup>15</sup>TAHA, Hamady. Investigación de Operaciones. 7ed. México: Pearson Education. 2004. p 8,9

- Solución
- Verificación, validación y refinamiento del modelo
- Implantación

**3.3.5 Optimización combinatoria.** Es una disciplina relevante de la investigación de operaciones, su objetivo es seleccionar la mejor alternativa de solución a un problema. En las últimas décadas se han presentado mejoras que permitan desarrollar diferentes tipos de problemas de optimización en segundos que habrían tardado decenas de años en ser resueltos.

Hay 3 componentes claves que se deben definir en un problema de optimización:

- Función objetivo: Es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar.
- Variable: Decisiones que se pueden tomar que afectan el valor de la función objetivo. Estas pueden ser continuas (no tiene tamaño unitario mínimo) o discontinua (tiene tamaño unitario mínimo).
- Restricciones: Son ecuaciones que establecen relaciones que ciertas variables están obligadas a satisfacer.

**Ilustración 8. Clasificación de las principales técnicas de optimización**



*Fuente: (LOZANO DIAZ & CADENA GONZALEZ, 2012)*

Las heurísticas son técnicas de indagación y descubrimiento mediante métodos no rigurosos que buscan “buenas” soluciones a los modelos de optimización combinatoria. Se pueden clasificar en heurísticas de construcción y de búsqueda local.

Las metaheurísticas son métodos apropiados diseñados para resolver problemas de optimización combinatoria, que proporcionan soluciones casi óptimas. Son procedimientos interactivos que guían una heurística dentro de un espacio de soluciones, combinando diferentes conceptos de la inteligencia artificial o la evolución biológica<sup>16</sup>.

A continuación se definen algunas de las generalidades de las técnicas anteriormente descritas.

- I. **Métodos Exactos:** los métodos exactos son técnicas de búsqueda refinada; esto es, dividen el espacio de búsqueda en pequeños problemas más sencillos, que al solucionarlos, llevan a la solución final. Para problemas complejos como el ruteo de vehículos, enumerar y resolver todos los sub-problemas, resulta ineficiente o simplemente imposible. Generalmente se requiere alta memoria computacional que no poseen la mayoría de sistemas informáticos.
- II. **Métodos Heurísticos:** En los problemas de carácter combinatorio, las soluciones que cumplen con las restricciones del modelo, se llaman *soluciones factibles del modelo*.

En el espacio de soluciones factibles, pueden existir uno o varios óptimos locales, que son definidos por el concepto de vecindario respuestas vecinas de una solución. El óptimo local es aquella solución que es mejor en el vecindario de búsqueda. El conjunto de soluciones factibles puede variar por medio de una operación llamada movimiento, que depende de la

---

<sup>16</sup>LOZADA DIAZ Adriana. Solución del problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) mediante métodos heurísticos. Universidad Industrial de Santander. 2012. [En línea] disponible en <<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/5501/2/144179.pdf>>

naturaleza del problema y de la técnica a usar para la búsqueda de soluciones.

El óptimo global es aquella solución en el que la función objetivo no se puede mejorar a través de los movimientos del conjunto de soluciones en todo el espacio de búsqueda.

Existen problemas en los que no es indispensable hallar la solución óptima; con una buena solución basta para analizar el comportamiento del modelo que se optimiza. Los métodos heurísticos permiten hallar esas soluciones, que aunque no son óptimos globales, cumplen con las restricciones establecidas para el modelo y mejoran de alguna manera la función objetivo.

Las heurísticas exploran buenas soluciones en un tiempo razonable basados en el sentido común. Estas técnicas son usadas cuando se requiere tomar decisiones en los sistemas complejos o cuando se cuenta con poco tiempo para analizarlos y ponerlos en marcha; en ciertos sistemas logísticos, por ejemplo, es complejo conocer la combinación óptima de los recursos, debido a que se cuenta con poco tiempo o se encuentran múltiples variaciones o fluctuaciones en los procesos.

Las heurísticas permiten agregar condiciones y restricciones que son complicadas de modelar. Además son técnicas más flexibles para representar funciones y restricciones que los métodos exactos; es decir, no todas las formulaciones heurísticas requieren de una especificación matemática detallada del sistema.

### III. **Métodos Metaheurísticas**

Las metaheurísticas son usadas cuando no hay un método exacto de solución, requieren tiempos de cálculo grandes y uso de gran cantidad de recurso computacional.

Para obtener buenas soluciones, se debe establecer el balance adecuado entre dos características del proceso: La intensificación, que es la cantidad de esfuerzo de búsqueda empleado en el actual espacio de soluciones; y

la diversificación, que es la cantidad de esfuerzo computacional usado en la exploración de otras regiones del espacio de soluciones.

El Algoritmo Artificial de Abejas (ABC) pertenece a una clase de algoritmos evolutivos que se inspira en el comportamiento inteligente de las abejas en la búsqueda de fuentes de alimento alrededor de sus colmenas. Artificial Bee Colony (ABC), fue creado por Dervis Karaboga en 2005<sup>17</sup>, que define una colmena artificial formada por una zona de comunicación, o zona de baile, y tres tipos de abejas (obreras, observadoras y exploradoras).

**3.3.6 Complejidad computacional.** Un problema desde el punto de vista computacional está conformado por “un conjunto de datos de entrada, un conjunto de datos de salida y una función que asigna a cada dato del problema, una salida correcta del mismo<sup>18</sup>. Los valores particulares que toman los datos de entrada (parámetros) son definidos como instancias del problema. Este puede ser resuelto mediante la implementación de un algoritmo, que es una secuencia de pasos definidos, que transforman los datos de entrada en datos de salida.

El termino complejidad computacional indica la eficiencia del algoritmo en la solución del problema. Se pueden diferenciar principalmente dos criterios de eficiencia: tiempo y espacio, los cuales son recursos computacionales necesarios para su generación de cálculo. A partir de esta idea, matemáticamente los problemas pueden ser categorizados por el grado de dificultad de acuerdo a la complejidad computacional del algoritmo que permite establecer si resolución. De esta manera los problemas pueden ser clasificados en problemas NP y NP- Hard.

---

<sup>17</sup>KARABOGA, Dervis. An idea base don honey bee swarm for numerical optimization. En: Technical Report-TR006, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department. 2005.

<sup>18</sup>PEREZ, Mario y SANCHO, Fernando. Maquinas moleculares basadas en ADN. En: Universidad de Sevilla. España. 2003. Citado en: <http://goo.gl/TNprv>.

3.3.6.1 **Problemas NP.** Un problema  $p$  es **NP** completo si  $p \in \text{NP}$  y todos los problemas de clase **NP** pueden ser reducidos a un problema  $p$  en un tiempo polinomial, esto implica que son problemas dentro de la clase NP difíciles de resolver<sup>19</sup>.

3.3.6.2 **Problemas NP-Hard.** La complejidad computacional hace parte de uno de los siete problemas del milenio, que es determinar si todos los problemas no tratables (Los conocidos NP) eventualmente llegarán a ser tratables (problemas tipo P). Los NP-Hard son problemas similares a los anteriores pero muy difíciles de resolver que requieren en su mayoría tiempo exponencial para ser solucionados.

A nivel práctico se pueden encontrar una gran variedad de problemas NP-Hard, como los problemas de optimización combinatoria para el diseño de rutas. Dada su complejidad las técnicas de optimización exactas no pueden establecer ninguna solución óptima dentro de un intervalo de tiempo, por lo tanto en los últimos años se ha promovido el desarrollo de procedimientos que encuentran buenas soluciones en un tiempo computacional razonable, llamados métodos aproximados, dentro de las cuales se encuentran las heurísticas y metaheurísticas.

**3.3.7 El problema de ruteo de vehículos.** En los últimos años, se ha incrementado el desarrollo y uso de software de optimización basado en diversos modelos matemáticos, para un manejo más eficiente de la provisión de bienes y servicios en los procesos logísticos de distribución.

---

<sup>19</sup> HAMALAINEN, Wihemiina. Class NP, NP-complete, and NP-hard problems. [En línea]. (2006). Disponible en <<http://cs.joensuu.fi/pages/whamalai/daa/npsession.pdf>>

La distribución de bienes y servicios entre depósitos o centros de distribución, a usuarios o clientes finales, es la actividad que se modela en los **Problemas de Ruteo de Vehículos o VRP** por sus siglas en inglés *Vehicle Routing Problems*.

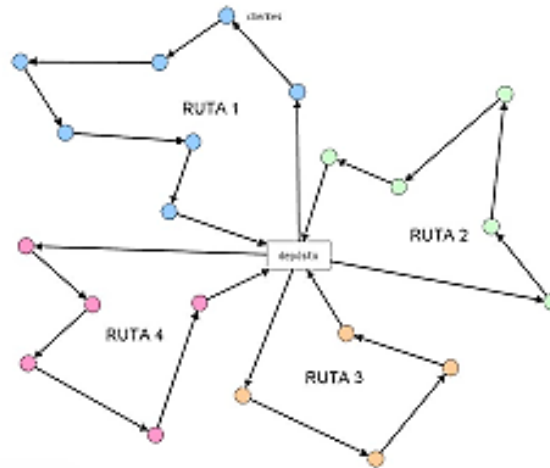
Las actividades de distribución en instancias reales, son tan variadas como el problema mismo: transporte escolar, servicio de entrega de correspondencia, recolección de basura, transporte de ambulancias, de unidades de mantenimiento, entre otras. El VRP pertenece a la clase de problemas **NP-Hard** y se usan técnicas de optimización combinatoria para solucionarlos.

**3.3.7.1 VRP para la distribución urbana de mercancías.** La distribución de bienes a través del ruteo, es el servicio prestado por una flota de vehículos que parten de uno o más depósitos, a unos clientes finales distribuidos en una zona geográfica. Para desplazarse hacia los clientes a través de esa zona, los vehículos usan una red de rutas que tienen asociadas variables de costo: costo de transporte, tiempos de recorrido, etc.

Establecer cuales rutas debe seguir los vehículos para cumplir con los requerimientos del cliente, determina una solución al problema. La solución minimiza los recursos y costos que se deben invertir en el despliegue de la operación logística. Las rutas deben satisfacer gran cantidad de restricciones operacionales que dependen de los bienes que se transportan, el nivel de servicio que se ofrece o las características propias de los clientes y a la flota.

La red de rutas en las que se desplazan los vehículos, generalmente se representan a través de un grafo, los arcos del grafo representan caminos o secciones de la ruta, y los nodos o vértices representan los clientes. Cada arco o camino, debe ser recorrido por un solo vehículo. La Ilustración 9 re presenta un problema típico de Ruteo de Vehículos.

### Ilustración 9. Representación gráfica de un problema de ruteo de vehículos



*Fuente:* (Calvillo, 2010)

Los clientes tienen asociada una demanda de bienes, que debe ser satisfecha por la flota de vehículos, ya sea a través de actividades de entrega de productos o de picking. Algunas veces, las demandas de los clientes no son un bien, sino un servicio, en este caso el cliente solo es visitado una vez por el vehículo.

La flota de vehículo varía según las restricciones de problema. Algunos, parten de un centro de distribución, y terminan su recorrido en otro depósito; los vehículos pueden ser homogéneos o iguales, o pueden tener capacidades y requerimientos de carga distintos, basados en la configuración de productos que puedan transportar, volúmenes, o compartimientos.

Para calcular el costo total de la operación y el cumplimiento de las distintas restricciones operacionales del modelo, se requiere conocer la distancia y el tiempo de viaje entre nodos, y de cada uno de los nodos hacia el depósito.

Cuando se halla una solución final, solo una pequeña parte de la red de rutas original queda activa e indica cual es la mejor distribución de ellas. Las soluciones del problema son factibles si se cumple el principio de desigualdad triangular, es decir, que el costo de transporte o el tiempo de viaje de dos clientes adyacentes, debe ser menor que el tiempo de viaje recorrido si se incluyera un cliente intermedio en la ruta parcialmente formada.

Muchas funciones de costo pueden ser definidas como criterio de decisión en un problema. El criterio puede consistir en minimizar el costo total de transporte, que depende del tiempo de recorrido total, o de la distancia global recorrida; o buscar minimizar el uso de vehículos de la flota, o la carga de cada uno de los vehículos, o minimizar las penalizaciones que los clientes imponen por no cumplir el servicio con los requisitos establecidos, o finalmente la función puede estar definida por un promedio ponderado de todas las anteriores características. Las características de cada problema determinan la naturaleza de la función que se minimiza y de las restricciones.

**3.3.7.2 Variantes del Problema de distribución/Ruteo.** El problema básico de ruteo y el más estudiado es el Problema del Agente Viajero TSP por sus siglas en inglés *Traveling Salesman Problem*, donde se busca la mejor configuración para visitar un conjunto de ciudades pasando sólo una vez por cada una y llegando a la misma ciudad de la que se partió, la configuración (ruta o tour) que halla el problema debe ser la de menor distancia.

Si existe más de un vendedor, sería un problema de múltiples agentes, **m-TSP**, y al mismo problema se le agregan restricciones de capacidad de tendrá un problema **VRP**.

Molina Gómez<sup>20</sup> presenta una descripción detallada de algunas variantes del problema VRP. Cuando la suma de las demandas de todos los clientes excede la capacidad del vehículo, aparece la variante del **CVRP (Capacited Vehicle Routing Problem)** con restricciones de capacidad. El CVRP consiste en el diseño de un conjunto de rutas de menor coste de tal manera que cada cliente ha de ser

---

<sup>20</sup>MOLINA GÓMEZ, José Carlos. Problemas de optimización de rutas de vehículos con aspectos medioambientales. Universidad de Sevilla. 2013. [En línea] Disponible en <[http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70512/fichero/Jose\\_Carlos\\_Molina\\_Gomez.-Trabajo+Final+de+Master.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70512/fichero/Jose_Carlos_Molina_Gomez.-Trabajo+Final+de+Master.pdf)>

visitado una única vez por un único vehículo y todas las rutas de los vehículos han de comenzar y finalizar en el almacén.

El problema con múltiples depósitos es una generalización del problema CVRP y se caracteriza porque cuenta con varios depósitos o almacenes para servir a los clientes se tiene un problema con múltiples depósitos **MDVRP (Multiple Depot VRP)**. Las rutas asignadas a cada vehículo comienzan y finalizan en el mismo almacén.

El problema de enrutamiento de vehículos con entregas y recogidas **VRPPD, VRP with Pickup and Deliveries**, aparte del servicio de entrega, considera a un segundo grupo de clientes que requieren de un servicio de devolución o de recogida. Las mercancías a entregar y recoger pueden estar formadas por el mismo tipo de artículo o diferir. En cualquier caso, las entregas y recogidas se pueden realizar en cualquier orden.

El problema VRP con entregas divididas **SDVRP, Split Delivery VRP** es una variante en la que se permite que el mismo cliente pueda ser atendido por diferentes vehículos si esto ayuda a reducir los costes de operación. Se produce cuando los tamaños de los pedidos de los clientes son tan grandes como la capacidad del vehículo.

El problema VRP clásico, el periodo de planificación es únicamente un día. En el caso del VRP periódico **PVRP, Periodic VRP** el periodo de planificación se extiende a varios días. Para esta variante se deben considerar las restricciones del CVRP y que no es necesario que el vehículo vuelva al depósito el mismo día que salió, pero debe volver en un periodo de tiempo definido.

El problema de enrutamiento de vehículos estocástico **SVRP, Stochastic VRP** supone que uno o varios componentes del problema son aleatorios. Hay tres tipos diferentes de problemas SVRP:

- Los clientes disponen de una probabilidad de presencia o ausencia

- La demanda de los clientes es una variable aleatoria
- El tiempo de servicio de los clientes y el tiempo de viaje son variables aleatorias

Finalmente encontramos el problema en el que está enfocado este proyecto, el problema con ventanas de tiempo **VRPTW**, **VRP with Time Windows** que es la variante que ha recibido la mayor atención en la literatura por la importancia práctica de las ventanas de tiempo o “Time Windows”. Las ventanas de tiempo se producen cuando los clientes requieren que el servicio de entrega o de recogida se produzca dentro de una franja horaria especificada, la cual viene determinada por una hora temprana y otra tardía de servicio.

**3.3.8 VRP with Time Windows.** El VRPTW es un problema de decisión que consiste en diseñar un conjunto posible de rutas para una flota de vehículos de igual capacidad, que salen y llegan a un depósito, de modo que visiten todos los destinos una sola vez con el costo mínimo, satisfaciendo restricciones horarias y de capacidad.

Una ruta inicia cuando un vehículo sale del depósito y recorre cierta zona definida por las restricciones del problema y culmina en el momento que su capacidad es totalmente usada, o bien la capacidad restante es insuficiente para servir a otro cliente. Cada ruta está asociada al recorrido de un solo vehículo. El servicio que se presta en un cliente, se supone en actividades de entrega de pedidos según demanda o en *picking* según capacidad de la flota.

Los clientes están dispersos en un área geográfica y cada uno tiene asociado un intervalo de tiempo, o Ventana de Tiempo, en el que permiten el servicio de recogida o despacho. Las ventanas de tiempo definidas para cada cliente, originan una espera si el vehículo llega antes del límite inferior de la ventana de tiempo de este cliente, e impiden el inicio del servicio si se supera su límite superior.

Las ventanas de tiempo del problema pueden ser flexible so suaves, o no flexibles o duras. Para el problema de ruteo con ventanas de tiempo suaves, se permite violar la restricción de inicio de servicio dentro de las ventanas de los clientes, sin embargo, este hecho implica una penalización económica por incumplimiento que afecta negativamente la función de costo. Por otro lado, las ventanas de tiempo duras no admiten el inicio del servicio después del tiempo más lejano en el que algún cliente puede ser atendido.

Las matrices de costos asociadas a las rutas y los tiempos de viaje, generalmente coinciden. Las matrices de costos simétricas son aquellas en las que el costos de ir de un cliente  $i$  a un cliente  $j$ , y volver por la misma ruta o grafo, es el mismo, es decir, son aristas no dirigidas, las matrices asimétricas, asignan costos distintos a la misma ruta.

La función de costo varía según el alcance del modelo que se proponga; ya sea que optimice el tiempo de viaje total, la cantidad de vehículos usados de la flota (para el caso VRPTW con flota heterogénea), la suma de los costos de transporte o de una ponderación de todas.

**3.3.9 Métodos de solución del VRPTW.** El problema de ruteo con ventanas de tiempo, ha sido objeto de estudios exhaustivos en los últimos años debido a que las variables de tiempo, geográficas y de capacidad, modelan de manera cercana la realidad del proceso de distribución física, lo que lo convierte en un problema de carácter complejo en el conjunto de modelos de ruteo.

Entre las herramientas estudiadas para la solución del VRPTW, se encuentran métodos exactos y métodos aproximados con heurísticas y metaheurísticas.

Para problemas complejos como el ruteo de vehículos, el usar métodos exactos para enumerar y resolver todos los problemas, resulta ineficiente o simplemente imposible. Generalmente se requiere alta memoria computacional que no posee la

mayoría de sistemas informáticos; por lo tanto para el desarrollo del proyecto no se considera necesario describir los métodos de solución exactos para un problema VRPTW.

**3.3.9.1 Métodos heurísticos para el VRPTW.** Distintas familias de heurísticas se han propuesto para la solución del problema VRPTW. El objetivo de ellas, es brindar una solución factible en un tiempo computacional razonable.

Solomon (1986)<sup>21</sup>, desarrolló una serie de heurísticas llamadas “Heurísticas de construcción de rutas”, donde se construyen nodos y arcos, según un criterio de minimización del costo, hasta que una solución factible haya sido creada. Allí, los clientes se programan en un “tour gigante”, y luego, se dividen en rutas más pequeñas.

