

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**“MAGÍSTER EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE CON MENCIÓN EN  
MODELOS DE OPTIMIZACIÓN”**

**TEMA:**

Optimización de ruteo vehicular para una empresa distribuidora de colchones y accesorios de dormitorio mediante la aplicación de heurísticas

**AUTOR:**

**ROXANA PAOLA REYES RONQUILLO**

Guayaquil – Ecuador

2020

## Resumen

Uno de los principales retos para las empresas en el mundo actual es mantenerse en el mercado siendo competitivos y aportando a su crecimiento con herramientas tecnológicas que día a día permiten optimizar procesos y reducir costos. Es imprescindible llenar las expectativas del cliente con productos y servicios innovadores, que cubran estándares de calidad, y que lleguen al menor tiempo posible hasta el consumidor para mantener la fidelidad. Para alcanzar estos niveles las empresas cada vez reconocen la importancia de una buena gestión en el campo logístico.

En los procesos de distribución los problemas de ruteo vehicular son imprescindibles frente a la constante evolución que se desarrolla en las grandes ciudades para llegar de manera oportuna a un cliente y que incluyen la circulación del tráfico diario, restricciones en horarios asignados, disponibilidad de vehículos, procesos de aprovisionamiento en las organizaciones y porque no citar el impacto sobre el medio ambiente de la logística.

El presente proyecto se centra en optimizar las distancias recorridas para atender los pedidos de los diferentes clientes distribuidores y cadenas de tiendas de una empresa que distribuye productos del descanso desde su depósito en la ciudad de Guayaquil al costo óptimo de transportación, considerando frecuencias de ingresos de pedidos, salidas por zonas de los vehículos, capacidades, restricciones de horarios de circulación en las diferentes zonas que se visita y ventanas de tiempo para la recepción de pedidos.

Se desarrolla mediante el diseño de ruteo vehicular capacitado con ventanas de tiempo (CVRPTW), para una flota homogénea, aplicando métodos de optimización combinatoria, heurística mediante algoritmos matemáticos de ahorros Clarke & Wright para solucionar problemas de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo, con el principal objetivo de servir al cliente a tiempo en la entrega de sus productos y reducir costos de transportación.

Palabras claves: Optimización, ruteo vehicular, ventanas de tiempo, heurística.

## **Abstract**

*One of the main challenges for companies in today's world is to stay in the market by being competitive and contributing to its growth with technological tools that allow to optimize processes and reduce costs every day. It is essential to meet customer expectations with innovative products and services that meet quality standards, and that reach the consumer in the shortest possible time to maintain loyalty. To reach these levels, companies increasingly recognize the importance of good management in the logistics field.*

*In distribution processes vehicle routing problems are essential in view of the constant evolution that takes place in large cities to reach a customer in a timely manner, including daily traffic circulation, restrictions on assigned hours, vehicle availability, procurement processes in organizations, and why not cite the impact on the environment of logistics.*

*This project focuses on optimizing the distances traveled to meet the orders of the different distribution customers and chain stores of a company that distributes rest products from its warehouse in the city of Guayaquil at the optimal cost of transportation, considering income frequencies of orders, departures by zones of the vehicles, capacities, restrictions on movement hours in the different areas visited and time windows for receiving orders.*

*It is developed through the design of vehicle routing enabled with time windows (CVRPTW), for a homogeneous fleet, applying combinatorial, heuristic optimization methods through mathematical algorithms of savings Clarke & Wright to solve routing problems of vehicles with windows of time, with the main objective of serving the client on time in the delivery of their products and reducing transportation costs.*

*Keywords: Optimization, vehicular routing, time windows, heuristics.*

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a Dios por prestarme vida, sabiduría e impulsarme a tomar las mejores decisiones, mis padres Nelly e Hipólito por su voz de aliento en cada etapa para cumplir mis sueños, a Ángel por estar siempre junto a mi brindándome su apoyo incondicional.

Roxana Paola Reyes Ronquillo

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por guiar mi camino, acrecentar mi fe y perseverancia para alcanzar mis objetivos profesionales.

A mis padres Nelly e Hipólito, mi principal motor de vida, mi mayor inspiración, quienes a través de su apoyo me han impulsado a ser mejor persona cada día. No sin dejar atrás a mis hermanos Andrea y Vicente y mis familiares de quien recibí siempre una voz de aliento para cumplir mis objetivos.

A Ángel Jara, el mejor ejemplo de persistencia y esfuerzo, por enseñarme que todo ser humano es capaz de superar pruebas y retos que algunas veces parecen difíciles de alcanzar.

A mi gran amigo Benito Quimí (+) de quien llevaré sus palabras motivadoras.

A la ESPOL y mis compañeros de aula con quienes iniciamos este reto profesional y compartimos parte de nuestra vida.

A mi director de proyecto de titulación, Ph.D. Kleber Barcia, gracias por su tiempo y constante orientación siendo un excelente guía en el desarrollo de este proyecto.

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este proyecto de titulación me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del trabajo de titulación referido.