Solomon describe varias heurísticas de este tipo para la solución del problema con ventanas de tiempo. Una de ellas es basada en el Algoritmo de ahorros de Clarke and Wright (1964). La heurística fue originalmente desarrollada para el problema clásico de ruteo de vehículos. Inicia con una solución en la cual cada cliente es atendido individualmente en una ruta separada. Combinando dos rutas de clientes se obtendrá un ahorro del costo, hasta que se llegue a una combinación de rutas factible a través de un proceso iterativo.

Otra de las heurísticas desarrolladas por Solomon (1987)<sup>22</sup> para el problema VRPTW es la orientada a buscar “el vecino más próximo”. Se inicia cada ruta buscando un cliente que no haya sido considerado en alguna ruta y que se encuentre cerca el depósito principal. En cada iteración subsecuente, la heurística busca al cliente más cercano al último cliente añadido a la ruta, y lo adiciona al

---

<sup>21</sup> SOLOMON Marius M. Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Windows Constraints. *Operations Research*, Vol. 35, No. 2 (1987), pp. 254-265. INFORMS

<sup>22</sup> CLARKE, G. y J.W. Wright (1964). “Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points”. *Operations Research* 12, 568-561.

final de la ruta recién construida. Una nueva ruta se inicia cada vez que el proceso de búsqueda falla al encontrar un lugar de inserción factible para algún cliente.

Dullaert (2000)<sup>23</sup> argumenta que el criterio de inserción de Solomon (1987) con su heurística I1, subestima el tiempo adicional requerido para insertar un nuevo cliente entre el depósito y el primer cliente agregado en la ruta construida. Según el autor, esto podría causar la selección de criterios de inserción sub-óptimas para los clientes que aún no han sido agregados a las rutas. Por esta razón el autor introduce nuevas restricciones de tiempo para resolver el problema y concluye que el nuevo criterio de inserción, ofrece un ahorro significativo de costos de más del 50%. Sin embargo, el ahorro de costos decrece en la medida que el número de clientes por ruta se incrementa.

Potvin y Rousseau (1993)<sup>24</sup>, introducen una versión paralela a la heurística de inserción I1 de Solomon, donde todo el grupo de rutas se inician al mismo tiempo.

Foisy y Potvin (1993)<sup>25</sup> implementaron la misma versión de Potvin and Rousseau (1993), pero usando hardware paralelos para computar la misma instancia. Este paralelismo se despliega en el cálculo del costo al momento de insertar un cliente en la ruta. Los autores concluyen que la reducción total en el tiempo de cómputo es lineal al número de procesadores.

Ioannou (2001)<sup>26</sup> usa el desarrollo de inserción secuencial de Solomon para resolver instancias relacionadas con la industria de alimentos. La propuesta está basada en un nuevo criterio de selección de clientes donde se supone que la inserción de un cliente nuevo debería reducir el impacto de inclusión de clientes en

---

<sup>23</sup> DULLAERT, W. 2000. "Impact of relative route length on the choice of time insertion criteria for insertion heuristics for the vehicle routing problema with time Windows". B. Maurizio, ed. Proc. Rome Jubilee 2000.

<sup>24</sup> POTVIN, J.-Y., J.-M. Rousseau. 1993. "A parallel route bulding algorithm for the vehicle routing and scheduling problema with time Windows". Eur.J.Oper.Res. 66. 331-340

<sup>25</sup> FOISY, C., J.-Y. Potvin. 1993. "Implementing an insertion heuristic for vehicle routing on parallel hardware". Comput.Oper.Res. 20 737-745.

<sup>26</sup> IOANNOU,C., J.-Y. Potvin. 1993. "Implementing an insertion heuristic for vehicle routing on parallel hardware". Comput.Oper.Res. 20 737-745.

rutas ya construidas, en clientes no seleccionados en las ventanas de tiempo correspondientes.

Balakrishnan (1993)<sup>27</sup> estudia tres heurísticas para el VRPTW. Se basan en los conceptos de “vecinos más cercanos” y “ahorro de rutas” de Clark-Wright, pero difiere solo por la manera en que selecciona el primer cliente en una ruta y en el criterio usado para agregar clientes subsecuentes en la misma ruta.

Bramel y Simchi-Levi (1996)<sup>28</sup> proponen una heurística de naturaleza asintótica, basada en la idea de resolver el problema de ventanas de tiempo con capacidad. El objetivo es seleccionar un subgrupo de posibles locaciones para ubicar un vehículo a cada sitio y asignar clientes a cada vehículo en la medida que se vayan localizando. El autor usa una técnica basada en “Relajación Lagrangeana” para asignar clientes. El autor concluye que esta heurística provee una mejor solución para 25 de los 26 problemas resueltos a través de las heurísticas de Solomon, usando un tiempo de cómputo razonable.

Por otro lado, existen las heurísticas de búsqueda local basadas en el concepto de mejoramiento iterativo, explorando soluciones vecinas.

Russell (1977)<sup>29</sup> desarrolló las primeras investigaciones usando Heurísticas de búsqueda local, resolviendo una instancia de 163 clientes en menos de 90 segundos, usando un equipo IBM 370/168.

Se han implementado herramientas eficientes para incrementar la velocidad de búsqueda de soluciones no factibles y evaluación de distintas funciones objetivo, reportados por Savleserg (1986)<sup>30</sup>, Desrosiers y Solomon (1988) y Baker and

---

<sup>27</sup> BALAKRISHNAN, N. 1993. “Simple heuristics for the vehicle routing problema with soft time Windows”. J.Oper.Res.Soc. 44 279-287.

<sup>28</sup> BRAMEL, J., D. Simchi-Levi. 1996. “Probabilistic analyses and practical algorithms for the vehicle routing problema with time Windows”. Oper. Res. 44 501-509

<sup>29</sup> RUSSELL, R.A. 1995. “Hybrid heuristics for the vehicle routing problema with time Windows. Transportation” Sci.29 156-166.

<sup>30</sup> SAVELSBERGH, M. W. P. 1986. “Local search in routing problems with time windows”. Ann.Oper.Res. 4 285-305.

Schaffer (1988). La herramienta usada involucra técnicas de reproceso, mecanismos de actualización de soluciones y estrategias de búsqueda lexicográficas.

Baker y Schaffer (1986)<sup>31</sup> reportan un procedimiento de mejoramiento de rutas, en el cual se usan heurísticas para generar soluciones iniciales, y luego otras para evaluar la función objetivo teniendo en cuenta variables como la distancia, el incremento en el tiempo de llegada y el tiempo de espera.

Van Landeghem (1988)<sup>32</sup> presenta una heurística bi-criterio basada en a heurística de ahorros de Clarke and Wright (1964). El autor propone combinar la heurística de ahorros en términos del tiempo de transporte con “perdida de flexibilidad”. Esta flexibilidad es definida como la diferencia entre la amplitud de la ventana de tiempo del cliente y la amplitud de la ventana de tiempo de la ruta después de combinarlas.

Koskosidis (1992)<sup>33</sup> reporta una variante del problema VRPTW con ventanas de tiempo flexibles. El problema es descompuesto en dos problemas más pequeños: Un problema donde se agrupan los clientes según la capacidad disponible y una serie de problemas de agente viajero con ventanas de tiempo. El objetivo es buscar clientes semilla con menores costos de agrupación y hacer cambios locales entre todos los pares de clientes pertenecientes a cada grupo.

Potvin Rousseau (1995)<sup>34</sup> comparan diferentes criterios de cambios en las rutas. La idea básica es combinar dos rutas, de tal manera que el último cliente de una ruta dada e introducido después de los primeros clientes de otra ruta, con el fin de preservar la orientación de las rutas que se van formando.

---

<sup>31</sup> BAKER, E.K., J. R. Schaffer. 1986. “Solution improvement heuristics for the vehicle routing and scheduling problema with time window constraints”. *Amer.J.Math.Management Sci.* 6 261-300.

<sup>32</sup> VAN LANDEGHEM, H. R. G. 1988. “A bi-criteria heuristic for the vehicle routing problema with time Windows”. *Eur.J.Oper.Res.* 36 217-226.

<sup>33</sup> KOSKOSIDIS, Y. A., W. B. Powell, M. M. Solomon. 1992. “An optimization-based heuristic for vehicle routing and scheduling with soft time window constraints”. *Transportation. Sci.* 26 69-85.

<sup>34</sup> POTVIN, J.-Y., J.-M. Rousseau. 1995. “An Exchange heuristic for routeing problems with time Windows”. *J.Oper.Res.Soc* 46 1433-1446.

Glover (1991 y 1992) basa su estudio de heurísticas de búsqueda local en el concepto de generación de secuencias de movimientos compuestos, saltando de una solución a otra; los pasos que generan cambios en los clientes seleccionados, hacen que otros clientes sean “expulsados” de su actual posición. El objetivo es “hacer espacio” para que un cliente sea removido de una ruta, removiendo otro cliente de la misma ruta, hasta que la función objetivo establecida mejore.

Thompson y Psaraftis (1993)<sup>35</sup> proponen un método basado en el concepto de transferencias cíclicas de demandas de una ruta a otra.

Antes y Derigs (1995)<sup>36</sup> proponen una heurística paralela donde se construyen y mejoran varias rutas simultáneamente. Esta aproximación paralela se basa en el concepto de “Negociación” entre clientes. Primero, cada cliente no asignado a alguna ruta, pide un requerimiento de costos a cada tour y envían una propuesta de un tour que haya ofrecido el menor costo. Luego, cada tour selecciona la propuesta más eficiente o más conveniente.

Russell (1995)<sup>37</sup> desarrolla un procedimiento simultáneo a la construcción de rutas, basado en procedimientos de mejora de rutas globales. En el algoritmo, un punto semilla representa un cliente ficticio, que es seleccionado usando una ruta en la cual un vehículo “crea” un sector y decide la distancia de los puntos semilla y de las bodegas en cada sector creado.

Hamacher y Moll<sup>38</sup>, describen una heurística aplicada a un caso real del problema VRPTW, en el contexto de distribución de víveres a restaurantes. El algoritmo consta de dos partes; en la primera parte, los clientes son divididos en regiones

---

<sup>35</sup> THOMPSON, P. M., H. N. Psaraftis. 1993. “Cyclic transfer algorithm for multivehicle routing and scheduling problems”. *Oper.Res.* 41 935-946.

<sup>36</sup> ANTES, J., U. Derigs. 1995. “A new parallel tour construction algorithm for the vehicle routing problema with time Windows” working paper, Departament of Economics and Computer Science, University of Köln, Germany.

<sup>37</sup> RUSSELL, R. A. 1995. “Hybrid heuristics for the vehicle routing problema with time Windows”. *Transportation Sci.* 29 156-166.

<sup>38</sup> HAMACHER, A., C. Moll. 1996. “A new heuristic for vehicle routing with narrow time Windows”. U. Derigs, W. Gaul, R. H. Mohring, K.-P. Schuster, eds. *Oper.ResProc.*1996. 301-306.

usando el criterio del Mínimo Árbol de Expansión (MST por sus siglas en ingles); en la segunda parte, los clientes que cumplan con este criterio, son insertados a las rutas con un sencillo algoritmo de mejoramiento local, que corta las rutas en piezas pequeñas y las inserta en una ubicación factible dentro de la misma ruta.

Shaw (1997)<sup>39</sup> describe un procedimiento de búsqueda en la vecindad basado en reprogramación de clientes visitados usando técnicas de programación de restricciones. Los clientes seleccionados son removidos de las rutas programadas y luego son reinsertados en la ruta del costo óptimo. Este problema solo puede ser resuelto cuando los clientes están ubicados uno de otros, en un área geográfica pequeña.

Caseau y Laburthe (1999)<sup>40</sup> describe una heurística específicamente diseñada para grandes problemas de ruteo parecida a la usada por Shaw (1997) en su modelo de construcción de rutas basado en el criterio MST.

Cordone y Wolfe- Calvo (2001)<sup>41</sup> proponen una heurística determinística, basada en el clásico procedimiento de intercambio de rutas combinado con procedimientos de reducción de rutas. La característica especial del algoritmo es que alterna la minimización total de la distancia, con la duración total de la ruta, para escapar de soluciones que están en los mínimos locales. Este algoritmo construye una serie de soluciones iniciales usando el criterio de inserción de Solomon.

Recientemente se han implementado otras herramientas heurísticas para la solución de problema VRPTW en la construcción de rutas que usan

---

<sup>39</sup> SHAW, P. 1998. "Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems". CP98, Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, New York, 417-431.

<sup>40</sup> CASEAU, Y., F. Laburthe. 1999. "Heuristics for large constrained vehicle routing problems". J.Heuristics 5 281-303.

<sup>41</sup> CORDENE, R., R. Wolfier-Calvo. 2001. "A heuristic for the vehicle routing problem with time Windows". Journal of Heuristics 7 107-129.

procedimientos multi-nivel, como la desarrollada por Brâysy (2001)<sup>42</sup>, en la que varias soluciones iniciales son creadas con heurísticas de construcción, haciendo combinaciones de parámetros diferentes. Algunos parámetros usados son entre otros: Reordenamiento de rutas, intercambio de clientes y expulsión de clientes a otras rutas.

**3.3.9.2 Métodos metaheurísticos para el VRPTW.** Existen herramientas metaheurísticas para la solución del problema VRPTW. Algunas de ellas son: Recocido simulado, Búsqueda Tabú, y Algoritmos Evolutivos tales como el Algoritmo Genético y Algoritmo de Hormigas. Todos los métodos exploran un gran espacio de soluciones con el fin de encontrar una solución factible posiblemente cercana al óptimo.

Algunas investigaciones recientes del VRPTW usando Metaheurísticas son:

Búsqueda Tabú de Taillard<sup>43</sup>. El autor describe una metaheurística que toma el problema VRPTW penalizando fuertemente cualquier demora en la distribución. La metaheurística usa el concepto de descomposición y reconstrucción propuesto para el VRP.

La memoria adaptativa, según Taillard, es el conjunto de rutas tomadas de buenas soluciones visitadas durante la búsqueda. Esta memoria se llena parcialmente con rutas producidas por inserción aleatoria basada en las heurísticas de Salomón (1987). Cada iteración de esta metaheurística, constituye una ruta, y a través de un proceso aleatorio, se van mejorando las rutas hasta que nuevas soluciones factibles sean encontradas en el espacio de soluciones disponibles.

---

<sup>42</sup> BRÂYSY, O. 2001. "Local search and variable neighborhood search algorithms for the vehicle routing problema with time Windows". Doctoral dissertation, University of Vaasa, Finland.

<sup>43</sup> TAILLARD, E.D. "Parallel iterative search methods for vehicle routing problems". Networks, 23:661-673,1993. PP 5.

Keivan Ghoseiria y Ghannadpoura<sup>44</sup>, presentan un nuevo modelo para un problema VRPTW multiobjetivo, usando programación de objetivos y algoritmo genético, en el cual el investigador mismo especifica el nivel de optimización que se quiere alcanzar y el nivel de cumplimiento de los objetivos del modelo.

Balseiro, Loiseau y J.Ramonet<sup>45</sup>, desarrollaron un algoritmo de Colonia de Hormigas para el problema VRPTW basado en el comportamiento de agentes viajeros y la coordinación entre ellos.

Zhenggang y Linning<sup>46</sup> (2004), proponen un procedimiento mejorado de optimización por Colonia de Hormigas para resolver el problema VRPTW, en el cual el periodo de planeación es extendido para que cada cliente pueda ser servido en una ventana de tiempo definida. Una matriz multidimensión es usada para acumular la información de distintas corridas de las heurísticas. Dos operaciones de cruces se introducen para mejorar la calidad del algoritmo.

Deng y Mao<sup>47</sup>, presentan un modelo matemático, en el que se consideran variables de tiempo y costos fijos del vehículo. La metaheurística Recocido Simulado es usada para encontrar soluciones.

G.B. Alvarengaa, G.R. Mateusb, G<sup>48</sup>, proponen un Algoritmo Genético robusto para la solución de VRPTW usando la longitud de los recorridos como principal

---

<sup>44</sup> GHOSEIRIA, Keivan. Seyed Farid Ghannadpoura. "Multi-objetive vehicle routing problem with time Windows using goal programming and genetic algorithm". School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, 16846-13114, Iran. PP 5.

<sup>45</sup> BALSEIRO I.Loiseau, J.Ramonet. "An Ant Colony algorithm hybridized with insertion heuristics for the Time Dependent Vehicle Routing Problem with Time Windows" S.R., Graduate School of Business, Columbia University, USA Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

<sup>46</sup> ZHENGGANG Y Linning. "Improved Multi-Agent System for the Vehicle Routing Problem with time windows". Hunan University, Changsha 410082, China

<sup>47</sup> MAO Chao, ZHOU Yan-ting. Optimizing Research of an Improved Simulated Annealing Algorithm to Soft Time Windows Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivery DENG Ai-min, Hunan University, Changsha 410082, China.

función objetivo. El problema lo resuelven a través de una formulación de partición de rutas. Se corrieron pruebas usando datos de casos reales y resultados previos publicados con heurísticas y métodos exactos. Este estudio muestra mejoras en el rendimiento computacional en términos de mínima distancia respecto a otras investigaciones hechas previamente.

Bouthilliera y Crainic<sup>49</sup> desarrollan un método de búsqueda paralela para el VRPTW basado en una estrategia en la que se intercambian información de las distintas corridas hechas sobre las mejores soluciones identificadas.

Müller<sup>50</sup>, formula el modelo como un problema de minimización bi-criterio usando el concepto de optimización de Pareto. El experimento muestra que la asignación de sanciones, da un ahorro significativo de los costos totales.

Robert A. Russell y Wen-Chyuan Chiang<sup>51</sup>, estudian una metaheurística reactiva basada en la búsqueda Tabú para mejorar la solución del problema VRPTW, comparando la calidad de los resultados de investigaciones similares.

En general, el comportamiento de las soluciones obtenidas con metaheurísticas se considera bueno. En la mayoría de investigaciones consultadas, se usan algoritmos de construcción de rutas para el conjunto de soluciones iniciales. Con métodos híbridos y combinaciones de algoritmos, se ha llegado a la solución óptima de la mayoría de instancias propuestas en la literatura.

---

<sup>48</sup> ALVARENGAA, G.B., G.R. Mateus, G. de Tomic. A genetic and set partitioning two-phase approach for the vehicle routing problem with time Windows. Federal University of Lavras, UFLA, Lavras Brazil.

<sup>49</sup> BOUTHILLIERA, Alexandre Le. Teodor Gabriel Crainic. Departement d'informatique et de recherche operationelle and Centre de recherche sur les transports, Universite de Montreal, C.P. 6128, Succursale Centre-ville, Montreal, QC, Canada H3C 3J7.

<sup>50</sup> MÜLLER Juliane. Approximative solutions to the bicriterion Vehicle Routing Problem with Time Windows., Tampere University of Technology, Department of Mathematics, Korkeakoulunkatu 1, 33720 Tampere, Finland.

<sup>51</sup> RUSSELL, Robert A., Wen-Chyuan Chiang. Scatter search for the vehicle routing problema with time Windows. Finance and Operations Management Department, The University of Tulsa, 600 South College Avenue, Tulsa, OK 74104, USA.