---

Roxana Reyes Ronquillo

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

Erwin Delgado Bravo, Ph.D.  
PRESIDENTE



---

Kleber Barcia Villacreses, Ph.D.  
DIRECTOR



---

Carlos Ronquillo Franco, Mgr.  
VOCAL 1



---

David De Santis Bermeo, M.Sc.  
VOCAL 2

## ABREVIATURAS

CVRP	Capacited Vehicle Routing Problem (problema de ruteo de vehículos con capacidad limitada).
CVRPTW	Capacited Vehicle Routing Problem with Time Windows (Problema de ruteo de vehículos con capacidad limitada y ventanas de tiempo).
TSP	Travelling Salesman Problem (Problema del agente viajero).
KPI	Key Performance Indicators (Indicador clave de desempeño).
B2B	Business-to-business.
MRP	Material Requierement Planning (Planificación de requerimientos de material).
ERP	Enterprise Resource Planning (Planeamiento de Recursos Empresariales).
SAP	Systeme Anwendungen und Produkte (Sistemas, aplicaciones y productos).
PLAC	Puntualidad. La primera impresión es la que cuenta. Asegúrese de llamar al cliente. Cuide la mercancía y su salud.
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos.
JSON	Java Script Object Notation
CDD-GYE	Centro de distribución Guayaquil

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>1. OBJETIVOS Y GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivo general .....	2
1.3 Objetivos específicos .....	2
1.4 Alcance del proyecto .....	2
1.5 La empresa .....	3
1.5.1 Situación actual .....	3
1.5.2 Canales y segmentación del mercado .....	4
1.5.3 Rutas que abastece en CDD-GYE.....	5
1.5.4 Productos que fabrica y comercializa.....	6
1.5.5 Proceso de distribución actual .....	7
1.6 Planteamiento del problema.....	8
1.6.1 Restricciones del problema.....	9
1.7 Justificación.....	9
1.8 Metodología .....	10
1.9 Estructura del proyecto .....	12
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
2.1 Investigaciones relacionadas al problema del ruteo vehicular (VRP).....	13
2.2 Introducción al problema del ruteo vehicular .....	15
2.3 Características del VRP .....	16
2.3.1 Clientes .....	16

2.3.2	Depósitos .....	17
2.3.3	Vehículos.....	17
2.4	Variantes del VRP .....	17
2.5	Definición del CVRPTW .....	20
2.6	El problema del agente viajero (TSP).....	20
2.7	El problema de los m agentes viajeros (M-TSP).....	21
2.8	Métodos de solución para los problemas de ruteo de vehículos.....	23
2.8.1	Heurísticas.....	24
2.8.2	Clasificación de métodos heurísticos .....	24
2.9	Heurísticas para el desarrollo del VRP.....	25
2.9.1	Métodos de ahorro Clarke & Wright.....	25
2.9.2	Método agrupar primero y rutear después .....	27
2.9.3	Método rutear primero y agrupar después .....	28
2.10	Extensiones de las heurísticas clásicas de ahorro .....	28
2.10.1	Método de ahorros de Solomon VRPTW .....	29
<b>CAPÍTULO 3</b>	.....	<b>32</b>
<b>3. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL MODELO</b>	.....	<b>32</b>
3.1	Proceso de implementación del modelo propuesto para la optimización ...	32
3.2	Estudio de la situación actual y parámetros a considerar en el modelo matemático.....	33
3.2.1	Flota vehicular .....	33
3.2.2	Gastos de transporte generado .....	34
3.2.3	Definición de ingresos de pedidos en el día.....	34
3.3	Descarga de datos de clientes y toma de coordenadas .....	35
3.4	KPI's de cumplimientos actuales .....	36
3.5	Breve análisis de ingreso de pedidos por rango de horas .....	39
3.6	Identificación de rango de horas para ejecución de nueva planificación....	41
3.7	Creación de archivo de base de datos para lectura software .....	42
3.8	Determinación de costos de transporte fijo y variable para el modelo a aplicar	42
3.9	Formulación del modelo matemático CVRPTW.....	45
3.9.1	Función objetivo y restricciones .....	46
3.10	Diseño del modelo matemático en el Software Wolfram Mathematica .....	47