## 4 DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA

### 4.1 METODOLOGÍA DEL DIAGNÓSTICO

El levantamiento del diagnóstico de la empresa se llevó a cabo por medio de las siguientes técnicas:

- a. **Visitas a las instalaciones:** Desde el 1ro de octubre de 2015 la autora ha asistido a la empresa de lunes a viernes 8 horas al día. Estas visitas han permitido conocer a fondo y caracterizar el proceso de servicio de cada una de las operaciones y han contribuido para reconocer situaciones causantes de problemas en la oferta, que empleados y administrativos no habían identificado.
- b. **Entrevista a empleados:** Se formularon preguntas especialmente a la Gerente, al Director de Operaciones, Auxiliares Operativos, Conductores de vehículos y Auxiliares de Ruta, involucrados en la prestación de servicios y desarrollo normal de la operación de estudio para este proyecto. Estas entrevistas se llevaron a cabo durante el mes de noviembre e inicios de diciembre de 2015.
- c. **Trabajo de campo:** Se hizo acompañamiento las rutas rurales y urbanas con la finalidad de conocer detalladamente cada actividad de la operación de estudio. Este proceso de acompañamiento se hizo desde el momento de cargue de productos a los vehículos, hasta el proceso de ajuste de cuentas al finalizar la distribución y se realizó durante el mes de noviembre de 2015.
- d. **Revisión de documentos:** Los auxiliares operativos y el Director de Operaciones de la empresa facilitaron información reservada y documentos como facturas de fletes, ingresos operacionales, costos operacionales, novedades por devoluciones, programación de rutas, con el fin de saber el estado actual del servicio y la operación.

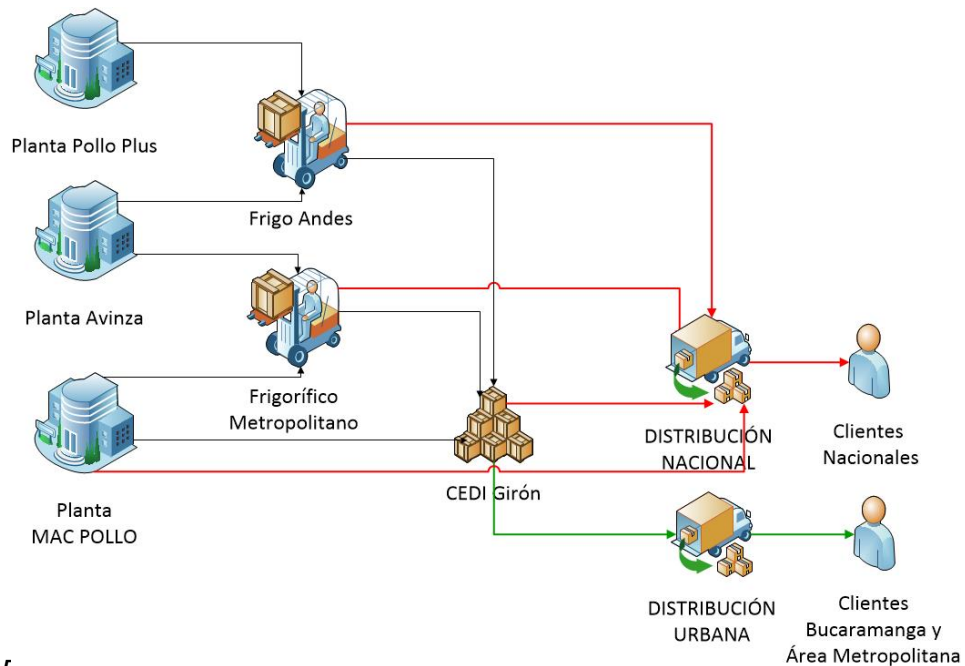
## 4.2 DIAGNÓSTICO DE LA OPERACIÓN DE DISTRIBUCIÓN URBANA

FRIMAC es la empresa encargada de transportar y distribuir el 95% de producto terminado de MAC POLLO nivel nacional. En Bucaramanga, su área metropolitana y pueblos cercanos transportan y distribuye el 100% de los productos demandados. Inicialmente los diferentes productos que ofrece AVIDESA MAC POLLO son procesados y empacados en la PLANTA DE BENEFICIO ubicada en el Km 7 vía Piedecuesta, la cual procesa diariamente alrededor de 142.000 pollos. Adicionalmente las plantas de AVINSA y POLLO PLUS realizan el mismo proceso para AVIDESA produciendo 60.000 y 20.000 pollos al día respectivamente, para tener un total de 222.000 pollos, con un peso de  $\pm 2,6$ kg, que representan una producción aproximada de **577.2 Ton de pollo al día**. Con el fin de continuar con la cadena de frío el producto es transportado al FRIGORÍFICO METROPOLITANO, FRIGO ANDES y el CENTRO DE DISTRIBUCIÓN (CEDI) de AVIDESA MAC POLLO en Palenque Girón, donde son debidamente almacenados según las normas y políticas establecidas. Así mismo en FRIGO ANDES se realiza todo el proceso de producción, almacenamiento y empaque de salsamentaria que posteriormente también es transportada al CEDI de Girón, desde donde es distribuida.

Finalmente el transporte de **producto terminado destinado para la operación de Distribución Urbana** es realizado directamente desde el CEDI en Girón hasta cada uno de los clientes que demandan el producto.

Todo lo descrito anteriormente se aprecia en el esquema de la *Ilustración 10*.

### Ilustración 10. Esquema de distribución de producto terminado para el cliente AVIDESA MAC POLLO



Fuente: Director de Operaciones – FRIMAC S.A

**4.2.1 Localización.** Con la finalidad de tener un mejor manejo de los procesos logísticos de distribución y almacenamiento de producto terminado, Avidesa Mac Pollo decidió instalarse a comienzos del año 2015 en un Centro de Distribución ubicado en Palenque–Girón (Ver *Ilustración 11*), que cuenta con una capacidad de almacenamiento de 930 toneladas y desde el cual FRIMAC S.A realiza todas las actividades necesarias para llevar a cabo la operación de Distribución Urbana.

### Ilustración 11. Fachada CEDI Avidesa MAC POLLO



Fuente: Departamento de seguridad FRIMAC S.A

Este CEDI cuenta con **4 muelles** destinados para el cargue y descargue de producto y es el principal centro de almacenamiento de Avidesa Mac Pollo, donde diariamente llega un aproximado de **100Tn** de producto terminado transportado desde la Planta de Beneficio, Frigo Andes y el Frigorífico Metropolitano. De la capacidad total de almacenamiento del CEDI, **32.63Tonson destinadas diariamente para cumplir con la operación de Distribución Urbana** y abastecer la demanda. De igual manera en el CEDI también se realiza parte de la operación de Despacho Nacional dependiendo de la demanda y la disponibilidad de los productos en almacenamiento.


**4.2.2 Recursos físicos y capacidad instalada.** El parque automotor de FRIMAC S.A cuenta con 21 vehículos tipo **NHR y LUV** para el transporte y distribución urbana, los cuales manejan un contrato tercerizado; es decir, no hacen parte de la flota propia de la compañía y deben cumplir una serie de requisitos para pertenecer a la operación. En el *ANEXO Nse* encuentran los requerimientos de documentación para el vehículo, su propietario y conductor. En relación a las condiciones del desarrollo de la operación, a continuación se mencionan los puntos más relevantes:

- El servicio de transporte se hará conforme a la programación de rutas de FRIMAC S.A de lunes a sábados y debe ser exclusivo en cualquier horario del día para su uso.
- El propietario del vehículo asume la totalidad de los costos y gastos legales, sanitarios, de mantenimiento y de tránsito.
- El propietario del vehículo puede asignar según su interés a la persona encargada de conducir el vehículo siempre y cuando tenga vigente su licencia de conducción.
- El conductor y auxiliar deben cumplir con los horarios y sitios de cargue establecidos.

- En caso de cualquier hurto, robo o reemplazo de productos estos serán cobrados y descontados directamente al propietario del vehículo de las facturas de prestación de servicios.
- El vehículo debe comprometerse a cumplir con todas las normas de seguridad industrial establecidas por la empresa, como limpieza y desinfección de los vehículos antes de cargar, mantenimiento de la unidad de frío, mantenimiento de cortinas y estibas, uso del termoregistro para el transporte de los productos; como exclusividad en la prestación del servicio.
- Las tarifas de los fletes y sus incrementos son establecidos de común acuerdo entre el propietario del vehículo y FRIMAC S.A y su pago será realizado quincenalmente en \$/kg transportado.

En la Tabla 4 Se relacionan las principales características de la flota de vehículos usados para el transporte y distribución de producto terminado:

**Tabla 4. Características de los vehículos usados en la Operación de Distribución Urbana de FRIMAC S.A**

CANT.	TIPO	CARROCERIA	CAPACIDAD (canastas)	CAPACIDAD (toneladas)
19	 NHR	Refrigerado	130	2.5
2	 LUV	Refrigerado	80	1.5

*Fuente: Auxiliar Operativo – Distribución Urbana*

### 4.2.3 Condiciones de servicio

El producto terminado requiere de un especial manejo en todo el proceso de transporte. Factores como una inadecuada exposición de temperatura, el tiempo de almacenamiento, roturas en el empaque durante la manipulación, facilita la acumulación de bacterias y merma del producto. Estas son algunas de las condiciones para el transporte y distribución de producto terminado:

- La temperatura ideal oscila entre  $-2^{\circ}\text{C}$  y  $-5^{\circ}\text{C}$ .
- El tiempo estipulado para el cargue de producto es de 12:00am a 5:00am.
- Los vehículos deben ser lavados y desinfectados antes de iniciar el cargue.
- El conductor del vehículo y el auxiliar deben mantener estrictas normas de higiene y utilizar la dotación adecuada durante el cargue de producto en el CEDI y durante la distribución a los diferentes clientes.
- Los productos deben ser transportados en el menor tiempo posible y no pueden compartir el furgón de refrigerado con productos de otra empresa.
- Se debe monitorear mediante un termoregistro el comportamiento de la temperatura durante el tiempo de transporte.

Adicionalmente, en las oficinas de calidad de la empresa los vehículos deben someterse a un **control semanal de calidad** donde se emite semanalmente un **Aval de Calidad** para la disponibilidad de uso de los vehículos. Mediante un check list se verifica que cada vehículo cumpla con algunos parámetros previamente establecidos para el transporte urbano. Se realiza una inspección de documentos en la cual se verifica que el vehículo y el conductor tengan vigente el SOAT, la licencia de conducción, Carné de manipulación de alimentos, entre otros documentos. También se realiza una inspección física en la cual se verifica que el vehículo tenga en buen estado el furgón, las estibas, las cortinas entre otros requerimientos físicos. En esta inspección también se realizan pruebas de temperatura y filtración. Por último se realiza la inspección mecánica donde se verifica que las luces, llantas, alarma, entre otros elementos del vehículo funcionen adecuadamente.

**4.2.4 Recurso humano.** La composición del personal involucrado en el proceso de la operación desde el momento del cargue de producto hasta su entrega a los clientes, se puede apreciar en la *Tabla 5*.

**Tabla 5. Relación del recurso humano involucrado en la operación de Distribución Urbana**

CANT.	CARGO	HORARIO
2	Auxiliar Operativo	Turnos de 8 horas
21	Conductor	Según la ruta
21	Auxiliar Ruta	Según la ruta

*Fuente: Auxiliar Operativo – Distribución Urbana*

La función de los **auxiliares operativos** es tener la disponibilidad de los vehículos solicitados por Avidesa Mac pollo y asegurarse de que el producto cargado llegue en óptimas condiciones a los clientes. Dentro de las actividades diarias inicialmente tenemos la programación y asignación de rutas a cada uno de los vehículos, seguimiento al cargue de producto, creación de manifiestos de viaje y remesas, seguimiento al cumplimiento de las rutas y novedades, lectura del termoregistro y facturación de fletes.

Los **conductores de los vehículos y los auxiliares de ruta** cumplen la función de realizar el cargue y distribución de producto. Ambos tienen como tarea pesar, organizar y cargar el producto en el vehículo destinado para la ruta establecida. También deben estar atentos al proceso de emisión y organización de facturas o pedidos, indispensable para el posterior cumplimiento de la ruta. Durante el proceso de distribución de los pedidos, el conductor se encarga de empacarlos en bolsas en el interior del furgón refrigerado y luego el auxiliar los entrega a cada cliente y hace su respectivo cobro y al terminar la ruta consignan el dinero recaudado en los puntos autorizados. Al finalizar el proceso de entrega deben descargar devoluciones y canastas seguido del ajuste de cuentas con el personal de despacho y tesorería de Mac Pollo.

En el **numeral 3.5** se tiene una descripción más detallada de cada una de las actividades de la Operación.

**4.2.5 Recursos tecnológicos.** Con la finalidad de llevar un seguimiento y control de la temperatura bajo la cual es transportada los productos, se tiene a disposición el programa ESCORT CONSOLE que permite tomar la lectura del termoregistro ubicado en el interior de la cava de refrigerado del vehículo (ver *ilustración 12*). Para el proceso de creación de los manifiestos de viaje y remesas se cuenta con la ayuda del software de gestión de transporte AS TRANS donde quedan registradas diariamente todas las rutas de distribución.

**Ilustración 12. Termoregistro usado para el control de la temperatura de los vehículos**



*Fuente:* (Frimac S.A, 2008)

### **4.3 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS ACTIVIDADES DE LA OPERACIÓN**

A nivel general la operación cuenta con cinco procesos claves: planeación y programación de las rutas, prelistamiento de los vehículos, picking y cargue de productos, transporte y distribución secundaria de productos y ajuste de cuentas. Cada una de las actividades de los procesos serán descritas a continuación.

**4.3.1 Planeación y programación de las rutas.** En primer lugar es importante aclarar que el personal administrativo y de ventas de Mac Pollo es el encargado de configurar y organizar manualmente el ruteo diario para la repartición de los pedidos, por lo tanto la operación se caracteriza por tener **Rutas Estáticas**.

Con 12 horas de anticipación el auxiliar operativo de FRIMAC se encarga de planear y programar el cargue de cada una de las rutas. Bucaramanga y su área metropolitana cuenta con **19 rutas urbanas** programadas todos los días para hacer entregas y **13 rutas viajeras o rurales** programadas para hacer entregas diariamente o día de por medio dependiendo de la demanda en las diferentes regiones de Santander, para un total de **32 rutas** disponibles para atender la demanda de **3442 Clientesa** mayo de 2016. En el *ANEXO G* se presenta una descripción de cada una de las rutas con datos promedios tomados en el mes de mayo. Se tuvieron en cuenta variables como los km en promedio recorridos/ruta, los Kg en promedio repartidos/ruta, el promedio del número de clientes atendidos/día, el promedio del número de pedidos entregados/día, el tiempo promedio empleado en repartir los pedidos de cada ruta/día, el tiempo promedio empleado en el picking y cargue de los productos/ruta y la frecuencia de salida de cada una. De igual manera se realizó una toma de tiempos ociosos en la operación antes y después del cargue de productos. Los datos fueron suministrados en planillas por los conductores y auxiliares de la operación durante el mes de mayo del año en curso. Todos los datos varían dependiendo de la demanda y las novedades (devoluciones) de las rutas cada día. Es necesario aclarar que en la tabla de registros no se encuentran los datos de las rutas de Ruitoque y Sur 4, debido a que estas rutas tuvieron que ser unidas con otras durante este mes como consecuencia de un siniestro ocurrido en la operación, que ocasionó que dos de los vehículos no prestaran su servicio durante dos meses mayo.

Diariamente son programadas 18 rutas urbanas y 3 rutas viajeras teniendo en cuenta en primer lugar las siguientes **restricciones**:

- Restricción de pico y placa en las zonas urbanas
- Cada vehículo debe realizar por lo menos 1 ruta viajera cada semana

La asignación de las rutas a cada vehículo se hace teniendo en cuenta las siguientes **restricciones**:

- La capacidad de transporte en toneladas de cada vehículo (2.5 o 1.5 toneladas)
- Debe haber una equidad en la asignación de kg a transportar, es decir, a los vehículos que hoy se les asigne rutas con demandas mayores o iguales a 1.5 ton el día de mañana se le debe asignar una ruta con una demanda menor.
- Los vehículos no deben repetir ruta durante el mes con la finalidad de que la operación se desarrolle en las mismas condiciones para todos.

Esta forma de planeación y asignación de las rutas no se cumple en su totalidad, ya que es complicado llevar un seguimiento diario de los kg transportados por cada vehículo y cada ruta, y en base a las asignaciones pasadas buscar una optimización. Esto se ve claramente reflejado en los fletes liquidados con diferencias significativas de más de \$1'500.000 para algunos vehículos, lo cual quiere decir que no todos están transportando la misma cantidad de carga.

**4.3.2 Pre alistamiento de los vehículos.** Consiste en la preparación previa de los vehículos durante el inicio de la operación e incluye dos actividades principales:

- **Verificación del Aval de Calidad:** el primer paso para poder dar inicio al proceso de cargue de los productos es verificar que los vehículos hayan sido lavados y desinfectados, para esto el Auxiliar operativo de turno debe solicitar al conductor del vehículo el tiquete de lavado con fecha del día anterior. Esta actividad tiene una estimación de **5 minutos** como máximo. La auditoría del mantenimiento del termo de refrigerado, cortinas y estibas es

realizado una vez por semana en la Estación de Servicio San Pedro, donde se encuentran instaladas las oficinas y el personal de calidad de la empresa.

- **Enfriamiento de la cava:** es indispensable que **10 minutos** antes de iniciar el cargue de producto la cava este enfriada a una temperatura de 7°C con la finalidad de verificar que el termo esté funcionando en óptimas condiciones y continuar con la cadena de frio de los productos.

**4.3.3 Picking y cargue de productos.** Corresponde al proceso de alistamiento de los pedidos y cargue en los vehículos y está compuesto básicamente de las siguientes actividades:

- **Cargue del producto:** el cargue del producto lo realizan el conductor del vehículo y el auxiliar de ruta con ayuda de uno de los auxiliares de bodega de MAC POLLO. El producto es organizado al interior de la cava en canastas de acuerdo a los pedidos realizados, teniendo en cuenta el enrutamiento de visitas a los clientes programados por el vendedor y las políticas de distribución que nos dicen que los primeros productos en cargar serán los últimos a entregar. El auxiliar de bodega se encarga de alistar los pedidos en el cuarto de refrigerado y congelado (picking), mientras el conductor del vehículo junto con el auxiliar de ruta se encargan de pesar y verificar que cada uno de los pedidos pertenezca a la ruta asignada y que sea en la cantidad adecuada e ir organizándolos al interior de la cava. Durante este proceso tanto el conductor como el auxiliar de ruta deben acatar todas las normas de higiene y seguridad recomendadas por el Jefe de Bodega del CEDI, por lo tanto MAC POLLO les provisiona la dotación necesaria. El proceso de cargue tiene una duración mínima de **30min y máxima de 60min.**
- **Facturación:** la emisión de facturas para cada uno de los clientes es realizada por un profesional de MAC POLLO. Las facturas se emiten y organizan de acuerdo a la ruta asignada para cada conductor y contienen los

datos básicos del cliente y el pedido como nombre de la ruta, nombre del vendedor, nombre del cliente, dirección, productos pedidos, peso total, precio del pedido, medio de pago (crédito o contado), etc. Este proceso se realiza con el apoyo de SAP y tiene una duración aproximada de **10 minutos** para cada ruta.

- **Emisión de manifiestos de viaje y remesas:** esta actividad es realizada inmediatamente después que se tiene una orden de transporte de Mac Pollo, que es uno de los datos de ingreso necesarios para registrar la orden en el programa AS TRANS. Además es indispensable ingresar datos como la cantidad de kilos a transportar, la placa del vehículo que los va a transportar, la ruta asignada para ese vehículo, entre otros. Esta actividad tiene una duración aproximada de **5 a 10 minutos**.
- **Organización de facturas:** La forma en la que se hace la organización secuencial de los clientes o enrutamiento se hace de manera muy empírica y todavía tiene muchas falencias, por esta razón el conductor del vehículo y el auxiliar deben tomarse entre **15 y 20 minutos** para organizar la orden de entrega de los pedidos teniendo en cuenta la hora de atención de los clientes y la proximidad entre ellos, con el objetivo de recorrer una menor distancia y hacer las entregas en el menor tiempo posible.

**4.3.4 Transporte y distribución secundaria de productos.** Consiste en la distribución del producto que ya se encuentra cargado en los vehículos hasta cada uno de los clientes y se compone de las siguientes actividades:

- **Cumplimiento de la ruta:** consiste en la entrega de los pedidos a los clientes de cada ruta. Con las facturas previamente organizadas el conductor solamente debe realizar las entregas de acuerdo al **PLAN DE VISITAS** que le otorgan los vendedores de MAC POLLO. Diariamente se cuenta con novedades en el momento de la entrega como; errores en la asignación de direcciones a la ruta, errores en la digitación de la dirección del cliente,

retrasos debido a las demoras en la recepción de pedidos, retrasos por puntos de entrega cerrados, entre otros; que ocasionan variaciones en el desarrollo normal de la actividad. En el momento del reparto el conductor se encarga de empacar en bolsas los pedidos para cada cliente y el auxiliar de ruta los entrega y cobra la factura. Tanto el conductor como el auxiliar deben realizar la consignación del dinero recolectado durante la ruta en puntos de recaudos autorizados al final de la entrega. El tiempo de duración de esta actividad depende de cada una de las rutas y del número total de kilos transportados, sin embargo se estima un tiempo mínimo aproximado de **7 horas y máximo de 15 horas**.

- **Descarga de devoluciones:** Durante la actividad de reparto urbano diariamente se presentan devoluciones de producto por razones como errores en la toma del pedido, doble facturación de un mismo cliente, mermas demasiado grandes, incumplimiento en el tiempo de entrega estipulado, demoras extensas por los clientes para la recepción de pedidos, entre otros. Cada vez que se presenta una novedad de este tipo se reporta por vía telefónica al Auxiliar Operativo encargado de llevar este registro. Después de haber terminado la ruta los vehículos se dirigen al CEDI y su primera labor es descargar el producto devuelto por los clientes en uno de los muelles disponibles. Esta actividad tiene una duración aproximada de **10 a 15 minutos** dependiendo de la cantidad de kilos devueltos en la ruta.
- **Descarga de canasta:** Luego de haber descargado las devoluciones se procede a descargar las canastas utilizadas durante la actividad de distribución en la parte trasera del CEDI. El tiempo estimado para esta actividad es de **10 a 15 minutos** aproximadamente.

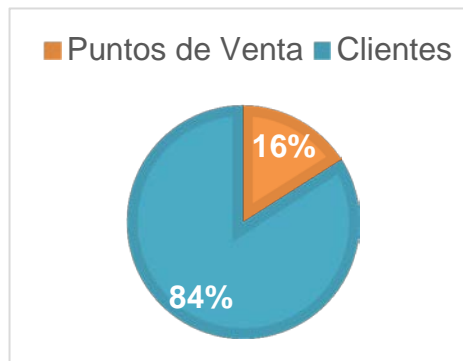
**4.3.5 Ajuste de cuenta.** Corresponde al proceso de ajuste de cuentas con la bodega de almacén y con tesorería y está compuesto por las siguientes actividades:

- **Ajuste de cuentas con almacén:** El auxiliar de ruta se encarga de realizar cruce de cuentas con un Auxiliar de Bodega de AVIDESSA, verificando que el total de kilos cargados coincidan con las entregas y las devoluciones. Esta actividad tiene una duración aproximada de **20 a 60 minutos** y depende directamente de la disponibilidad de tiempo del Auxiliar de Bodega, debido a que muchas veces algunas rutas llegan casi al mismo tiempo ocasionando un cuello de botella.
- **Emisión de Paz y salvo de tesorería:** Al final de la operación el conductor debe dirigirse a un profesional en el área de tesorería de Mac Pollo encargado de verificar que el valor total de los pedidos entregados coincidan con la consignación realizada de la ruta. Esta persona emite el paz y salvo que el conductor debe presentar al Auxiliar Operativo al momento de realizar la segunda ruta en el día.

#### **4.4 INFORMACIÓN CUANTITATIVA DE LA OPERACIÓN**

**4.4.1 Demanda de la operación.** Como ya se había mencionado anteriormente, según cifras tomadas del año 2015 diariamente del CEDI principal de MAC POLLO se despachan aproximadamente **32.63 Toneladas** de producto terminado para abastecer la demanda. Del total de las toneladas transportadas el **16%** son destinadas para la venta directa de productos en los almacenes o puntos de venta de Mac Pollo y el **84%** restante es distribuido entre los clientes. En el ANEXO O está relacionada la demanda de producto terminado de MAC POLLO distribuida mensualmente por FRIMAC en el año 2015, los porcentajes de participación de los kg movidos de las rutas urbanas/viajeras y la participación de kg movidos de los clientes/puntos de venta.

**Ilustración 13. Distribución de la demanda de MAC POLLO en Bucaramanga, su área metropolitana y pueblos cercanos**



*Fuente: Gerente de ventas AVIDESA MAC POLLO*

**4.4.2 Ingresos Operacionales.** FRIMAC recibe un porcentaje de ingresos igual al **6%** del total de fletes facturados en el mes. En el *ANEXO H* se encuentran relacionados los ingresos operacionales obtenidos durante el año 2015.

**4.4.3 Costos de operación.** La relación de costos y gastos directos e indirectos de la Operación durante el año 2015 se muestra en el *ANEXO I*

## 5 FOMULACIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORA

### 5.1 MEJORAS EN LA PLANIFICACIÓN DEL CARGUE

**5.1.1 Problemática que se pretende atender.** Como ya se había mencionado anteriormente, en FRIMAC S.A la planificación del cargue o asignación de rutas a los vehículos se hace de una forma empírica. La empresa no cuenta con ninguna herramienta para realizar esta actividad. No existe una equidad en la cantidad de toneladas transportadas mes a mes por cada vehículo, por lo tanto, en la facturación de fletes existen diferencia significativas de más de \$1'500.000 entre un vehículo y otro. Los conductores y auxiliares de ruta son liquidados de acuerdo a la cantidad de kg movidos quincenalmente, de manera que esta forma de planificación ocasiona que no haya una equidad en sus salarios.

#### 5.1.2 Objetivos de la propuesta

- Diseñar e implementar una herramienta logística para la planificación y asignación de las rutas de Distribución Urbana a los vehículos.
- Crear un manual para el procedimiento de Planificación de rutas que sirva de apoyo como guía, para que el proceso siempre se realice de la misma manera sin importar si hay rotación de empleados o inducciones en el cargo.
- Realizar capacitaciones a los auxiliares operativos encargados de utilizar uso de la herramienta, explicando el paso a paso de cada actividad.

**5.1.3 Descripción de la propuesta.** Inicialmente con el Director y el Tutor del proyecto se realizó un análisis de la herramienta que se usaría para el cumplimiento de este objetivo. Como esta es una actividad que se realiza diariamente, para una mayor facilidad en la manipulación por parte del Auxiliar Operativo la empresa sugirió la elaboración e implementación de una herramienta de planificación en la herramienta ofimática Excel, que pudiera tener en cuenta las restricciones de este proceso para cada vehículo: pico y placa, capacidad de transporte, horario de cargue para rutas viajeras. Adicionalmente la asignación de vehículos a las rutas se hará teniendo en cuenta la jerarquía del cargue, de manera que si en el día  $n$  un vehículo fue asignado a una ruta que movió mucho peso, en el día  $n+1$  se le deberá asignar una ruta que transporte una menor cantidad.

**5.1.4 Plan de implementación.** En la Tabla 6 se muestra la descripción del plan de implementación, contemplando los responsables, el tiempo y los recursos necesarios para desarrollar la propuesta.

**Tabla 6. Plan de implementación Planificación de Cargues**

ACTIVIDADES Y RECURSOS			
Actividades	Responsable(s)	Tiempo estimado	Costo Asociado
1. Recolección de información relacionada con el proceso	Practicante y Auxiliar Operativo	2 semanas	<b>Papelería e insumos:</b> computador, Internet <b>Recurso Humano:</b> Practicante, Tutor, Auxiliar Operativo, Director de Tesis
2. Diseño de la herramienta	Practicante	4 días	
3. Creación de la herramienta	Practicante y Director de Tesis	2 semanas	
4. Revisión y aprobación	Practicante y Tutor	3 días	
5. Capacitación del personal	Practicante	1 semana	
6. Seguimiento y control	Practicante	2 semanas	
Tiempo Total: 8 semanas			Costo total: \$0

## **5.2 MEJORAS EN LA PROGRAMACIÓN DE LOS RUTEROS DEDISTRIBUCIÓN**

**5.2.1 Problemática que se pretende atender.** En FRIMAC S.A la secuencia de visitas a los clientes es proporcionada por AVIDESA MAC POLLO y esta secuencia es organizada y programada de forma muy empírica, sin ningún tipo de herramienta tecnológica como base. Por lo tanto, al momento de hacer la entrega de los pedidos, los conductores organizan manualmente las facturas y cada uno plantea una secuencia de visita al cliente basado en su experiencia. Debido a que no existe una estandarización en la secuencia de visitas a los clientes, en la operación las novedades que se presentan con mayor frecuencia como una causa de devolución son: los establecimientos o puntos de entrega cerrados por falta de claridad en el horario de atención de los clientes y el faltante de dinero por parte de los clientes al momento de pagar los pedidos, cuando se realiza la entrega muy temprano.

### **5.2.2 Objetivos de la propuesta**

- Diseñar e implementar una herramienta de cálculo para la programación de los ruteros de distribución, usando la herramienta de programación GO y teniendo en cuenta el periodo de tiempo de recepción de los pedidos.
- Realizar capacitaciones a los auxiliares operativos encargados de hacer uso de la herramienta, explicando el paso a paso de cada actividad.
- Entregar a la empresa recomendaciones del mejoramiento del modelo de la herramienta para próximos proyectos.

**5.2.3 Descripción de la propuesta.** La propuesta de mejora que propone la autora consiste en diseñar y crear un software para la programación de los ruterios diarios de Distribución Urbana, usando el lenguaje de programación GO que se encuentra enlazado directamente con el Sistema de Información Geográfico (SIG) de Google Maps, donde se podrá visualizar cada rutero.

Inicialmente se parte dando solución al problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) utilizando una metaheurística. Para que el algoritmo arroje una solución deberá ser alimentado con la Matriz Origen Destino que contenga las distancias entre todos los clientes, la cual puede ser obtenida al ubicar los puntos de entrega directamente en el mapa. Seguidamente en el software se ingresarán las ventanas de tiempo de cada cliente. Finalmente se obtendrá un rutero de distribución con una secuencia de visitas como solución a un conjunto de clientes.

**5.2.4 Plan de implementación.** En la Tabla 7 se muestra la descripción del plan de implementación, contemplando los responsables, el tiempo y los recursos necesarios para desarrollar la propuesta.

**Tabla 7. Plan de implementación Rutero de distribución**

ACTIVIDADES Y RECURSOS			
Actividades	Responsable(s)	Tiempo estimado	Costo Asociado
1.Recolección de información relacionada con el proceso	Practicante, Tutor, Auxiliar Operativo	4 semanas	<b>Papelería e insumos:</b> computador, Internet <b>Recurso Humano:</b> Practicante, Tutor, Auxiliar Operativo, Director de Tesis
2. Diseño de la herramienta	Practicante, Tutor, Director de Tesis	2 semanas	
3. Elaboración de la herramienta	Practicante	6 semanas	
4. Revisión y aprobación	Practicante, Tutor, Director de Tesis	3 días	
6. Seguimiento y control	Practicante, Auxiliar Operativo	2 semanas	
Tiempo Total: 15 semanas			Costo total: \$0

### **5.3 SISTEMA DE INDICADORES PARA LA OPERACIÓN DE DISTRIBUCIÓN URBANA EN BUCARAMANGA, SU ÁREA METROPOLITANA Y PUEBLOS CERCANOS.**

**5.3.1 Problemática que se pretende atender.** FRIMAC S.A no cuenta con una herramienta de gestión que permita controlar y dar seguridad a todos los procesos dentro de la Operación de Distribución Urbana. Tampoco cuenta con información para la toma de decisiones que permita que los proceso se mejoren de forma continua.

### 5.3.2 Objetivos de la propuesta

- Diseñar un sistema de indicadores como herramienta de Gestión que permita hacer seguimiento a la Operación de Distribución Urbana.
- Capacitar a los Auxiliares Operativos de la empresa en el cálculo de los indicadores.

**5.3.3 Descripción de la propuesta.** A continuación se detallan los indicadores para llevar el control de los procesos abordados. En el formato se contempla la descripción, el objetivo, la formula, la unidad de medida, la periodicidad y el responsable de hallar y retroalimentar el indicador correspondiente.

Nombre	Volumen de demanda				
Descripción	Relaciona la totalidad de Pedidos recibidas durante un periodo de tiempo				
Objetivo	Controlar la evolución del volumen de pedidos generados				
Cálculo	$Valor = Total\ Pedidos/mes/ruta$				
Unidad	Valor (und)	Sentido	Creciente	Periodicidad	Mensual
Responsable	Auxiliar Operativo				
Información necesaria	Número de pedidos generados/mes/ruta				

Nombre	Volumen de peso transportado				
Descripción	Relaciona la totalidad de toneladas de producto transportadas durante un periodo de tiempo				
Objetivo	Controla la evolución del volumen de toneladas de producto transportadas				
Cálculo	$Valor = Total\ peso\ transportado/mes/ruta$				
Unidad	Valor (ton)	Sentido	Creciente	Periodicidad	Mensual
Responsable	Auxiliar Operativo				
Información necesaria	Cantidad de toneladas de productos transportados/mes/ruta				

Nombre	Volumen de venta				
Descripción	Arroja el porcentaje sobre las ventas de las ordenes de servicio o pedidos generados				
Objetivo	Controla la evolución del volumen de órdenes de servicio generadas en relación al total de ventas				
Cálculo	$Valor = \frac{Total\ ventas}{Total\ pedidos}$				
Unidad	\$/pedido	Sentido	Creciente	Periodicidad	Mensual
Responsable	Auxiliar Operativo				
Información necesaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pedidos generados/mes/ruta</li> <li>• Ventas totales/mes/ruta</li> </ul>				

Nombre	Costo de transporte vs venta				
Descripción	Relaciona el costo de transportar los productos según los ingresos obtenidos				
Objetivo	Controlar el costo de transporte respecto a las ventas de la empresa				
Cálculo	$Valor = \frac{Costo\ total\ transporte}{Valor\ ventas\ totales} * 100$				
Unidad	%	Sentido	Decreciente	Periodicidad	Mensual
Responsable	Auxiliar Operativo				
Información necesaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos totales generados por el transporte/mes (vehículos + conductores)</li> <li>• Ventas totales generadas/mes</li> </ul>				

Nombre	Capacidad de transporte utilizada				
Descripción	Arroja el porcentaje de la capacidad de transporte disponible actualmente utilizada				
Objetivo	Controlar la utilización efectiva de los vehículos utilizados para el transporte de los productos				
Cálculo	$Valor = \frac{Capacidad\ utilizada}{Capacidad\ máxima\ del\ recurso} * 100$				
Unidad	%	Sentido	Creciente	Periodicidad	Mensual
Responsable	Auxiliar Operativo				
Información necesaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso transportado por cada vehículo/mes</li> <li>• Capacidad total de la flota de vehículos/mes</li> </ul>				

Nombre	Ordenes de servicio entregadas correctamente				
Descripción	Arroja el porcentaje de órdenes de servicio que se entregan sin problemas				
Objetivo	Controlar la calidad de los productos recibidos y la puntualidad de las entregas				
Cálculo	$Valor = \frac{Pedidos\ entregadas\ correctamente/ruta/mes}{Total\ Pedidos\ generadas/ruta/mes} * 100$				
Unidad	%	Sentido	Creciente	Periodicidad	Mensual
Responsable	Auxiliar Operativo				
Información necesaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de pedidos generadas/mes /ruta</li> <li>Número de pedidos entregados correctamente/mes/ruta</li> </ul>				

Nombre	Ordenes de servicio entregadas a tiempo				
Descripción	Mide el nivel de cumplimiento de la flota de vehículos para realizar la entrega de los pedidos en la fecha o periodo de tiempo pactado con el cliente				
Objetivo	Controlar la cantidad de órdenes de servicio que son entregadas a tiempo a los clientes				
Cálculo	$Valor = \frac{Pedidos\ entregados\ a\ tiempo}{Total\ pedidos\ entregados} * 100$				
Unidad	%	Sentido	Creciente	Periodicidad	Mensual
Responsable	Auxiliar operativo				
Información necesaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>Número total de pedidos entregados/mes/ruta</li> <li>Número total de pedidos entregadas sin retraso/mes/ruta</li> </ul>				

Nombre	Porcentaje de merma de la mercancía				
Descripción	Mide la cantidad de mermas encontradas durante la entrega de pedidos				
Objetivo	Controlar la evolución de la cantidad de mermas entregadas a los clientes en los pedidos				
Cálculo	$Valor = \frac{Total\ mermas\ (Ton)}{Total\ peso\ transportado\ (Ton)} * 100$				
Unidad	%	Sentido	Decreciente	Periodicidad	Mensual
Responsable	Auxiliar Operativo				
Información necesaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad total de mermas generadas a los cliente/mes/ruta</li> <li>Cantidad total de toneladas transportadas/mes/ruta</li> </ul>				

Nombre	Porcentaje de devoluciones				
<b>Descripción</b>	Mide la cantidad de novedades causantes de devoluciones encontradas durante la entrega de pedidos				
<b>Objetivo</b>	Controlar la evolución de la cantidad de devoluciones por parte de los clientes				
<b>Cálculo</b>	$Valor = \frac{Total\ Devoluciones\ (und)}{Total\ Pedidos\ generados\ (und)} * 100$				
<b>Unidad</b>	%	<b>Sentido</b>	Decreciente	<b>Periodicidad</b>	Mensual
<b>Responsable</b>	Auxiliar Operativo				
<b>Información necesaria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad total de devoluciones clasificadas según la novedad/mes/ruta</li> <li>• Cantidad total de pedidos generados/mes/ruta</li> </ul>				

## 6 IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORA

### 6.1 EJECUCION DE PLANES DE IMPLEMENTACIÓN

#### 6.1.1 Planificación del cargue

**Etapa 1. Recolección de información relacionada con el proceso:** De la capacidad total de almacenamiento del CEDI, 32.63Ton son destinadas diariamente para abastecer la demanda de la operación de Distribución Urbana y para esto FRIMAC cuenta con un parque automotor de 19 vehículos tipo NHR (2.0 Ton de capacidad) y 2 vehículos tipo LUV (1.5 Ton de capacidad). El tiempo estipulado para el cargue de estos vehículos es de 12:00 am a 5:00 am y cada ruta cuenta con un horario fijo de cargue, por lo tanto, dependiendo de la planeación que se realice el día anterior para la asignación de los vehículos a las rutas dependerá el horario de cargue de cada una de ellas.

Se consideró para el posterior diseño de la herramienta la recolección de la siguiente información:

- Número total de vehículos de la operación
- Clasificación de los vehículos según la restricción del pico y placa
- Demanda promedio para cada ruta
- Secuencia de salida de rutas para cada día

Esta información se encuentra relacionada en el *ANEXO J*

**Etapa 2. Diseño de la herramienta:** Para el diseño de la herramienta se tuvieron en cuenta inicialmente las restricciones encontradas en el proceso:

- Restricción de pico y placa: diariamente se reparten pedidos a clientes encontrados en el área urbana y metropolitana de Bucaramanga. Cada vehículo tiene restricción de pico y placa una vez por semana, por lo tanto ese día no podrá realizar entrega de productos en área urbana de

Bucaramanga y deberá ser asignado para atender una ruta en el área metropolitana o en el área rural.