3.11 Aplicación de la heurística de ahorros Clarke & Wright adaptado con ventanas de tiempo .....	48
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>56</b>
<b>4. RESULTADOS DEL CVRPTW.....</b>	<b>56</b>
4.1 Datos para aplicación del algoritmo de ahorros Clarke & Wright adaptado con ventanas de tiempo .....	56
4.2 Resultados de la heurística .....	57
4.3 Comparación de costos.....	68
4.4 Análisis de resultados de cumplimientos KPI's con modelo propuesto .....	70
4.5 Mejoras implementadas en los procesos subsiguientes al ruteo, para experiencia de servicio al cliente y sus resultados.....	72
4.6 Mejoras en el monitoreo para el planificador del CDD – GYE .....	75
4.7 Capacitación al personal de transporte para agregar valor a la mejora .....	79
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>80</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>80</b>
5.1 Conclusiones.....	80
5.2 Recomendaciones.....	81
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO A: FORMATO DE EVALUACIÓN DE PROVEEDORES DE TRANSPORTE EXTERNO.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO B: TARIFAS DE VIAJE POR DESTINO .....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXO C: GASTOS DE TRANSPORTE POR RUTAS DE MAYO A JULIO 2019 .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO D: COORDENADAS DE LOS CLIENTES (SE MUESTRA UN EJEMPLO DE LA BASE DE DATOS DE CLIENTES, MANEJADO POR CÓDIGOS).....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO E: ARCHIVO DE DATOS PARA MODELO EJECUTABLE EN WOLFRAM MATHEMATICA.....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO F: CÓDIGO WOLFRAM MATHEMATICA PARA CVRPTW .....</b>	<b>91</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Canales de distribución que cubre el CDD-GYE .....	4
Figura 1.2 Flujo del proceso general del CDD-GYE .....	8
Figura 1.3 Diagrama de flujo para el desarrollo del proyecto y diseño del modelo CVRPTW .....	11
Figura 2.1 Ilustración gráfica del VRP .....	16
Figura 2.2 Variantes del VRP y sus derivados .....	20
Figura 2.3 Diagrama de métodos de solución para VRP .....	23
Figura 2.4 Comportamiento de soluciones factibles generadas con técnicas heurísticas para F.O. ....	24
Figura 2.5 Construcción de subtours para heurística Clarke & Wright Eliminando aristas de los vértices i y j al vértice z e insertando aristas i y j .....	27
Figura 2.6 Diagrama de flujo para el algoritmo de ahorros Clarke & Wright adicionado con ventanas de tiempo.....	31
Figura 3.1 Situación actual de ingresos de pedidos por las diferentes opciones de ingreso en el día .....	35
Figura 3.2 Ubicación en maps de los 900 clientes distribuidores y cadenas de tiendas que registra la empresa.....	36
Figura 3.3 KPI entregas a tiempo clientes distribuidores y cadenas de tienda .....	37
Figura 3.4 Promedio de ocupación del vehículo en m <sup>3</sup> , mayo a julio 2019.....	38
Figura 3.5 Nivel de satisfacción de clientes distribuidores y cadenas mayo a julio 2019.....	39
Figura 3.6 Promedio de frecuencia de ingreso de pedidos por rangos de horas mayo 2019.....	40
Figura 3.7 Promedio de frecuencia de ingreso de pedidos por rangos de horas junio 2019.....	40
Figura 3.8 Promedio de frecuencia de ingreso de pedidos por rangos de horas julio 2019.....	41
Figura 4.1 Resultados de ruta 1 día 1 – corte 1 .....	61
Figura 4.2 Resultados de ruta 2 día 1 – corte 1 .....	62
Figura 4.3 Resultados de ruta 3 y 4 día 1 – corte 1.....	62
Figura 4.4 Resultados de ruta 5 día 1 – corte 1 .....	63
Figura 4.5 Resultados de ruta 4 día 1 – corte 2 .....	65

Figura 4.6 Resultados de ruta 2 día 1 – corte 3 .....	67
Figura 4.7 Resultados de ruta 4 día 1 – corte 3 .....	67
Figura 4.8 KPI entregas a tiempo 2019 – situación esperada – 2020 .....	70
Figura 4.9 KPI comparativo de ocupación del vehículo .....	71
Figura 4.10 Muestra capacidad de los camiones entre 27m <sup>3</sup> y 30m <sup>3</sup> con la mejora en el modelo cubriendo rutas del camino .....	71
Figura 4.11 Aplicación para el inicio de ruta del transportista.....	73
Figura 4.12 Notificación al cliente sobre aviso de llegada de su pedido .....	73
Figura 4.13 Notificación al cliente de productos entregados .....	74
Figura 4.14 Tablero de seguimiento de cumplimiento de entregas .....	75
Figura 4.15 Tablero de seguimiento de flota que visualiza el planificador .....	76
Figura 4.16 Tablero de seguimiento de km recorridos .....	76
Figura 4.17 Visualización de control de despachos y cumplimiento durante el día .....	77
Figura 4.18 Resumen de guías emitidas por vehículo.....	77
Figura 4.19 Resumen de horas de entrega de mayor demanda .....	78
Figura 4.20 Resumen de rutas por día, cantidad de clientes embarcados por vehículos en rutas.....	78
Figura 4.21 Capacitación a proveedores de transporte externo en diseño de ruteo y servicio de entregas al cliente .....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Rutas que abastece CDD-GYE .....	5
Tabla 1.2 Líneas y sublíneas de productos .....	6
Tabla 1.3 Actividades y tiempos del proceso de picking y despacho del pedido ....	7
Tabla 3.1 Características de vehículos de carga requeridas por la empresa de estudio .....	33
Tabla 3.2 Gastos generales de transportes de empresa de estudio.....	34
Tabla 3.3 Acuerdos de entrega a clientes .....	42
Tabla 3.4 Determinación de Costos Fijos y Variables a aplicar en modelo de ruteo con base en la flota contratada .....	44
Tabla 3.5 Conjunto de clientes con ingresos de pedidos del día 7 junio 2019 al segundo corte de planificación.....	50
Tabla 3.6 Cálculo de ahorros de distancias para pedidos de clientes del día 7 junio 2019 al segundo corte de planificación .....	51
Tabla 3.7 Matriz de ahorros para pedidos de clientes del día 7 junio 2019 al segundo corte de planificación .....	52
Tabla 3.8 Resultados del algoritmo para agrupación de clientes .....	53
Tabla 3.9 Resultados del caso real, simulación 82 correspondiente al 7 junio 2019 .....	54
Tabla 3.10 Vehículos asignados por el algoritmo al conjunto de clientes .....	55
Tabla 4.1 Ingreso de pedidos en el día 1 .....	58
Tabla 4.2 Tabla de coordenadas planificación del día 1 – corte 1 .....	59
Tabla 4.3 Matriz de distancias planificación del día 1 – corte 1 .....	59
Tabla 4.4 Matriz de ahorros generada planificación del día 1 – corte 1 .....	60
Tabla 4.5 Resultados de rutas reflejados en planificación del día 1 – corte 1 .....	60
Tabla 4.6 Corte de planificación del día 1 – corte 2 .....	63
Tabla 4.7 Resultados de ruta reflejados en la planificación del día 1 – corte 2 ....	64
Tabla 4.8 Corte de planificación del día 1 – corte 3 .....	66
Tabla 4.9 Resultados de rutas reflejados en la planificación del día 1 – corte 3...	66
Tabla 4.10 Promedio de ocupación de vehículo en el día .....	68
Tabla 4.11 Comparativo por gastos de transporte generados .....	69
Tabla 4.12 Comparación de tarifas actuales vs. Costos obtenidos del modelo para destinos frecuentes .....	69