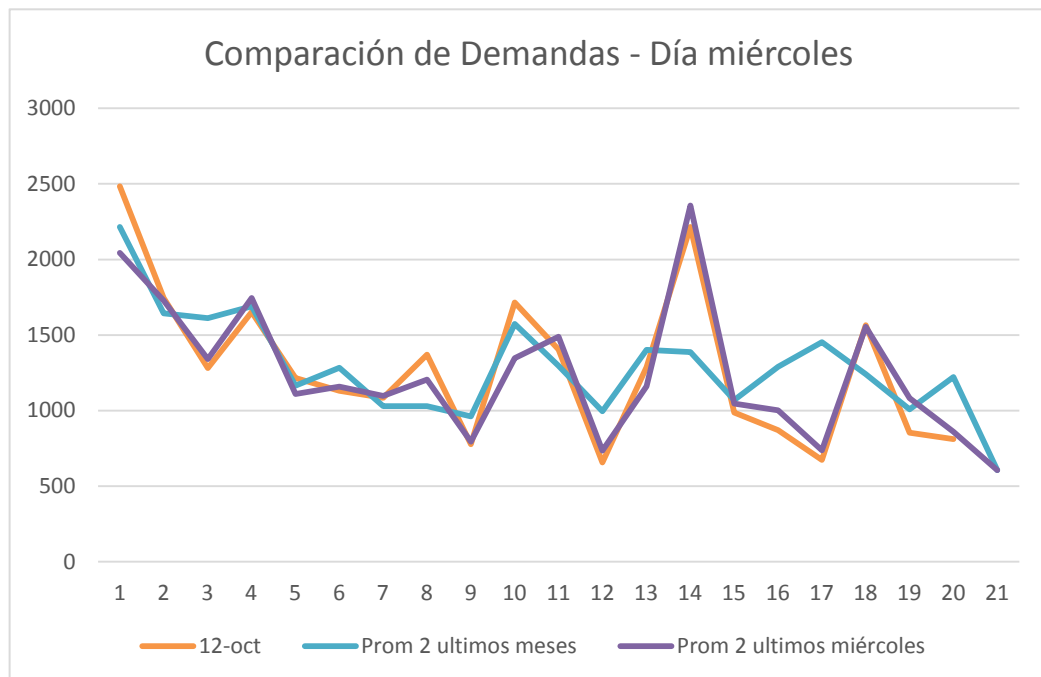
- Restricción de Capacidad: la empresa dispone de una flota heterogénea de vehículos, lo cual ocasiona que los vehículos que tienen una capacidad menor de transporte (1.5 Ton) no puedan ser asignados a rutas que en promedio cuenten con una demanda muy alta de peso transportado. Para el resto de la flota se omite la restricción de capacidad
- Restricción para rutas viajeras: para la asignación de las rutas viajeras en primer lugar se debe tener en cuenta que cada vehículo sólo puede salir a viajar una vez por semana. También los vehículos que sean asignados para el transporte de estas rutas, al día siguiente deberán ser asignados a una ruta urbana que esté programada para cargar después de 4:00am. Esta restricción se planteó con el objetivo de no generar sobrecargos de horas de trabajo en los conductores y auxiliares de rutas.

Además de las restricciones también es necesario conocer la demanda de los clientes para hacer una asignación según la jerarquía. La demanda en la operación es muy variable y solamente es conocida con 5 horas de anterioridad al inicio de la operación, aproximadamente a las 7:00pm. La planificación o asignación de rutas se realiza con 15 horas de anticipación, es decir, todos los días a las 9:00am aproximadamente. Al auxiliar Operativo de FRIMAC le es imposible conocer la demanda antes de realizar la asignación de rutas, sin embargo, este dato es de suma importancia para asignar una jerarquía en los kg transportados; por lo tanto para la construcción de la herramienta se realizó un pronóstico de la demanda basado en datos de los meses anteriores.

Junto con el tutor del proyecto, se decidió tomar el promedio de la demanda de los últimos dos días, debido a la constante variación de ésta según las temporadas de cada trimestre. Al tomarse una mayor cantidad de días para el pronóstico, la demanda tendía a alejarse mucho más de su valor real.

En la siguiente gráfica se puede apreciar con claridad la tendencia de la demanda real del día miércoles 12 de octubre y al compararse con el promedio de la demanda de los últimos dos meses y de los últimos dos días, se concluye que la primera tiende a acercarse más al valor real, por lo tanto será usada como un pronóstico.

**Gráfica 1. Comparación de Demandas para el día miércoles**



*Fuente: autora.*

En el ANEXO Jen la pestaña llamada “Demandas” se encuentran relacionadas las demandas diarias del mes de agosto, septiembre y octubre y las gráficas de comparación de los promedios vs la demanda real.

**Etapa 3. Creación de la herramienta:** Se diseñó un rutero que permitiera observar mejor el comportamiento de la demanda en una semana de operación. Se ubicaron en la parte superior las dos restricciones más influyentes en el proceso: restricción de pico y placa y la restricción de las rutas viajeras del día anterior. Junto a esta restricción se ubicó la jerarquía en la cantidad de peso transportado según la ruta a la que el vehículo fue asignado el día anterior.

Seguidamente, se relaciona la secuencia del cargue de las rutas y el pronóstico del movimiento de estas en KG. Para cada día se tiene a la parte izquierda los KG pronosticados y a la parte derecha los KG reales transportados. A cada valor de la demanda se le asigna una jerarquía que será usada para hacer la comparación de tendencia al momento de asignar los vehículos. Esta jerarquía lo que hace es comparar la cantidad de peso que movió el día anterior un vehículo con el pronóstico del peso que podría mover dependiendo de la ruta a la cual sea asignado. De esta manera si un vehículo movió un alto número de KG con una Jerarquía de 20, en la planeación deberá ser asignado a una ruta que pronostique una demanda con una Jerarquía de 1 a 5. Primero se tienen en cuenta las jerarquías de los vehículos con rutas viajeras, que deben ser asignados al final de la planificación, luego se tienen en cuenta la jerarquía de los vehículos con pico y placa que deben ser asignados a rutas viajeras o del área metropolitana y por último se tiene en cuenta la jerarquía de las rutas urbanas.

## Ilustración 14. Rutero Diario de asignación de rutas y planificación de cargues

MIÉRCOLES				JUEVES 29 SEPT			
PICO Y PLACA (3 Y 4)		VIAJERAS MARTES		PICO Y PLACA (5 Y 6)		VIAJERAS MIÉRCOLES	
SUF103				XVY675	17	SPU810	20
TTR943				TAW836	13	TTU893	18
TTU893				TAX516	15		
WFB914				WFB986	6		
RUTA	KG pronosticados	ASIGANCION	KG reales	RUTA	KG pronosticados	ASIGANCION	KG reales
SAN VICENTE		SPU810	2404,78 ↑ 20	SAB CENTRO	1788,79 ↑ 22	TAW479	1607,47 ↑ 20
PACHACUAL		TTU893	1757,1775 ↑ 18	SAB PERIFERIA	957,51 ↓ 3	SOZ452	1006,345 ↓ 2
S/FCO1		TAX516	1419,7025 ↑ 15	SAB CRTRA	1526,49 ↑ 16	WFB986	1330,98 → 11
PIEDECUESTA1		TTU507	1808,25 ↑ 19	S/FCO1	1510,02 → 15	WFB914	2033,2825 ↑ 22
PROVENZA1		WFB914	1102,685 → 8	PIEDECUESTA1	1264,15 → 8	TAW836	1126,005 ↓ 5
SUR2		XLM119	1191,625 → 10	PROVENZA1	1187,89 ↓ 7	WOK668	1291,475 → 10
SUR1		XVN182	980,11 ↓ 5	SUR2	1529,31 ↑ 17	SKN970	1573,9235 ↓ 19
PIEDECUESTA		TAW479	947,1125 ↓ 1	SUR1	1126,11 ↓ 6	TAX516	1183,2275 ↓ 7
PROVENZA		SKN970	1054,0825 ↓ 7	SUR3	916,27 ↓ 2	TTU507	1351,7675 → 12
PRADO		WFC982	1485,36 ↑ 16	PIEDECUESTA	1278,09 ↓ 9	SOZ050	1378,125 ↓ 14
CENTRO3		SSY430	1313,095 ↑ 14	PROVENZA	1013,52 ↓ 4	SSY430	1110,585 ↓ 4
CENTRO2		WFC689	966,295 ↓ 3	PRADO	1385,50 → 13	TAV352	1372,7175 → 13
S/FCO		WOK668	1264,2525 → 12	CENTRO3	1354,92 → 12	XLM119	1410,665 ↑ 16
CABECERA		TAV352	1156,26 ↓ 9	S/FCO	1705,05 ↑ 20	WFC689	1408,47 → 15
SUR3		TTR943	965,725 ↓ 2	CENTRO2	1738,26 ↑ 21	TTR943	1195,505 → 8
GIRON2		TAW836	1300,6925 ↓ 13	CABECERA	1555,75 ↑ 18	XVN182	1176,885 ↓ 6
GIRON1		XVY675	1645,22 ↑ 17	LEBRIJA	1578,91 ↑ 19	TAX668	1637,715 ↑ 21
LAGOS		SOZ050	1225,4625 → 11	GIRON1	719,58 ↓ 1		510,745 ↓ 1
CENTRO		WFB986	1026,135 ↓ 6	GIRON2	1081,07 ↓ 5	XVY675	1234,8625 → 9
CENTRO4		TAX668	973,5525 ↓ 4	LAGOS	1353,92 → 11	WFC982	1543,0775 ↑ 18
RUITOQUE		SOZ452		CENTRO	1327,97 → 10	SPU810	1034,1775 ↓ 3
				CENTRO4	1411,81 → 14	TTU893	1449,005 ↑ 17

Fuente: autora.

Los pasos a tener en cuenta para realizar la asignación son los siguientes:

1. Como solo conocemos un pronóstico de la demanda a este se le asigna una jerarquía de 1 a 21 según el peso transportado en cada ruta. A mayores kilos movidos, mayor será la jerarquía. El objetivo de asignar esta jerarquía es compararla más adelante con la jerarquía de los kilos reales movidos el día anterior.
2. Se asignan los vehículos viajeros del día anterior al final del rutero de planeación en las dos últimas rutas para cargar. Se compara la jerarquía de peso transportado del día anterior con la jerarquía del peso pronosticado para las rutas a las que serán asignados.
3. Se asignan los vehículos que tengan pico y placa para ese día. Estos vehículos sólo podrán ser asignados a rutas del área metropolitana y viajeras, que se encuentran resaltadas en la parte izquierda de cada día en

color azul claro, para una mejor identificación y también se deberá hacer una comparación de la demanda real del día anterior y la demanda promedio que le será asignada.

4. Se asignan los vehículos restantes a las rutas urbanas haciendo comparación de jerarquías. Los vehículos que el día anterior hayan sido asignados a una jerarquía alta, al día siguiente teniendo en cuenta la jerarquía de la demanda pronosticada deberán ser asignados a una jerarquía menor.

**Etapa 4. Revisión y aprobación:** La herramienta en primer lugar se presentó al Tutor, Adrián Meléndez, quien revisó y sugirió algunas modificaciones relacionadas con el pronóstico de la demanda. Se corrige lo requerido y se enseña a gerencia la herramienta en su segunda versión con los resultados obtenidos en su implementación.

**Etapa 5. Capacitación del personal:** Primeramente la autora realiza una prueba piloto por varios días para verificar que la herramienta funcione correctamente. Se hace descripción paso a paso de las actividades necesarias para el uso adecuado de la herramienta y luego se hace un acompañamiento al Auxiliar Operativo durante 15 días de 2:00am a 5:00am para su capacitación.

**Etapa 6. Seguimiento y control:** Lo que se hace en esta etapa es tener una constante supervisión de las actividades, realizando observaciones y atendiendo dudas por parte del Auxiliar Operativo. A su vez, el tutor del proyecto realiza varias preguntas a la practicante para asegurarse que las cosas estén saliendo bien.

## 6.1.2 Ruterros de Distribución

### Etapa 1. Recolección de información relacionada con el proceso:

#### ✓ Red de transporte

La red que se utiliza para la distribución urbana de mercancías generalmente es una red terrestre. La red se describe en su mayoría de las veces como un grafo, donde los arcos representan los segmentos o secciones de las vías, y los vértices corresponden a las uniones de los nodos de la red. Para este caso en particular, el depósito y los clientes están situados en los nodos. Los arcos pueden ser dirigidos y no dirigidos, dependiendo de si se permite la circulación en un único sentido o ambos (por ejemplo, calles con ambos sentidos de circulación o una única dirección), cada arco tendrá un peso, que en este caso es el tiempo de viaje, el cual depende de la distancia recorrida, la velocidad del vehículo y de momento en que se recorra el arco (condiciones de tráfico).

La mayoría de los problemas que se abordan en la literatura son de tipo simétrico, con el objetivo de simplificar el modelo matemático, sin embargo, estos modelos no representan la realidad adecuadamente. Para este problema se construye la red teniendo en cuenta las direcciones de las vías, por lo tanto se considera un ***problema asimétrico***.

Para la construcción de la red de distribución se usa el SIG proporcionado de la API de Google Maps que permite realizar las siguientes funciones:

- Geo-localización de los clientes y depósito
- Análisis de la red de transporte, red de carreteras, sentido de circulación de las vías.
- Representación geográfica de la solución (rutas para cada vehículo)

Las solicitudes de información necesaria se hacen a los servicios de Google Maps por medio de módulos de código que proporcionen acceso a diferentes herramientas como lo son:

- ✚ **Matriz de Distancias:** Es un servicio que proporciona las distancias y tiempos de viaje tomando como referencia la matriz de origen-destino. Teniendo en cuenta el modelo de transporte y sentido de circulación de las vías, basándose en la red de carreteras actual.
- ✚ **Geo-codificación de Google Maps:** Este servicio está diseñado para convertir direcciones (calle, carrera) en coordenadas geográficas (latitud, longitud), que a su vez se pueden convertir en marcadores en el mapa de referencia. Las direcciones que se desea geo-codificar deben estar en el formato utilizado por el servicio portal nacional del país.

✓ **Inventario de equipamiento**

**Tabla 8. Inventario de equipamiento**

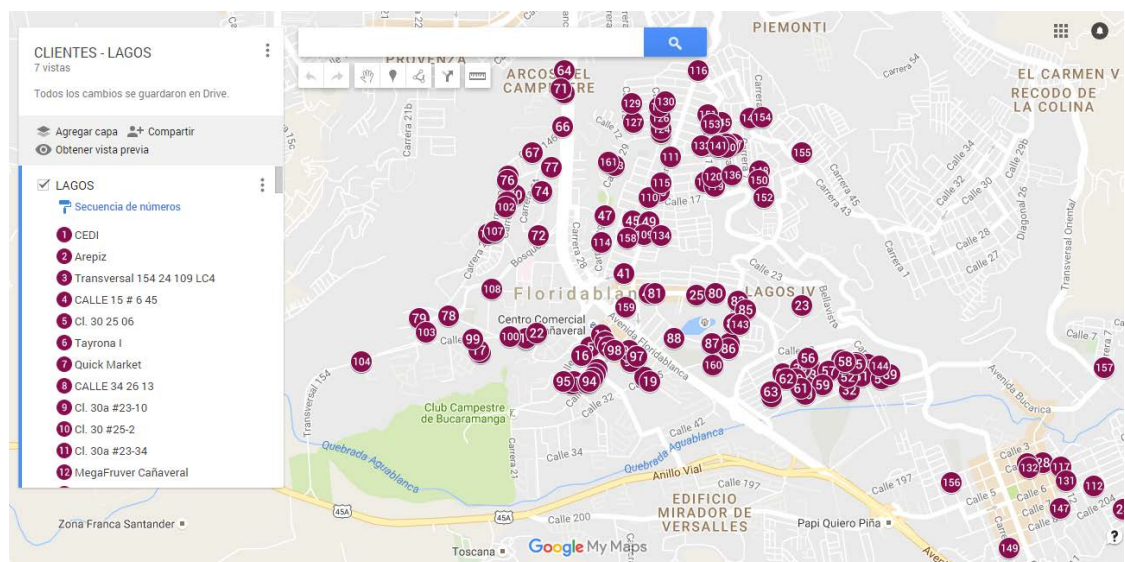
<b>Equipamiento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Capacidad</b>
Vehículo tipo NHR	19	Transporte refrigerado de mercancías	2,5 Ton
Vehículo tipo LUV	2	Transporte refrigerado de mercancías	1,5 Ton
Centro de distribución	1	El CEDI se encuentra localizado en Palenque-Girón en la Cra 17 – cale 59	930 Ton

✓ **Análisis de mapas**

Se emplea el mapa de la división política de Bucaramanga para la representación del centro de distribución (CEDI) y los clientes por medio de la herramienta de georreferenciación (Google Maps), la cual permitió establecer la localización exacta de los lugares con base en una búsqueda exploratoria, debido a la falta de información de algunas dependencias consultadas.

Para la implementación del proyecto se realizó una prueba piloto con el grupo de clientes de la ruta Lagos, los cuales fueron ubicados en el mapa<sup>52</sup>. Esta ruta fue escogida por el Tutor del proyecto por tener indicadores de altos números de devoluciones, por causas directas del mal enrutamiento de sus clientes y desorganización.

### Ilustración 15. Geolocalización de los clientes de la Ruta Lagos



Fuente: (Google)

#### ✓ Descripción de la ruta

Cada ruta consta de una secuencia de nodos, donde el nodo inicio y de terminación corresponde al depósito y los demás representan los nodos clientes. Se deben trazar las rutas correspondientes teniendo en cuenta el procedimiento más adecuado para hallar la distancia entre nodos, la secuencia del recorrido y las vías establecidas. Cada ruta factible es recorrida por un vehículo con capacidad finita, el cual satisface la demanda de todos los clientes que le son asignados a la ruta.

<sup>52</sup>Ubicación de los clientes usados en la prueba piloto: [https://www.google.com/maps/d/edit?hl=es-419&authuser=0&mid=1ei4y9RrLE-9iyA\\_978\\_WObo4KQ](https://www.google.com/maps/d/edit?hl=es-419&authuser=0&mid=1ei4y9RrLE-9iyA_978_WObo4KQ)

✓ **Demanda**

La demanda para las rutas es asignada según el grupo de clientes que realicen pedidos para cada día. Los Auxiliares de despacho y el auxiliar operativo están encargados de asignar a cada ruta un grupo de clientes que puedan abastecer. Generalmente la capacidad del vehículo siempre es mayor a la demanda del grupo de clientes asignados; sin embargo cuando la demanda sobrepasa la capacidad del vehículo, la ruta es dividida y se le asigna un número pequeño de clientes a una ruta cercana.

✓ **Ventanas de Tiempo**

Las ventanas de tiempo para cada cliente se asignaron en base a información recolectada durante el mes de septiembre. Se realizaron visitas a los clientes donde se realizó la prueba piloto de implementación y se tomaron tiempos de la máxima de entrega para cada uno de ellos. También se entrevistó a los conductores a los cuales también se les preguntó según su experiencia la hora máxima de visita a los clientes. En el ANEXO K se adjuntan las ventanas de tiempo para el modelo. Mac Pollo proporcionó la información de las direcciones de los clientes para su ubicación, pero solicitaron que esa información fuera confidencial en la presentación del proyecto por eso no es posible incluirla en ANEXOS. La autora tiene la información en físico, para su verificación.

**Etapa 2. Diseño de la herramienta:**

✓ **Colonia artificial de abejas**

La colonia artificial de abejas es un algoritmo de optimización basado en poblaciones de abejas, caracterizado por su sencillez y facilidad de implementación, además de ser efectivo al resolver problemas de búsqueda

compleja en diversos dominios<sup>53</sup>. ABC (por sus siglas en inglés) consta de diversas variantes, Baykasoglu et al<sup>54</sup>, propone una clasificación basado en tres principales modelos:

- **Comportamiento de unión:** Basado en el comportamiento de apareamiento, y en donde existen adaptaciones reportadas de trabajos, para resolver problemas numéricos no restringidos y algunos con restricciones simples. Sin embargo no especifican cómo se adaptó el modelo para el manejo de restricciones, además las funciones de prueba utilizadas son muy sencillas.
- **Comportamiento de la Abeja Reina:** es una adaptación de un algoritmo genético que permite al mejor individuo de una población generar varios descendientes. Este modelo ha resuelto problemas combinatorios y algunas funciones numéricas no restringidas.
- **Comportamiento de Forrajeo:** Se centra en el comportamiento colectivo que llevan a cabo las abejas domésticas para la obtención de fuentes de alimento.