# CAPÍTULO 1

## 1. OBJETIVOS Y GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

La distribución física de los bienes desde un depósito hasta sus diferentes canales que incluyen diversidad de puntos geográficos es un reto importante para las organizaciones que deben llegar a tiempo hasta el consumidor con el fin de dejar en él una experiencia de servicio, calidad y reconocimiento de marca.

El transporte es considerado como uno de los costos logísticos más representativos en las organizaciones. ¿Qué sería de las empresas sin el transporte primario y secundario? El transporte es el responsable de mover bienes de acuerdo con las necesidades de la organización en algunos escenarios sin considerar optimización de espacio, distancias recorridas y costos que incurren. Es aquí donde surgen los problemas de un correcto diseño de ruteo vehicular (VRP por sus siglas en idioma inglés Vehicle Routing Problem) para una entrega óptima.

Citando el campo de los problemas de optimización combinatoria, el problema de enrutamiento de vehículos (VRP) es uno de los más desafiantes. Definido hace más de 40 años, el problema consiste en diseñar el conjunto óptimo de rutas para flotas de vehículos con el fin de servir a un conjunto determinado de clientes.

El interés en el VRP está motivado por su relevancia práctica, así como por su considerable dificultad. Se emplea modelos matemáticos que abarcan algoritmos y métodos exactos como heurísticas y metaheurísticas desarrolladas para el VRP y algunas de sus variantes principales, enfatizando los problemas prácticos comunes al VRP (Toth & Vigo, 2014). Una adecuada planificación y programación de rutas, permite a una organización ser más eficiente y competitivo.

## **1.2 Objetivo general**

Diseñar un modelo de ruteo capacitado con ventanas de tiempo para una flota homogénea de acuerdo al ingreso de pedidos por zonas que permita la disminución en los tiempos de entrega desde el centro de distribución hasta el cliente, considerando capacidad del vehículo, restricciones de horarios, al costo óptimo de transportación para la empresa que fabrica y distribuye colchones y accesorios para dormitorios conocidos en la actualidad como “productos de la industria del descanso”, desde su depósito en la ciudad de Guayaquil.

## **1.3 Objetivos específicos**

- Revisar datos de los diferentes clientes, por zonas, horarios de ingreso, frecuencias de ingresos de pedidos y cantidades, aplicando un modelo y estableciendo rangos de horarios para entrega de sus pedidos a tiempo.
- Formular el modelo matemático para el CVRPTW (Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows), con las respectivas restricciones de capacidad, ventanas de tiempo y rutas recorridas optimizando tiempos de entrega, distancias a recorrer a un menor costo.
- Implementar un algoritmo de solución mediante métodos heurísticos para la atención del pedido del cliente en su punto de venta al menor tiempo posible.
- Demostrar la minimización de costos de transportación y maximización del servicio con el modelo obtenido.

## **1.4 Alcance del proyecto**

El proyecto está enfocado a la necesidad que tiene la empresa que fabrica productos del descanso siendo estos: colchones, camas, sofá camas, sábanas, almohadas, cobertores etc., que necesita distribuir sus productos oportunamente a distribuidores y clientes cadena de tiendas con una flota homogénea contratada desde su Centro de Distribución 2 ubicado en la ciudad de Guayaquil hacia las provincias de Guayas, Los Ríos, El Oro y Santa

Elena. Para el estudio se consideran datos de los meses mayo 2019 a julio 2019.

## **1.5 La empresa**

La empresa de estudio inicia sus operaciones en 1975 en la ciudad de Quito con la fabricación de productos para el descanso (colchones de espuma y resortes, almohadas, sofá, sábanas, cobertores). En el año 1976 apertura su planta en la ciudad de Guayaquil. Siendo pionera en su modelo de producción en Ecuador, obtiene en 1994 la Licencia de Restonic Mattress Corporation de los Estados Unidos, organización líder en tecnología para la fabricación de colchones; en el año 2003 recibe la Certificación ISO 9001:2000.