Para el diseño de la herramienta de programación se tuvo en cuenta el modelo de forrajeo propuesto por Dervis Karaboga.

#### ✓ **Algoritmo artificial de Colonia de abejas**

El algoritmo de colonia de abejas (ABC) es un algoritmo bio-inspirado de inteligencia de enjambres propuesto y desarrollado por Dervis Karaboga en 2005<sup>55</sup>, en este algoritmo se busca emular el comportamiento de las abejas en la búsqueda y explotación de las fuentes de alimento, para ello se define una

---

<sup>53</sup> KARABOGA, D.; AKAY, B.; OZTURK, C. Artificial bee Colony (ABC) optimization algorithm for training feed-forward neural networks. En: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 2007. Pag. 318-329.

<sup>54</sup> BAYKASOGLU, A.; OZBAKIR, L.; TAPKAN, P. Artificial bee Colony algorithm and its application to generalized assignment problem. En: F.T. Chan and M. K. Tiwari, editors. 2007. Pag. 113-144.

<sup>55</sup> KARABOGA, Dervis. An idea based on honey bee swarm for numerical optimizations. En: Technical Report TR06. 2005.

colmena artificial formada por una zona de comunicación, denominada zona de baile, y tres tipos de abejas: obreras, observadoras y exploradoras.

En el ABC, las abejas se mueven en un espacio de búsqueda multidimensional eligiendo fuentes de néctar dependiendo de su experiencia pasada y la de sus compañeros de colmena o ajustando su posición. Algunas abejas (exploradoras) vuelan y eligen las fuentes de néctar mayor, memorizan su posición y olvidan la anterior. De este modo, el ABC combina métodos de búsqueda local y búsqueda global, intentando equilibrar el proceso de la exploración del espacio de búsqueda.

El algoritmo define los siguientes elementos mínimos:

- a. **Fuentes de alimento:** son el objetivo esencial del problema ya que se busca encontrar las mejores fuentes, las cuales se valoran por simplicidad con un número que indica la cantidad de la fuente de acuerdo a las características que presenta, como la cercanía a la colmena, y la cantidad y facilidad para extraer el néctar.
- b. **Abejas empleadas:** las cuales se encargan de explotar las fuentes de alimento y constantemente comparten información sobre la rentabilidad de la fuente con las abejas recolectoras desempleadas.
- c. **Abejas desempleadas:** entre las cuales se tienen dos tipos que son las exploradoras cuya función es estar constantemente buscando nuevas fuentes de alimento cercanas a la colmena y las observadoras que son quienes se encargan de elegir las mejores fuentes que serán explotadas con base a la información proporcionada por las abejas empleadas y exploradoras.

Cuando todas las abejas empleadas encuentran una fuente de alimento comparten esa información con las abejas observadoras por medio de una danza en la que indican la información de cercanía y el fitness de la fuente para ser seleccionada, luego cuando una fuente de alimento se termina o no mejora después de un cierto número de iteraciones las abejas deciden si se convierten en

exploradoras u observadoras y se selecciona una fuente de alimento para reemplazar la que se agotó.

El algoritmo de la colonia artificial de abejas es un algoritmo bio-inspirado que trabaja de la siguiente manera, según Mezura et al<sup>56</sup> (ver ilustración 16)

- 1) Genera un conjunto (población) de soluciones (individuos) al problema.
- 2) Evaluar cada solución en la función objetivo a optimizar.
- 3) Seleccionar la mejor
- 4) Generar nuevas soluciones a partir de las mejores soluciones utilizando operadores de variación
- 5) Evaluar las nuevas soluciones
- 6) Escoger las soluciones que forman parte de la siguiente iteración (generación)

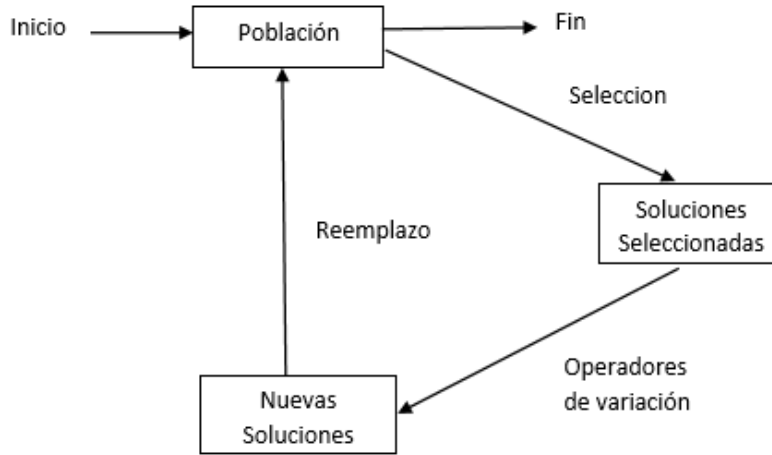
El algoritmo de colonia artificial de abejas es un algoritmo con pocos parámetros de entrada: Tamaño de la colmena (CS), el número total de ciclos del algoritmo (iteraciones) MCN, y el límite de ciclos que se mantendrá una solución antes de ser sustituida. A partir de allí se generan aleatoriamente las soluciones iniciales (SN) del problema y se evalúa la calidad de las soluciones<sup>57</sup>.

---

<sup>56</sup>MEZURA, E; CETINA, O y HERNANDEZ, B. Nuevas heurísticas inspiradas en la naturaleza para optimización numérica. En: Mecatrónica Editorial IPN. 2010. P. 249-272.

<sup>57</sup>BASTURK, Bahriye y KARABOGA, Dervis. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimizations: artificial bee Colony (ABC) algorithm. En: Journal Global Optimizations. 2007. Vol 39, pag. 459-471.

**Ilustración 16. Esquema de un algoritmo bio-inspirado.**



Fuente: (González, 2010)

Para calcular las nuevas fuentes de alimento se utiliza el siguiente operador que genera una nueva solución  $V_i^g$ :

$$V_{ij}^g = X_{ij}^g + \phi_{ij} * (X_{ij}^g - X_{kj}^g)$$

Donde  $X_{ij}^g$  representa la fuente donde se encuentra actualmente la abeja, y  $X_{kj}^g$  es una fuente de alimento elegida del azar (diferente de  $X_{ij}^g$ ),  $i \in \{1,2...SN\}$ ,  $j \in \{1,2...N\}$ , y  $\phi_{ij}$  es un número real aleatorio entre  $[-1,1]$  generado al azar para cada  $i \in \{1,2...SN\}$  y cada  $j \in \{1,2...N\}$ . Se evalúan las fuentes encontradas comparando sus fitness y se elige la mayor, para calcular el fitness se utiliza la siguiente fórmula:

$$f_i t_i = \begin{cases} \frac{1}{1+f_i} & \text{si } f_i \geq 0 \\ 1 + \text{abs}(f_i) & \text{si } f_i < 0 \end{cases}$$

Donde  $f_i$  es el valor de la función objetivo de la solución  $i$

Una abeja observadora elige una fuente de alimento dependiendo del valor de probabilidad asociada con esa fuente de alimento  $P_i$ , calculado por la siguiente expresión:

$$P_i = \frac{f_i t_i}{\sum_{i=1}^{SN} f_i t_i}$$

Posteriormente se vuelven a calcular soluciones candidatas con:

$$V_{ij}^g = X_{ij}^g + \phi_{ij} * (X_{ij}^g - X_{k,j}^g)$$

para las abejas observadoras y se comparan con la solución actual manteniendo la mejor, ahora se debe observar si existen fuentes abandonadas, estas determinan si el valor límite de la solución es mayor que el límite establecido en los parámetros y de ser así se comparan sus fitness. El ciclo culmina memorizando la mejor solución hasta el momento.

Zseto et al<sup>58</sup> plantean un problema de ruteo de vehículos capacitados de pequeña dimensión (7 clientes y 3 vehículos), desarrollando una versión mejorada del algoritmo artificial de colonia de abejas para dar solución al problema. En el 2012, Ivona Brajevic<sup>59</sup> realizó un artículo sobre el problema de ruteo de vehículos capacitados dando solución mediante un algoritmo ABC modificado, el algoritmo fue modificado mediante dos operadores de vecindad (mutación de intercambio y mutación de inserción).

#### ✓ **Formulación del modelo matemático**

La componente geográfica de los problemas se modela a través de un grafo conexo  $(G = N, A)$ . El conjunto de nodos  $N = \{0, 1, \dots, n\}$  representa los sitios que participan en el problema, es decir, clientes y depósitos. El nodo **0** representa un

<sup>58</sup> ZSETO, W; WU, Yonghong y HO, Sin. An artificial bee Colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem. En: European Journal of Operational Research. 2011. Vol. 215, p. 126-135.

<sup>59</sup> BRAJEVIC, Ivona. Artificial bee Colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem. En: University of Belgrade. 2012.

depósito y los nodos  $\{0, 1, \dots, n\}$  representan los clientes. Cada cliente  $i$  tiene asociada una demanda  $d_i > 0$ . Se dispone de una flota de vehículos  $K$  idénticos, cada uno de los cuales tiene capacidad  $C > 0$ . La existencia de un arco  $(i, j) \in A$  indica que es posible el recorrido del nodo  $i$  al nodo  $j$ . Es usual que a cada arco  $(i, j) \in A$  se le asocie un tiempo de viaje  $t_{ij}$ . La variable binaria  $X_{ijk}$  indica si la ruta  $k$  cubrirá el arco que va desde  $i$  hasta  $j$ .

Para introducir el modelo de una manera ordenada y sencilla, a continuación se detallan los parámetros, los conjuntos y las variables que lo integran.

### Índices

Los índices del modelo propuesto son:

$i$  = Nodo de partida  $i(1, 2, \dots, n)$

$j$  = Nodo de llegada  $j(1, 2, \dots, n)$

$n$  = Nodos totales

$k$  = Vehículo  $k(1, 2, \dots, k)$

### Variables de decisión

$X_{ijk} \begin{cases} 1. \text{ Si el vehículo viaja de } i \text{ a } j \\ 0. \text{ De lo contrario} \end{cases}$

$Y_{ijk} \begin{cases} 1. \text{ Si cliente } i \text{ es visitado por el vehículo } k \\ 0. \text{ De lo contrario} \end{cases}$

## Parámetros

$T_{ijk}$  Tiempo de viaje entre los nodos  $(i, j)$  por el vehículo  $k$

$C$  Capacidad del vehículo

$d_i$  Demanda del cliente  $i$

La solución consiste en minimizar la función objetivo ( $f$ )

$$1. f = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^k T_{ijk} * X_{ijk} \rightarrow \min$$

$$2. f = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^k T_{ijk} * X_{ijk} + \sigma \cdot \sum_{k=1}^k [\sum_{i=0}^n d_i Y_{ik} - C, 0] \rightarrow \min$$

La función (1) tiene como propósito disminuir el tiempo total de transporte en los que se incurre al servir un número  $n$  de clientes, con el objetivo de encontrar la solución óptima al problema, mientras que la función de evaluación (2) está diseñada para calcular el valor del fitness de cada sub-ruta.

$\sigma$ : Es un parámetro positivo autoajutable, el cual se divide en 0,1 si la demanda de los clientes es mayor a la capacidad del vehículo, de lo contrario se multiplica por 0.1

$$\text{SI} \quad \begin{cases} \text{Demanda acumulada} > \text{capacidad del vehiculo} & \frac{\sigma}{0.1} \\ \text{Demanda acumulada} \leq \text{capacidad del vehiculo} & \sigma * 0.1 \end{cases}$$

Además se deben cumplir las siguientes restricciones:

3.  $\sum_{i=0}^n d_i Y_{ik} \leq C \rightarrow \forall k$
4.  $\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^n X_{ijk} = 1, j = 1, 2, 3, \dots, n$
5.  $\sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^n X_{ijk} = 1, i = 1, 2, 3, \dots, n$
6.  $\sum_{i=0}^n X_{itk} - \sum_{j=0}^n X_{tjk} = 0, \forall k, t = 1, 2, 3, \dots, n$
7.  $\sum_{j=1}^n X_{0jk} \leq 1, k = 1, 2, 3, \dots, K$
8.  $\sum_{l=1}^n X_{l0k} \leq 1, k = 1, 2, 3, \dots, K$
9.  $X_{ijk} = 0 \text{ or } 1, \forall i, j, k$
10.  $Y_{ik} = 0 \text{ or } 1, \forall i, k$

La restricción (3) describe que la demanda acumulativa de los clientes en una ruta no puede exceder el máximo de capacidad del vehículo, la (4) y (5) asegura que cada cliente es servido una sola vez. La restricción (6) verifica la continuidad de la ruta, la (7) y (8) indican que el vehículo no puede ser usado más de una vez, finalmente las restricciones (9) y (10) están asociadas a las variables de decisión.

**Etapas 3. Elaboración de la herramienta:** El método de solución a desarrollar en el trabajo se fundamenta en la metaheurística algoritmo de colonia artificial de abejas<sup>60</sup>, mejorado mediante la implementación de determinada operación propia de los algoritmos evolutivos. Con el propósito de ampliar la exploración de los

---

<sup>60</sup> BARRERA NAVARRO, Andrés Ricardo. HERNÁNDEZ GÓMEZ, Angie Paola. Proyecto de grado. Un algoritmo evolutivo para el problema de distribución de recursos post-desastres sísmicos en la ciudad de Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2016.

agentes (abejas) hacia nuevas zonas del espacio de búsqueda, se utiliza una estrategia de movimientos básicos de intercambio entre los arcos para explorar las soluciones generadas por las abejas.

**Fase1.** Generar una solución inicial. Puede ser de manera aleatoria o a través de algoritmos heurísticos, en el presente algoritmo la solución inicial se genera con la heurística del Vecino más cercano.

**Fase 2.** Construcción de nuevas soluciones mediante los operadores de vecindad.

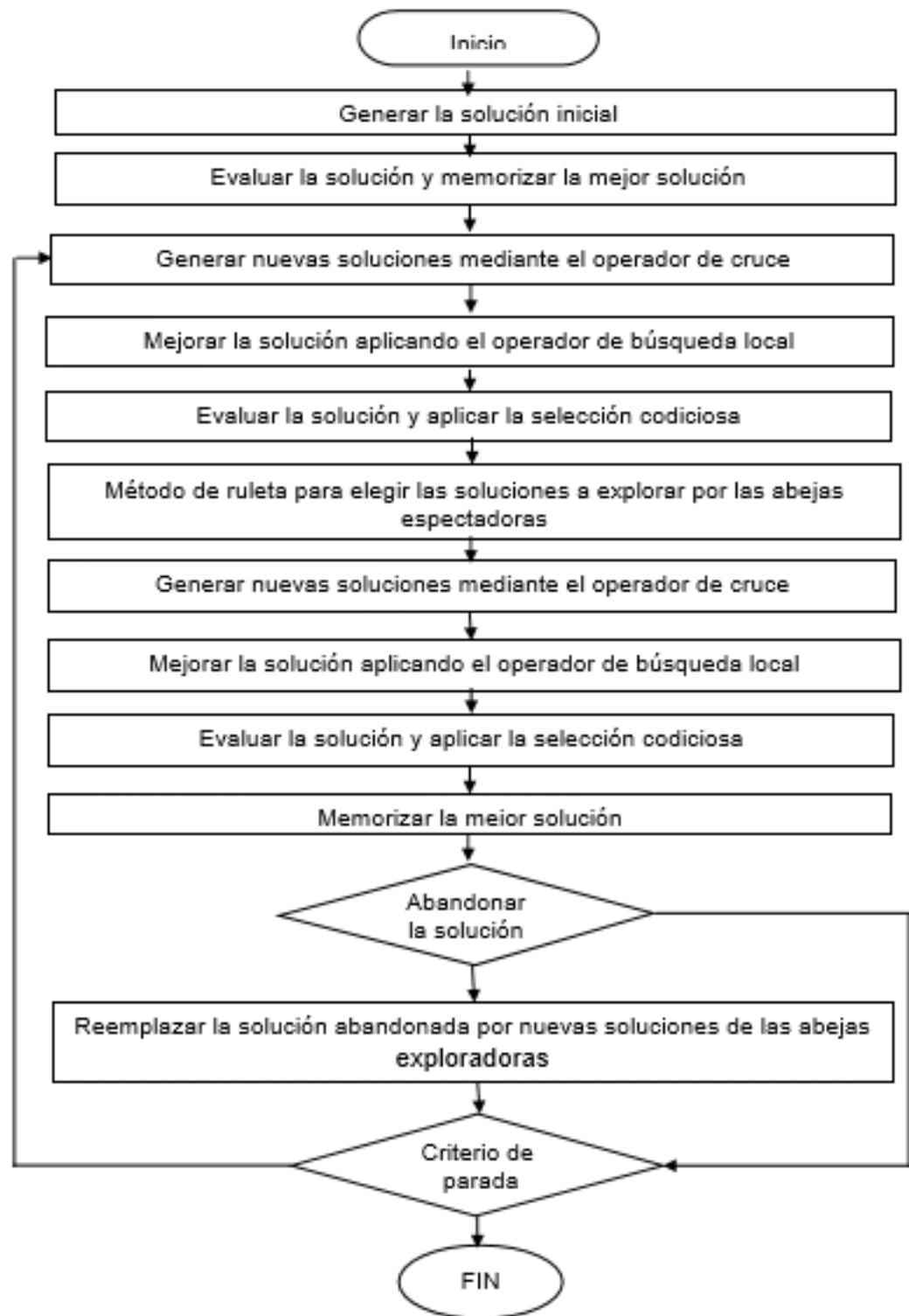
**Fase3.** Mejorar la solución aplicando operadores de búsqueda local

**Fase4.** Actualización de la mejora solución

**Fase5.** Acumular número de iteraciones

**Fase6.** Representación geo referenciada de las rutas para cada vehículo por medio de la API de Google Maps

Ilustración 17. Diagrama de flujo del ABC



Fuen

- ✓ **Heurística del vecino más cercano (Nearest Neighbor).** El algoritmo de del vecino más cercano fue introducido por primera vez por J. G. Skellam<sup>61</sup>, en el cual se usan la mitad de las distancias observadas para determinar si los datos están agrupados. El mayor trabajo hecho para este algoritmo, fue hecho por P. J. Clark y F. C. Evans en 1954<sup>62</sup>

Este algoritmo determina una solución basada en la cercanía de ubicación, para unir un conjunto de clientes distribuidos en el espacio. El algoritmo consiste en ir construyendo las rutas de forma secuencial, eligiendo como nodo siguiente, al nodo más cercano del nodo actual, iniciando desde el depósito. La inspección de la cercanía de los nodos, se hace de manera iterativa, y en cada paso, se examina la vecindad del nodo actual para la elección del nodo a insertar en la ruta.

En el caso del VRPTW se parte del depósito (cliente con demanda = 0) y se busca entre todos los clientes restantes el más cercano (menor distancia) a este depósito. Si alcanza a visitar el vecino más cercano lo atiende, de lo contrario debe atender la ventana de tiempo y luego busca el más cercano al último cliente encontrado y se va armando el tour de manera sucesiva hasta que se visiten todos los clientes. Además de tener en cuenta que se deben visitar todos los clientes, no se debe exceder la capacidad de los vehículos. Cuando se visita el último cliente se debe retomar al depósito donde se inició el tour.