La estrategia constante de innovación, calidad, tecnología y servicio al cliente de la empresa desde sus inicios, la ubican en la actualidad como líder en lo que hoy se conoce como la industria de productos del descanso en el mercado ecuatoriano.

### **1.5.1 Situación actual**

La empresa cuenta con dos plantas en Quito y Guayaquil para la fabricación y distribución de sus productos a todo el país, maneja los dos tipos de transporte primario y secundario. Con el transporte primario la planta Quito abastece ciertos productos que no se fabrican en la planta de Guayaquil, y con el transporte secundario (flotas contratadas) realiza la distribución a las tiendas propias y a clientes de acuerdo con la regional más cercana, a medida que se van ingresando los pedidos, los cuales no tienen un horario establecido se va ejecutando las rutas en el sistema y preparando una lista de carga con entregas generadas hasta completar capacidad del camión.

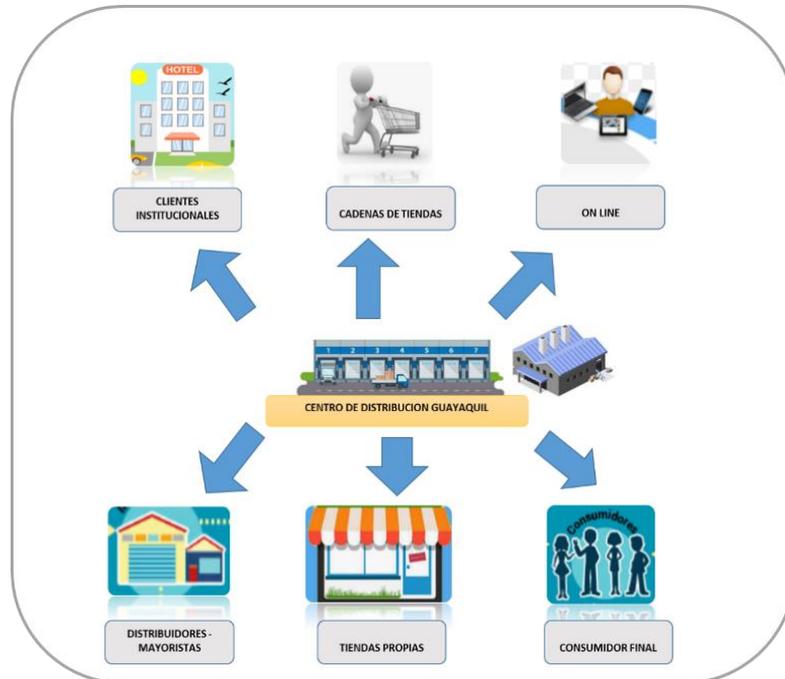
Existen dos planificadores de rutas, su trabajo está distribuido de la siguiente manera:

- Un planificador para clientes distribuidores y cadenas de tienda dentro de la ciudad de Guayaquil.
- Un planificador para clientes de provincias.

### 1.5.2 Canales y segmentación del mercado

La categorización de clientes en la empresa de estudio está dada por los diferentes canales que se muestran en la figura 1.1.

**Figura 1.1 Canales de distribución que cubre el CDD-GYE**



*Fuente: Elaboración propia, 2020*

### 1.5.3 Rutas que abastece en CDD-GYE

El Centro de Distribución de Guayaquil (CDD-GYE), cubre la demanda diaria de despachos en un promedio de 1500 unidades distribuidas a los diferentes canales y cubre las siguientes rutas, ver tabla 1.1.

**Tabla 1.1 Rutas que abastece CDD-GYE**

#	COD. RUTA	NOMBRE DE RUTA
1	GYE100	CDD GYE - NARANJAL
2	GYE103	CDD GYE - PONCE HENRIQUEZ
3	GYE105	CDD GYE - MACHALA
4	GYE106	CDD GYE - PASAJE
5	GYE107	CDD GYE - SANTA ROSA
6	GYE111	CDD GYE - HUAQUILLAS
7	GYE120	CDD GYE - PIÑAS
8	GYE121	CDD GYE - ZARUMA
9	GYE123	CDD GYE - ARCAPAMBA
10	GYE201	CDD GYE - MARCABELI
11	GYE202	CDD GYE - CATACOCHA
12	GYE204	CDD GYE - LOJA
13	GYE210	CDD GYE - ALAMOR
14	GYE221	CDD GYE - YANTZAZA
15	GYE300	CDD GYE - CUENCA
16	GYE400	CDD GYE - PROGRESO
17	GYE401	CDD GYE - PLAYAS
18	GYE411	CDD GYE - LIBERTAD
19	GYE412	CDD GYE - SALINAS
20	GYE413	CDD GYE - MONTAÑITA
21	GYE414	CDD GYE - PUERTO LOPEZ
22	GYE420	CDD GYE - MILAGRO
23	GYE423	CDD GYE - NARANJITO
24	GYE431	CDD GYE - TRIUNFO
25	GYE432	CDD GYE - TRONCAL
26	GYE440	CDD GYE - BUCAY
27	GYE450	CDD GYE - DURAN
28	GYE451	CDD GYE - ENTRE RIOS
29	GYE452	CDD GYE - SAMBORONDON
30	GYE462	CDD GYE - DAULE
31	GYE463	CDD GYE - SANTA LUCIA
32	GYE464	CDD GYE - JUJAN
33	GYE466	CDD GYE - BABAHOYO
34	GYE468	CDD GYE - SAN JUAN
35	GYE470	CDD GYE - VINCES
36	GYE472	CDD GYE - VENTANAS
37	GYE475	CDD GYE - EMPALME
38	GYE500	CDD GYE - QUEVEDO
39	GYE510	CDD GYE - BUENA FE
40	GYE520	CDD GYE - LA MANA
41	GYE530	CDD GYE - MONTALVO
42	GYE540	CDD GYE - CALUMA
43	GYE601	CDD GYE - PORTOVIEJO
44	GYE602	CDD GYE - MONTECRISTI
45	GYE603	CDD GYE - MANTA
46	GYE604	CDD GYE - SAN ISIDRO
47	GYE610	CDD GYE - CALDERON
48	GYE612	CDD GYE - CHONE
49	GYE700	CDD GYE - NORTE GYE
50	GYE701	CDD GYE - CENTRO GYE
51	GYE702	CDD GYE - SUR GYE
52	GYE703	CDD GYE - VÍA A LA COSTA

*Fuente: Empresas productos del descanso, 2020*

#### 1.5.4 Productos que fabrica y comercializa

La empresa fabrica productos y accesorios de dormitorio clasificados en diferentes líneas de colchones, bases, almohadas, protectores, complementos, sofá camas, muebles, camas de mascotas, colchones de bebé, planchas de espumas, los mismos que contienen sublíneas que se muestran en la tabla 1.2.

**Tabla 1.2 Líneas y sublíneas de productos**

LÍNEA	SUB-LÍNEA
COLCHONES	LINEA RESTONIC
	LINEA CHAIDE
	BED IN A BOX
BASES	BASES PARA COLCHONES
	BASES FUNCIONALES
ALMOHADAS	MEMORY FOAM
	SOFT
	LATEX
	ESPUMA
	KIT CON PROTECTOR
PROTECTORES	COLCHON
	ALMOHADAS
COMPLEMENTOS	SABANAS
	COBIJAS
SOFA CAMA	FOAM
	SPRING
	MALIBU
	MILANO
MUEBLES	CAMAS
	CABECEROS
	VELADORES
PET DREAMS	COLCHONES DE MASCOTAS
	SOFA PARA MASCOTAS
BABY CHAIDE	COLCHONES PARA CORRAL
	ALMOHADAS
	PROTECTORES
	ESPONJAS DE BAÑO
ESPUMAS	PLANCHAS
	ROLLOS
	COJINES

*Fuente: Elaboración propia, 2020*

### 1.5.5 Proceso de distribución actual

La planificación de las rutas es realizada mediante el sistema SAP, en medida que se ingresen los pedidos por las diferentes opciones como contact center, B2B o asesor.

El cliente puede realizar un pedido las veces que sean necesarias en el transcurso del día según sus requerimientos, pues la política de precios para distribuidores aplica por unidad y por monto de compra acumulable, los pedidos pasan un proceso de aprobación por el departamento de crédito, una vez activo el pedido el planificador de distribución puede visualizarlo y ejecuta la ruta asignada sin tener un horario específico e intuitivamente arma las listas de carga para la preparación del pedido (picking) y posterior embarque, aplicando su experiencia, considerando la capacidad de carga de los vehículos, y de acuerdo a su decisión de enviar o no, obviando restricciones de horarios de recepción por parte del cliente.

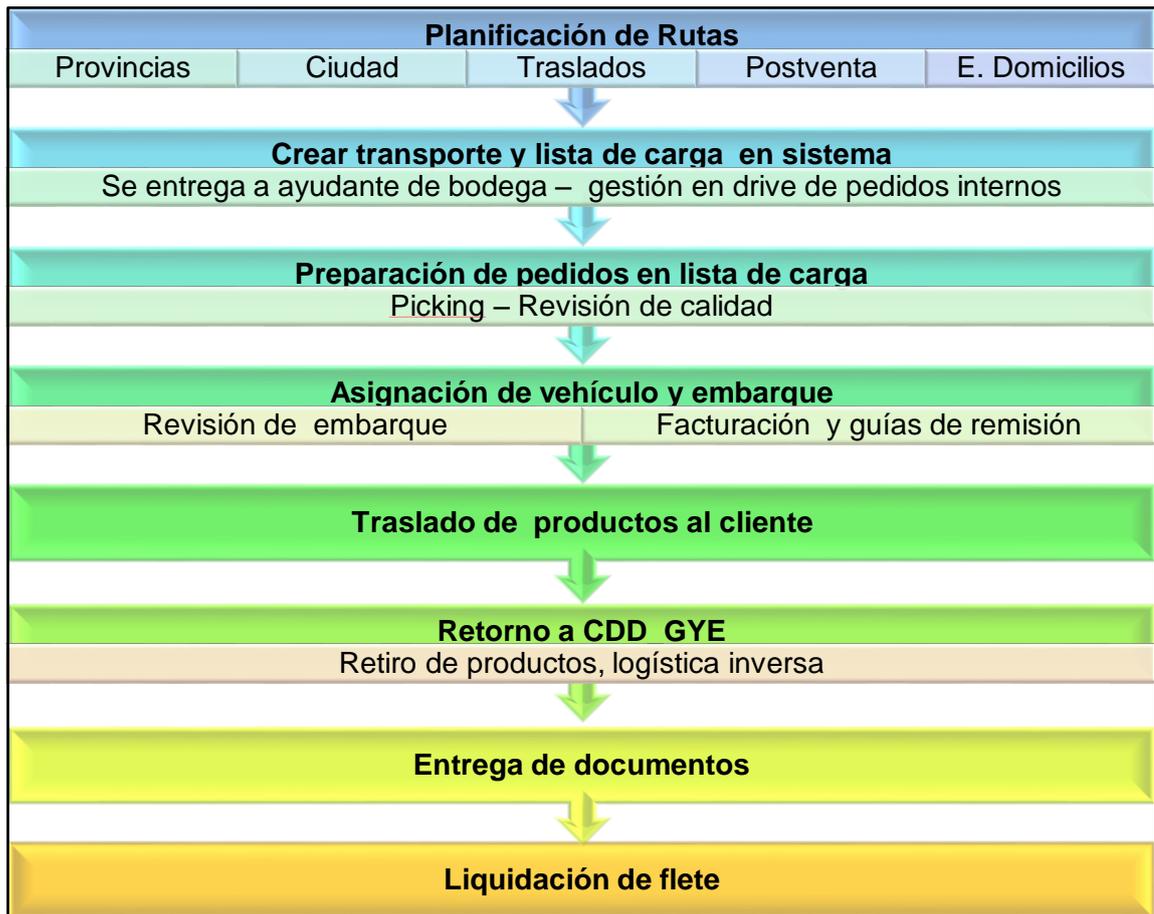
Las actividades del proceso a partir de la impresión de la lista de carga planificada están detalladas en la tabla 1.3 y la figura 1.2.