A continuación se muestra en la *ilustración 18* el diagrama de flujo del funcionamiento del algoritmo del vecino más cercano y en la *ilustración 19* el funcionamiento del algoritmo VRPTW del proyecto de grado.

---

<sup>61</sup> SKELLAM, J.G. A new method for determining the type of distribution of plant individuals. En: *Annals of Botany*. 1954. Pag. 213-227.

<sup>62</sup> CLARK P. J. y EVANS. F. C. Distance to Nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. 1954. Pag. 445-453.

Ilustración 18. Diagrama de flujo del Vecino más cercano

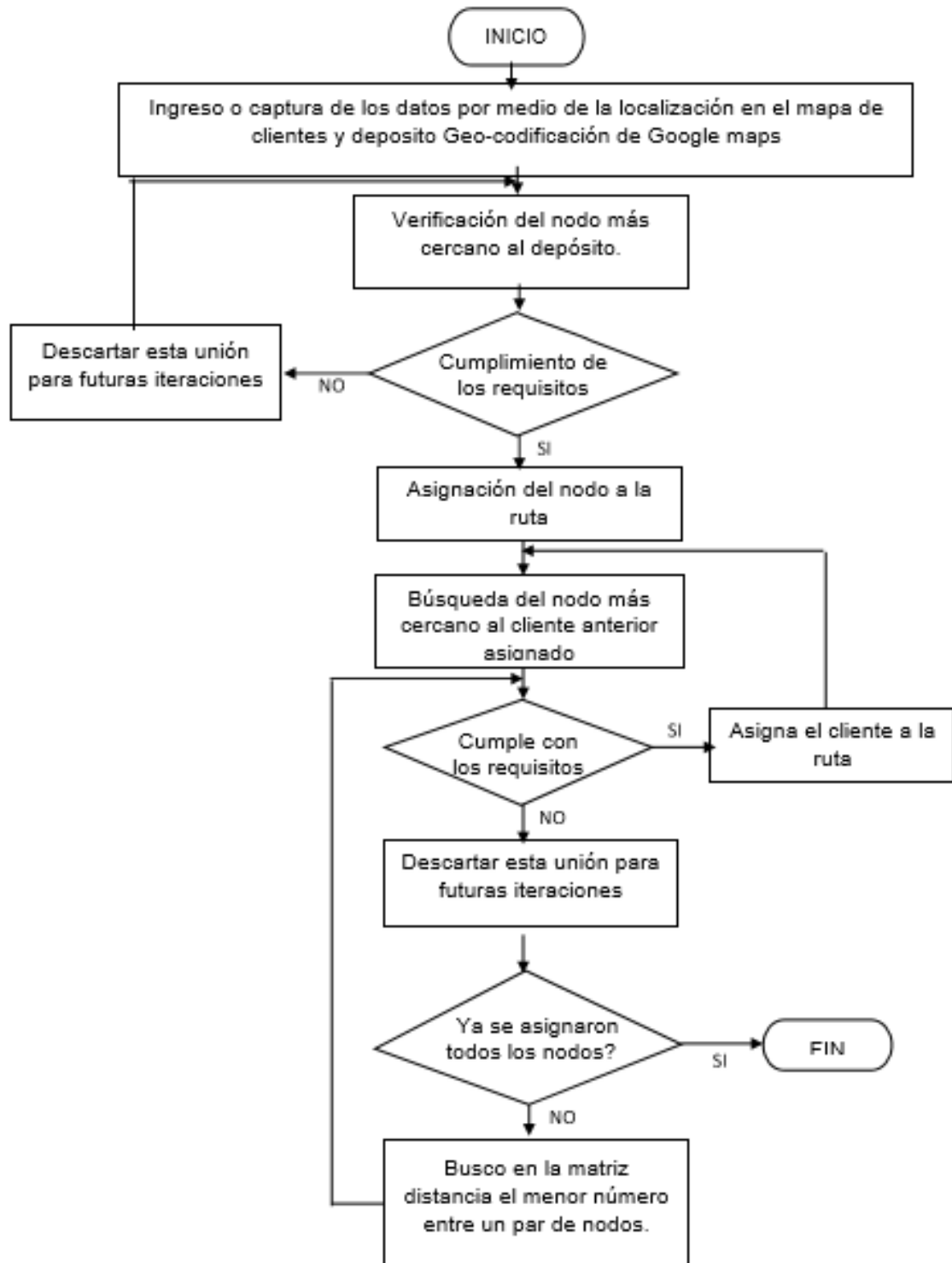
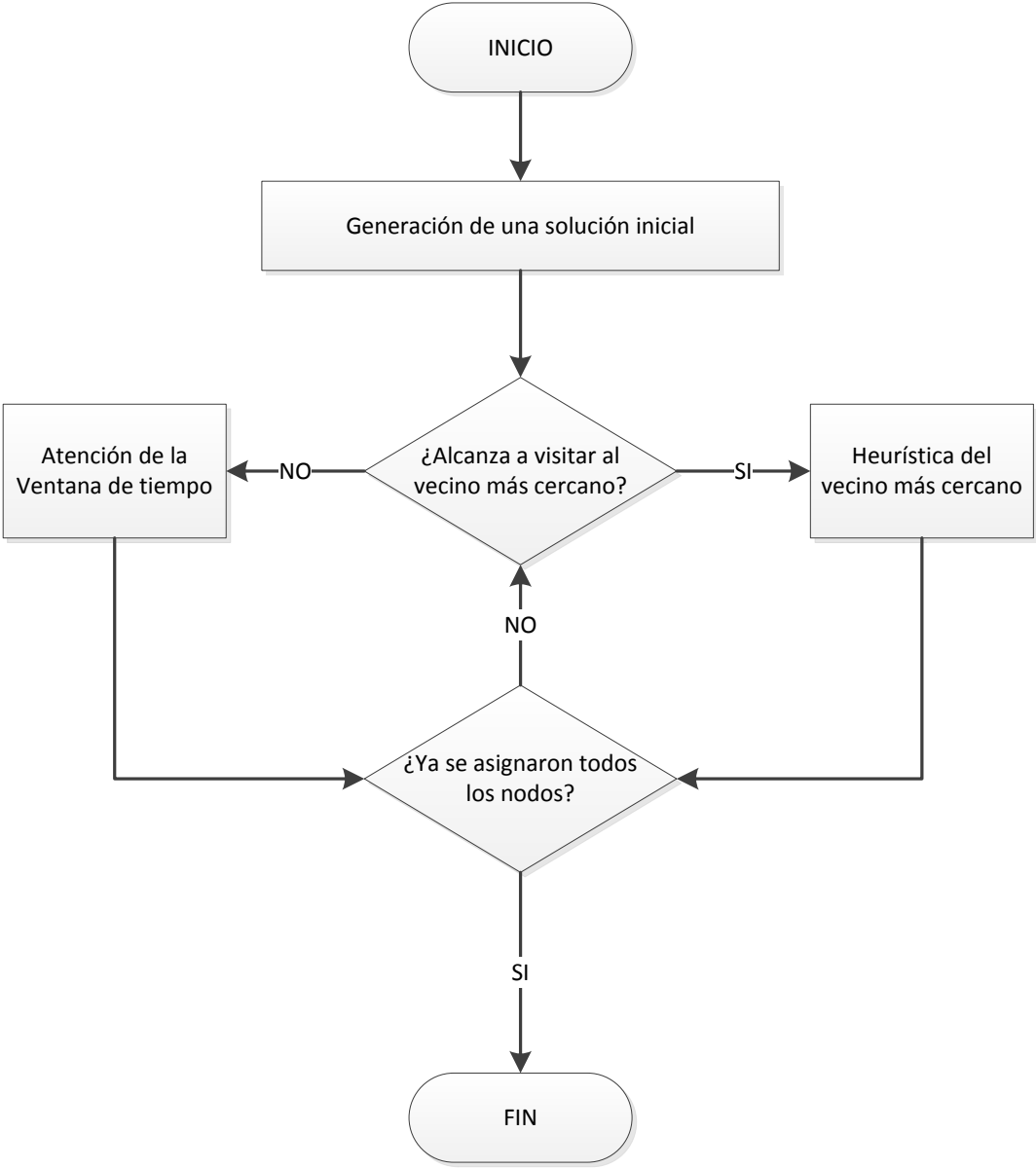


Ilustración 19. Diagrama de flujo del algoritmo VRPTW del proyecto de grado



Fuente: autora.

## ✓ Interfaces de la herramienta

El lenguaje de programación que se usó para probar la eficiencia del algoritmo fue Go (Código libre desarrollado por google) versión 1.5. Una de las características claves por la cuales se programó en Go, es la adaptabilidad del código a múltiples plataformas, en este caso se integró con Google Maps para lograr una interfaz gráfica del algoritmo colonial artificial de abejas.

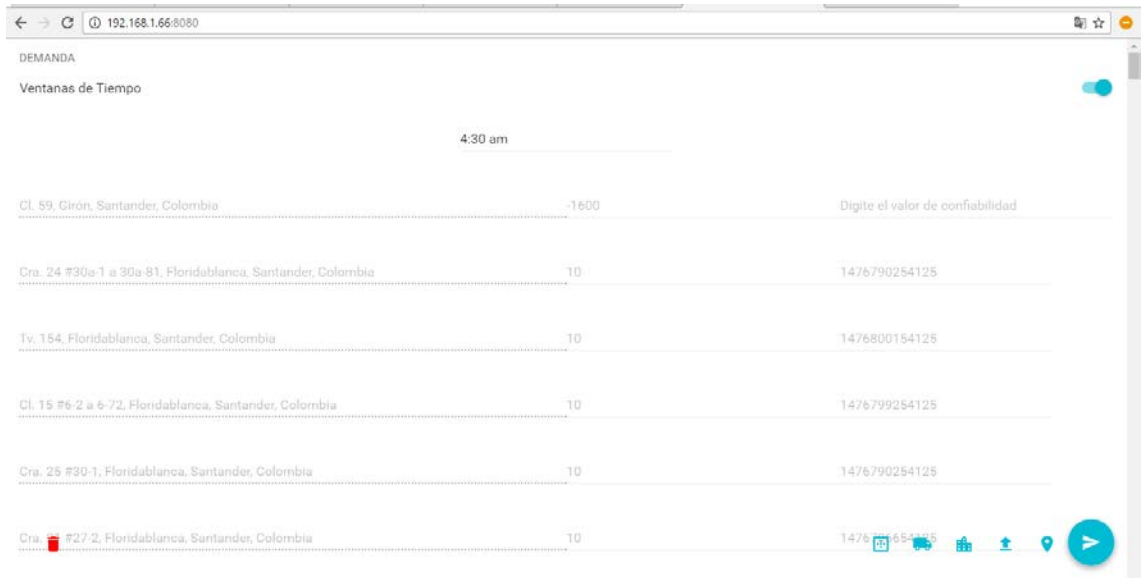
Esta programación se realiza enlazando paquetes. Un paquete a su vez, se construye a partir de uno o más archivos fuente que juntos declaran constantes, tipos, variables y funciones propias del paquete y que son accesibles en todos los archivos del mismo paquete. Estos elementos se pueden exportar y utilizar en otras interfaces. Go compila rápidamente a código máquina, es un lenguaje tipado estáticamente, compilado y por lo tanto rápido, que se siente como un lenguaje interpretado y tipado dinámicamente.

A la herramienta se puede acceder mediante el código IP: 192.168.1.66:8080. Cuando ya se cuentan con la ubicación de los clientes, estos se exportan mediante un archivo “.kml” que luego será cargado en la herramienta. Después de verificar en el código de programación y que no existan errores se extrae la matriz origen-destino del conjunto de clientes.

Seguidamente se debe ingresar la demanda de cada cliente junto con su respectiva ventana de tiempo. También la hora de salida del vehículo del CEDI.

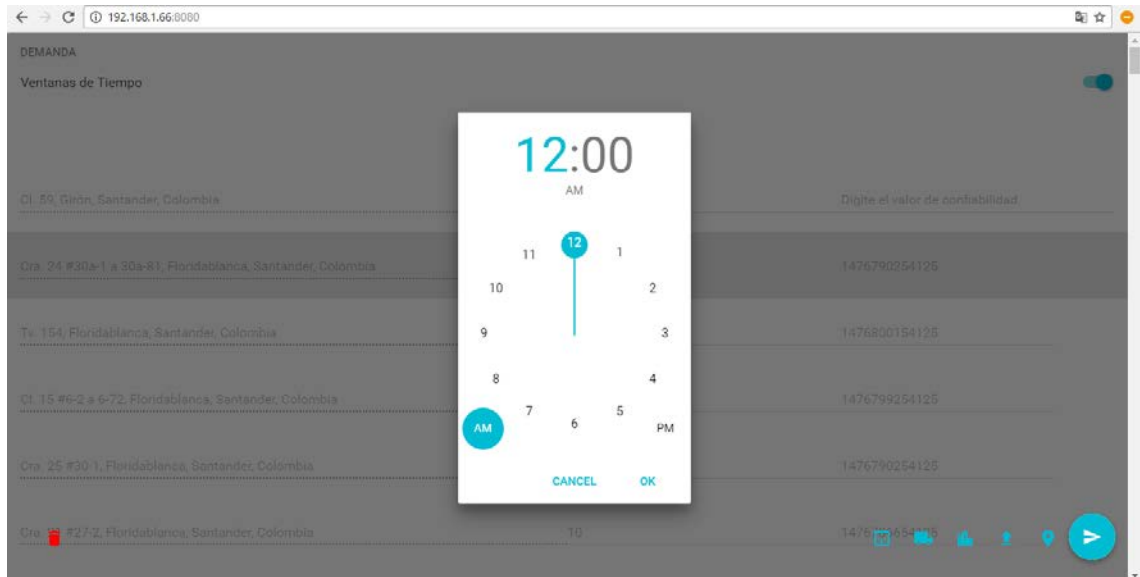
En la *ilustración 20* se visualiza la interfaz de la Demanda y en la *ilustración 21* la interfaz de la asignación de las ventanas de tiempo.

## Ilustración 20. Interfaz de Demanda



Fuente: autora.

## Ilustración 21. Interfaz de Ventanas de Tiempo

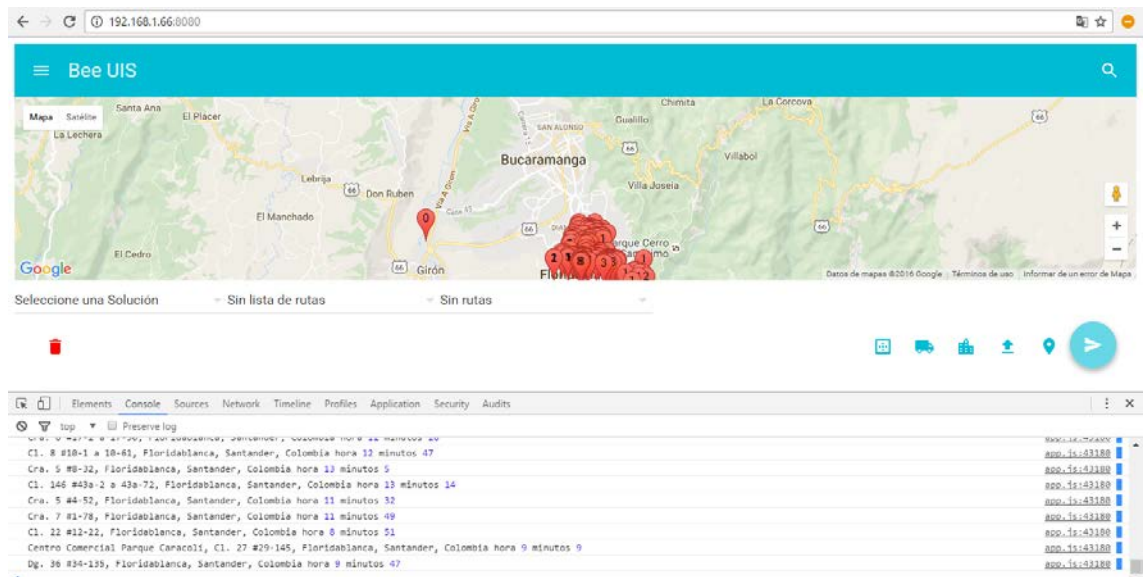


Fuente: autora.

Finalmente la herramienta arroja una solución con la hora en que será atendido cada cliente y el tiempo total de recorrido de la ruta. Este rutero es dado para todos los clientes de una ruta, es decir, se supone que todos los clientes de una ruta tienen una demanda para el mismo día. Como los clientes de una ruta no tienen una demanda diaria, para que la herramienta pueda arrojar una solución con los clientes de cada día, a los que no generen demanda se les coloca un valor de (0) y se corre nuevamente el programa.

En el ANEXO Lse encuentra el código de programación.

## Ilustración 22. Interfaz del rutero



Fuente: autora.

**Etap 4. Revisión y aprobación:** La revisión y validación del modelo se realizó con el Tutor del proyecto. Se planteó la implementación mediante una prueba piloto con información de los ruteros semanales de Octubre. Esta prueba piloto se aplicó únicamente a la ruta de LAGOS por restricciones en el manejo de la información y la protección de datos por parte de MAC POLLO. Además de la complejidad de implementar la herramienta para 3400 clientes con los cuales

cuenta la empresa, junto con su respectivo seguimiento y control. La ruta de lagos fue escogida por el Tutor, por presentar altos indicadores de devoluciones y desorganización en la secuencia del rutero.

**Etapa 5. Seguimiento y control:** En esta etapa se realizó una contante supervisión de la implementación del rutero mediante la comparación de indicadores presentados en el siguiente Numeral.

## 6.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN

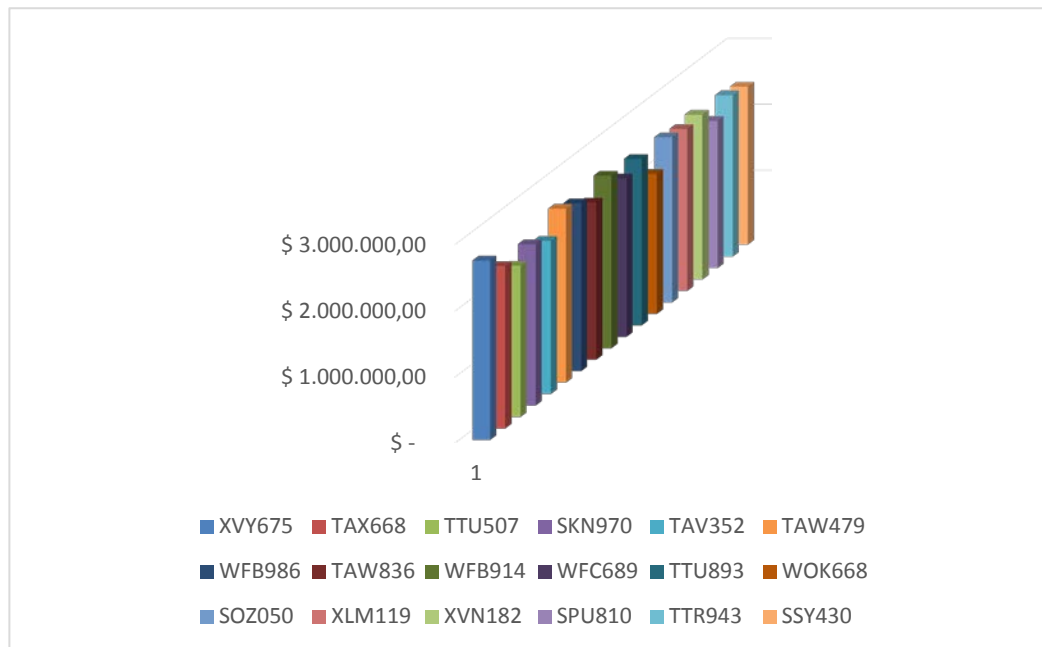
**6.2.1 Planificación del cargue.** Durante los días en los cuales se implementó la herramienta de planificación, se obtuvieron las siguientes liquidaciones para los vehículos según la cantidad de peso que le fue asignado para su distribución. Estas liquidaciones corresponden al primer corte del mes de octubre, del 29 de septiembre al 12 de oct.