**Tabla 1.3 Actividades y tiempos del proceso de picking y despacho del pedido**

ACTIVIDADES	MINUTOS
Entrega a ayudante de bodega lista de carga para separar SKUs con las notas explicativas que se requieran	2
Separación del pedido y escaneo del código de barras para registrar en la entrega	45 a 60
Traslado de pedido en carretas o pallets al Andén de Carga, asignado	5
Registro en drive compartido con el planificador que el pedido está listo para su embarque	1
Se asigna vehículo para el embarque de acuerdo al turno y a ruta	1
Se carga el vehículo con la respectiva revisión de embarque del Chofer y ayudante de bodega (en este proceso el transportista define como cargar las prioridades según su experiencia)	20 a 40
Se procede a cerrar vehículo	3
Facturación, emisión de guías de Remisión y Guías de carga	4 a 10
Revisión y sello de documentos para verificación por parte del ayudante de bodega	3
Revisión en garita de salida de vehículos	3
Traslado hasta clientes	De acuerdo a distancia
Entrega de productos a cliente y firma de recepción de documentos	20
Retorno a CDD GYE	De acuerdo a distancia
Logística inversa en el caso de existir - Recepción en CDD GYE	5
Recepción de documentos firmados en CDD GYE y firma para el respectivo cobro del viaje	2

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Figura 1.2 Flujo del proceso general del CDD-GYE**



*Fuente: Elaboración propia, 2020*

## 1.6 Planteamiento del problema

En relación al proceso de distribución mencionado anteriormente, el cliente desconoce el tiempo en el que se va a entregar su producto, el cliente ingresa su pedido, pero si el mismo no alcanza la capacidad del vehículo que es en promedio 36 unidades de colchones o la suma de  $27 m^3$  a  $30 m^3$  se crea la incertidumbre de fecha y hora de entrega, pues se deberán ingresar más pedidos de la zona donde esté ubicado para proceder con la entrega.

Por otro lado, en el momento en el que se completó la capacidad del vehículo, se preparó el pedido y transporte salió en su recorrido hacia los diferentes destinos que conforman la ruta pueden presentarse problemas en el tiempo de recepción entre clientes, esto es debido a sus restricciones horarias.

El transportista al llegar a la dirección de entrega fuera de un horario de atención del cliente deberá esperar con incertidumbre minutos u horas hasta que le proceda a recibir, esto genera un desperdicio en el tiempo, debido a que se hubiere alcanzado a cubrir otra ruta con el mismo vehículo antes de embarcar al cliente que no recibe por el horario.

A esto se suma el proceso de salida de vehículos, sólo puede completarse una ruta si van al mismo destino, por ejemplo, un pedido que va con destino a Machala no puede completarse con otros clientes por ejemplo Durán, Milagro etc. Además, que los planificadores tienen dividido su trabajo por zonas y canal de clientes.

### **1.6.1 Restricciones del problema**

Las restricciones que intervienen en el proceso de distribución son:

- Cantidades ingresadas por rutas y capacidad en  $m^3$ , ubicaciones cercanas y frecuencias de pedidos semanales y mensuales por cada cliente.
- Disponibilidad de vehículos.
- Capacidad del vehículo.
- Costos de envío.
- Tiempo de servicio de entrega, protocolo de entrega al cliente.
- Visitar al cliente 1 sola vez en cada viaje, a excepción que el pedido sea mayor a la capacidad del vehículo  $27 m^3$  a  $30 m^3$ .
- Horarios de atención en determinados clientes.