**Tabla 8. Liquidaciones primer corte de octubre**

PLACA	LIQUIDACIONES	OBSERVACIÓN
XVY675	\$ 2.720.791,00	
TAX668	\$ 2.465.908,00	
WFB961	\$ 2.147.564,00	vehículo nuevo
TTU507	\$ 2.294.856,00	
SKN970	\$ 2.438.908,00	LUV (1.5 ton)
TAV352	\$ 2.316.092,00	LUV (1.5 ton)
TAW479	\$ 2.628.265,00	
WFB986	\$ 2.536.356,00	
TAW836	\$ 2.375.250,00	
WFB914	\$ 2.607.136,00	
WFC689	\$ 2.389.572,00	
TTU893	\$ 2.511.802,00	
WOK668	\$ 2.110.132,00	
SOZ050	\$ 2.491.367,00	
XLM119	\$ 2.443.644,00	
SOZ452	\$ 1.013.664,00	El vehículo estuvo varios días en taller
XVN182	\$ 2.485.717,00	
SPU810	\$ 2.216.398,00	
TTR943	\$ 2.431.156,00	
SSY430	\$ 2.389.836,00	

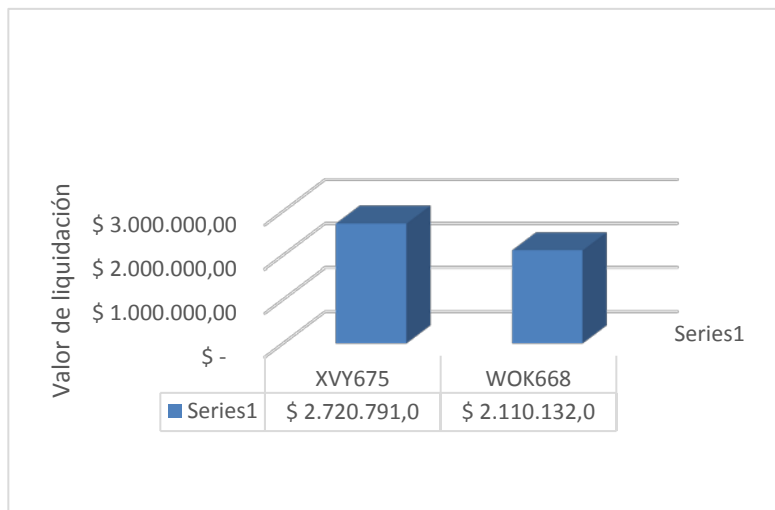
Al graficar los datos anteriores se puede observar que la demanda asignada para cada vehículo durante el primer corte el mes en el cual se usó la herramienta, tendió a ser equitativa. El ingreso máximo fue de \$2.720.791 y el mínimo fue de \$2.110.132 con una diferencia de \$610.659 entre ellos. La diferencia que había entre las liquidaciones pasó de \$1.500.000 aproximadamente a \$610.659, lo cual representa un avance en el proceso de planificación y en la equidad de liquidaciones para los conductores y auxiliares de ruta.

**Gráfica 2. Comparación de liquidaciones - Primer corte de octubre**



*Fuente: autora.*

**Gráfica 3. Máximo y Mínimo de liquidaciones**



*Fuente: autora.*

**6.2.2 Ruteos de Distribución.** Como se había mencionado anteriormente, junto con el Tutor del proyecto se tomó la decisión de realizar la prueba piloto en una ruta urbana por que representan indicadores de devoluciones significativos en la operación. Se tomó la ruta LAGOS porque presenta altos indicadores de devolución y también fue recomendada por los conductores por ser muy desorganizada y tener que recorrer grandes trayectos entre un cliente y otro. También cabe aclarar que pesar de que la operación contiene una flota heterogénea de vehículos, para la implementación del modelo se hizo la suposición de una flota homogénea de vehículos, para dar una solución inicial a un problema del ruteo de menor complejidad. También, porque para la ruta donde se realizó la implementación es una ruta que siempre maneja el mismo tipo de flota (NHR).

Esta implementación se realizó en base a información pasada de los clientes y sus entregas. Se presentaron inconvenientes con el suministro de la información solicitada de los planes de ventas diarios, los cuales se debían tener de antemano para saber con exactitud los clientes que saldrían cada día y en base a eso correr

la herramienta para que arrojara el rutero. De las entregas de días pasados, solo se tenía información de la hora exacta en que se realizaron las devoluciones y fue la información utilizada para hacer la comparación con el rutero real.

La efectividad del funcionamiento de los ruterios de distribución se puede analizar mediante los indicadores de devoluciones de la operación, que finalmente son los que le interesa disminuir a la empresa. La comparación del indicador de devolución de la ruta, con la de implementación del rutero durante la primera semana de Octubre se presenta en la siguiente *Tabla 10*.

**Tabla 9. Comparación de resultados de implementación del Rutero de Distribución en la ruta LAGOS**

Cliente	Tipo de devolución	Hora real de visita	Hora de visita con el rutero
Cra. 26 #30-1	Tarde	11:15am	9:28am
Cl. 29 #9-133	Tarde	10:48am	9:59am
Cl. 146 #22-256	Sin dinero	5:45am	6:44am
Cra. 13 #9-2	Cerrado	10:25	8:31am
Tv. 154 #157A-89	Cerrado	9:23	7:27am
Cl. 34 #8-37 a 8-135	Sin dinero	8:30	9:43am

Con la anterior información es posible concluir, que para las devoluciones causadas por haber llegado *tarde*, al implementar el nuevo rutero se hubiesen podido eliminar, debido a que la hora de entrega es mucho más temprano y se encuentra dentro de la ventana de tiempo. Para las devoluciones causadas porque

el cliente *no tenía dinero* también hubiesen podido ser evitadas al contemplar la ventana de tiempo del rutero un horario de entrega para el cliente mucho más tarde, dándole tiempo de producir el dinero en su negocio con la venta del día. Para las devoluciones causantes por encontrar el *punto de entrega cerrado* el algoritmo en sus resultados muestra que también hubiese podido atenderlo al llegar un poco más temprano y dentro de la ventana de tiempo.

Esta tabla podría ser utilizada para alimentar el indicador de “órdenes se servicio entregadas a tiempo” y de esta manera analizar las falencias del funcionamiento de la operación en relación al horario de cumplimiento del cliente.

Durante el tiempo de la implementación hubo otras devoluciones además de las mencionadas anteriormente, sin embargo, el tipo de novedad no tenía ningún tipo de relación con la implementación del rutero.

## 7 CONCLUSIONES

- ✓ Gracias a la elaboración del diagnóstico inicial de los procesos de la Operación de Distribución Urbana se pudieron identificar oportunidades de mejora para formular propuestas y posteriormente ser implementadas, obteniendo como resultado una mejor planificación de los procesos y ejecución de las actividades logísticas.
- ✓ Con la implementación de la herramienta para la asignación de vehículos a las rutas de distribución, mediante el uso de una jerarquía en el peso asignado según la demanda, se logró acercarse a una equidad mayor en la liquidación de fletes como resultado de este proceso.
- ✓ El sistema de indicadores diseñado permite hacer un seguimiento y control a nivel general de toda la operación y se utiliza como herramienta de gestión para estar en un mejoramiento constante e identificar falencias en los procesos.
- ✓ El uso de heurísticas y metaheurísticas para obtener soluciones eficientes en problemas de tipo combinatorio como el VRP es recomendable por su complejidad computacional.
- ✓ La construcción de la red de transporte para la distribución urbana de mercancías representa una herramienta importante en la toma de decisiones centrada en aumentar el índice de satisfacción del cliente.
- ✓ Con la implementación de herramientas de Georreferenciación a rúters de Distribución Urbana de mercancías se puede tener una visualización más clara del problema de rotación de vehículos, igualmente de su solución.

- ✓ Con la implementación del rutero al tener una promesa de entrega para el cliente se pueden disminuir notablemente los indicadores de devoluciones de mercancía cuya causa esté relacionada directamente con los tiempos de entrega.
  
- ✓ La aplicación del algoritmo de colonia artificial de abejas se constituye como una buena alternativa para solucionar problemas de optimización combinatoria.

## 8 RECOMENDACIONES

- ✓ Durante el diagnóstico se notó un cuello de botella en el proceso de carga y picking, causando altos tiempos de espera. Este proceso puede ser intervenido mediante la implementación de un proyecto que permita realizar cargas certificadas y de esta manera mejorar también la calidad del trabajo de los conductores y auxiliares de ruta.
- ✓ Se recomienda a la empresa realizar un piloto con el algoritmo en diferentes rutas a la vez y durante un tiempo más prolongado, para analizar los resultados computacionales, verificar el adecuado funcionamiento de este y generar soluciones más óptimas de programación.
- ✓ Se recomienda a la empresa hacer modificaciones al algoritmo base empleado en el proyecto para generar la solución que tenga en cuenta el tiempo de servicios de los clientes y que pueda realizar una distribución y asignación de todos los clientes de la empresa a las rutas.
- ✓ Se debe llevar un registro diario de la información de la herramienta de planificación, en especial de las demandas que varían de manera constante.
- ✓ Se recomienda a la empresa realizar un mejoramiento mucho más a fondo del proceso de planificación mediante el diseño de un algoritmo para la asignación de rutas a los vehículos teniendo en cuenta las restricciones de la operación.
- ✓ Para un mejor control en el manejo de la operación, se recomienda a la empresa apropiarse de las Tics para llevar un control de la trazabilidad

diaria de los pedidos y de esta manera poder obtener indicadores de gestión de una forma más rápida y en tiempo real.

## BIBLIOGRAFÍA

ALBA, Osbel. Logística: conceptualización y tendencias actuales.

Alcaldía de Bogotá. Decreto 3075 de 1997. [En Línea]  
<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=3337>>

ALVARENGAA, G.B., G.R. Mateusb, G. de Tomic. A genetic and set partitioning two-phase approach for the vehicle routing problem with time Windows. Federal University of Lavras, UFLA, Lavras Brazil.

ANTES, J., U. Derigs. 1995. "A new parallel tour construction algorithm for the vehicle routing problema with time Windows" working paper, Departament of Economics and Computer Science, University of Kôln, Germany.

BRAJEVIC, Ivona. Artificial bee Colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem. En: University of Belgrade. 2012.

BRÂYSY, O. 2001. "Local search and variable neighborhood search algorithms for the vehicle routing problema with time Windows". Doctoral dissertation, University of Vaasa, Finland.

BALSEIRO I.Loiseau, J.Ramonet. "An Ant Colony algorithm hybridized with insertion heuristics for the Time Dependent Vehicle Routing Problem with Time Windows" S.R., Graduate School of Business, Columbia University, USA Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

BALAKRISSHNAN, N. 1993. "Simple heuristics for the vehicle routeing problema with soft time Windows". J.Oper.Res.Soc. 44 279-287.

BRAMEL, J., D. Simchi-Levi. 1996. "Probabilistic analyses and practical algorithms for the vehicle routing problema with time Windows". Oper. Res. 44 501-509

BAKER, E.K., J. R. Schaffer. 1986. "Solution improvement heuristics for the vehicle routing and scheduling problema with time window constraints". *Amer.J.Math.Management Sci.* 6 261-300.

BAKARCIC Damián. DI PIAZZA Gabriela. Proyecto de grado doctoral. Ruteo de vehículos y asignación de conductores: un enfoque combinado. Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires. 2012.

BALLOU Ronald H. Logística: Administración de la cadena de suministro. 5ta edición. Pearson. 2011. P9

BARRERA NAVARRO, Andrés Ricardo. HERNÁNDEZ GÓMEZ, Angie Paola. Proyecto de grado. Un algoritmo evolutivo para el problema de distribución de recursos post-desastres sísmicos en la ciudad de Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2016.

BOUTHILLIERA, Alexandre Le. Teodor Gabriel Crainicb Departement d'informatique et de recherche operationelle and Centre de recherche sur les transports, Universite de Montreal, C.P. 6128, Succursale Centre-ville, Montreal, QC, Canada H3C 3J7.

BAYKASOGLU, A.; OZBAKIR, L.; TAPKAN, P. Artificial bee Colony algorithm and its application to generalized assignment problem. En: F.T. Chan and M. K. Tiwari, editors. 2007. Pag. 113-144.

CASEAU, Y., F. Laburthe. 1999. "Heuristics for large constrained vehicle routing problems". *J.Heuristics* 5 281-303.

CLARK P. J. y EVANS. F. C. Distance to Nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. 1954. Pag. 445-453.

CLARKE, G. y J.W. Wright (1964). "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points". *Operations Research* 12, 568-561.

CORDENE, R., R. Wolfler-Calvo. 2001. "A heuristic for the vehicle routing problem with time Windows". Journal of Heuristics 7 107-129.

FERNÁNDEZ CASTILLO Silvia Carolina. Proyecto de Grado. Establecimiento de un modelo de planeación estratégica y diseño de indicadores de gestión como instrumentos de dirección gerencial en el área comercial de la compañía avícola POLLOSAN. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2006.

FOISY, C., J.-Y. Potvin. 1993. "Implementing an insertion heuristic for vehicle routing on parallel hardware". Comput.Oper.Res. 20 737-745.

GHOSEIRIA, Keivan. Seyed Farid Ghannadpoura. "Multi-objetive vehicle routing problem with time Windows using goal programming and genetic algorithm".

DULLAERT, W. 2000. "Impact of relative route length on the choice of time insertion criteria for insertion heuristics for the vehicle routing problema with time Windows". B. Maurizio, ed. Proc. Rome Jubilee 2000.

HAMALAINEN, Wihemiina. Class NP, NP-complete, and NP-hard problems. [En línea]. (2006). Disponible en <http://cs.joensuu.fi/pages/whamalai/daa/npsession.pdf>

HAMACHER, A., C. Moll. 1996. "A new heuristic for vehicle routing with narrow time Windows". U. Derigs, W. Gaul, R. H. Mohring, K.-P. Schuster, eds. Oper.ResProc.1996. 301-306.

IOANNOU, C., J.-Y. Potvin. 1993. "Implementing an insertion heuristic for vehicle routing on parallel hardware". Comput.Oper.Res. 20 737-745

KARABOGA, D.; AKAY, B.; OZTURK, C. Artificial bee Colony (ABC) optimization algorithm for training feed-forward neurals networks. En: Springer.Verlag, Berlin Heidelberg. 2007. Pag. 318-329.

KOSKOSIDIS, Y. A., W. B. Powell, M. M. Solomon. 1992. "An optimization-based heuristic for vehicle routing and scheduling with soft time window constraints". *Transportation. Sci.* 26 69-85.

LINDHOLM, María y BEHRENDTS, Sonke. Challenges in urban freight transport planning-a review in the Baltic Sea región. En: *journal of transport geography*. 2012. Vol 22, p 129-136

LOZADA DIAZ Adriana. Solución del problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) mediante métodos heurísticos. Universidad Industrial de Santander. 2012. [En línea] disponible en <<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/5501/2/144179.pdf>>

MAO Chao, ZHOU Yan-ting. Optimizing Research of an Improved Simulated Annealing Algorithm to Soft Time Windows Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivery DENG Ai-min, Hunan University, Changsha 410082, China.

MÛLLER Juliane. Approximative solutions to the bicriterion Vehicle Routing Problem with Time Windows., Tampere University of Technology, Department of Mathematics, Korkeakoulunkatu 1, 33720 Tampere, Finland.

MARTÍNEZ CARRASCAL Natalia. Proyecto de Grado. Mejoramiento a los procesos de transporte del área de producción avícola en la zona oriente de PIMPOLLO S.A. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2007.

Ministerio de Transporte. Caracterización del transporte automotor de carga en Colombia 2010-2012. 2014 [En Línea] <[https://www.mintransporte.gov.co/Documentos/documentos\\_del\\_ministerio/Estadisticas](https://www.mintransporte.gov.co/Documentos/documentos_del_ministerio/Estadisticas)>

Ministerio de Transporte. Caracterización del transporte automotor de carga en Colombia 2010-2012. 2014 [En Línea]

<[https://www.mintransporte.gov.co/Documentos/documentos del ministerio/Estadisticas](https://www.mintransporte.gov.co/Documentos/documentos_del_ministerio/Estadisticas)>

MOLINA GÓMEZ, José Carlos. Problemas de optimización de rutas de vehículos con aspectos medioambientales. Universidad de Sevilla. 2013. [En línea] Disponible en [http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70512/fichero/Jose\\_Carlos\\_Molina\\_Gomez.-Trabajo+Final+de+Master.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70512/fichero/Jose_Carlos_Molina_Gomez.-Trabajo+Final+de+Master.pdf)

PEREZ, Mario y SANCHO, Fernando. Maquinas moleculares basadas en ADN. En: Universidad de Sevilla. España. 2003. Citado en: <http://goo.gl/TNprv>.

POTVIN, J.-Y., J.-M. Rousseau. 1993. "A parallel route building algorithm for the vehicle routing and scheduling problema with time Windows". Eur.J.Oper.Res. 66. 331-340.

POTVIN, J.-Y., J.-M. Rousseau. 1995. "An Exchange heuristic for routeing problems with time Windows". J.Oper.Res.Soc 46 1433-1446.

RUSSELL, R.A. 1995. "Hybrid heuristics for the vehicle routing problema with time Windows. Transportation" Sci.29 156-166.

SKELLAM, J.G. A new method for determining the type of distribution of plant individuals. En: Annals of Botany. 1954. Pag. 213-227.

SAVELSBERGH, M. W. P. 1986. "Local search in routing problems with time windows". Ann.Oper.Res. 4 285-305.

SHAW, P. 1998. "Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems". CP98, Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, New York, 417-431.

School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, 16846-13114, Iran. PP 5.

STOCK J; LAMBERT D. Capítulo II. Strategic Logistics Management. Irwin – Mc Graw Hill. 2001

SOLOMON Marius M. Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Windows Constraints. Operations Research, Vol. 35, No. 2 (1987), pp. 254-265. INFORMS

TAHA, Hamady. Investigación de Operaciones. 7ed. México: Pearson Education. 2004.

T.A Feo and M.G.C Resende. Greedy randomized adaptive search procedures. Journal of Global Optimization, 6:109 – 133, 1999

THOMPSON, P. M., H. N. Psaraftis. 1993. “Cyclic transfer algorithm for multivehicle routing and scheduling problems”. Oper.Res. 41 935-946.

TAILLARD, E.D. “Parallel iterative search methods for vehicle routing problems”. Networks, 23:661-673,1993. PP 5.

ULLOA MURCIA Joan Manuel. Proyecto de Grado. Estado del arte de los modelos de optimización en la logística urbana de mercancías. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2015.

Universidad ICESI. ¿Cómo escoger un operador logístico? [En Línea] <<http://www.icesi.edu.co/icecomex/images/Como%20escoger%20un%20Operador%20Logistico.pdf>>

Ubicación de los clientes usados en la prueba piloto [En Línea] <[https://www.google.com/maps/d/edit?hl=es-419&authuser=0&mid=1ei4y9RrLE-9iyA\\_978\\_WObo4KQ](https://www.google.com/maps/d/edit?hl=es-419&authuser=0&mid=1ei4y9RrLE-9iyA_978_WObo4KQ)>

VAN LANDEGHEM, H. R. G. 1988. “A bi-criteria heuristic for the vehicle routing problema with time Windows”. Eur.J.Oper.Res. 36 217-226.

ZHENGANG Y Linning. "Improved Multi-Agent System for the Vehicle Routing Problem with time windows". Hunan University, Changsha 410082, China

ZSETO, W; WU, Yonghong y HO, Sin. An artificial bee Colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem. En: European Journal of Operatinal Research. 2011. Vol. 215, p. 126-135.