### **1.7 Justificación**

Debido al proceso empírico de programar las rutas en base a la experiencia y sectorizada, se define como oportunidad de mejora, el uso de herramientas tecnológicas que permitan realizar un análisis de tiempos de ingresos de pedidos para luego establecer acuerdos de horarios de entregas al cliente, además de implementar una heurística de Clarke & Wright, para resolver el problema de ruteo y maximizar el servicio de entregas a tiempo que en la

actualidad se encuentra en 95.72%, el objetivo es alcanzar un 99% del KPI entregados a tiempo.

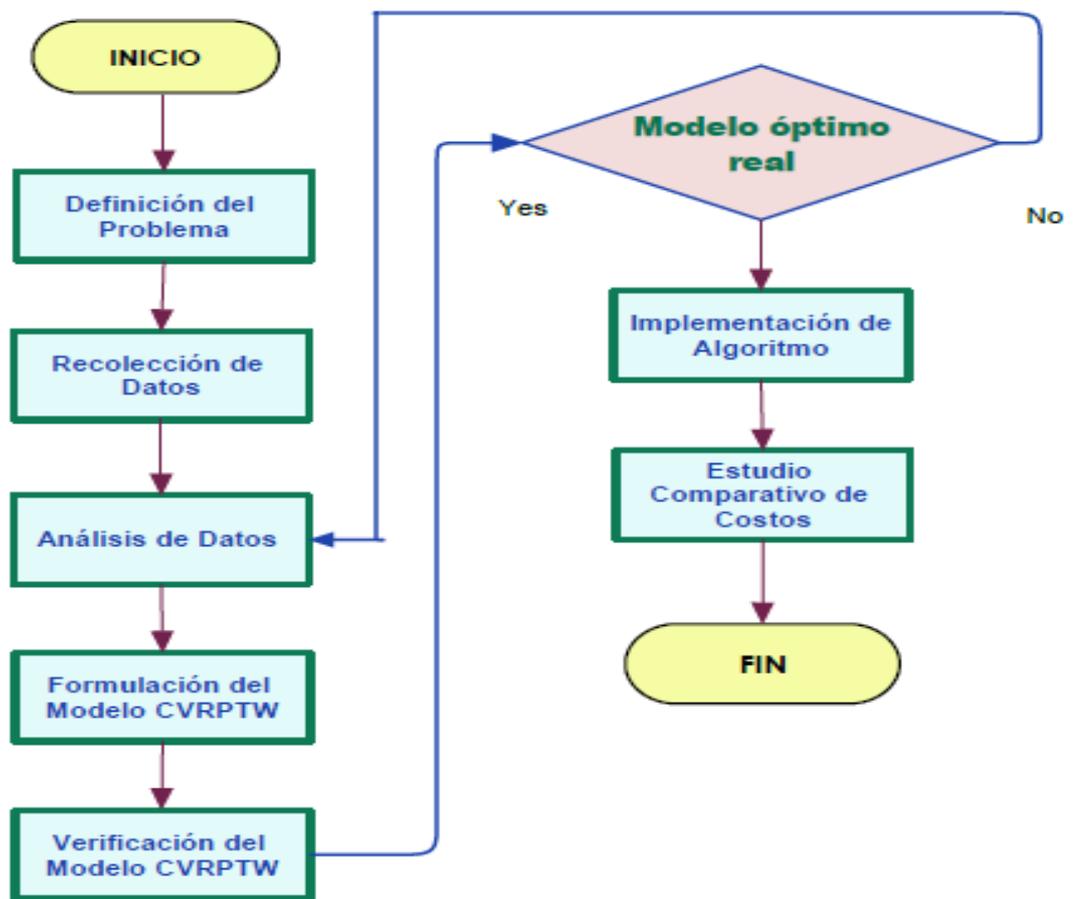
## **1.8 Metodología**

El presente trabajo se centra en la revisión y evaluación de la frecuencia de ingreso de pedidos por zonas para dar al cliente una fecha y horario estimado para la entrega de sus productos. Se realiza un breve análisis de horas de ingreso, frecuencias de salidas por zonas de los vehículos, capacidades, restricciones de horarios establecidos para la recepción de pedidos, rutas y distancias recorridas.

Para efectos de estudio del caso se revisa libros y publicaciones relacionadas al proceso con respecto a las entradas de pedidos y demás actividades vinculadas con el flujo del despacho y problemas VRP con sus variantes. Se aplican métodos de optimización combinatoria, heurística mediante algoritmos matemáticos de ahorros Clarke & Wright para solucionar problemas de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo.

Se efectúa un breve estudio comparativo de los costos que intervienen en el proceso de transportación actual en relación con los proyectados. En la figura 1.3 se aprecia el flujo de la metodología considerada para la elaboración de este proyecto.

Figura 1.3 Diagrama de flujo para el desarrollo del proyecto y diseño del modelo CVRPTW



Fuente: Elaboración propia, 2020

## **1.9 Estructura del proyecto**

El presente proyecto consta de 5 capítulos en el que se propone el diseño de un ruteo vehicular CVRPTW utilizando métodos de optimización combinatoria para dar solución al problema de distribución de una empresa de productos del descanso, aplicando heurísticas que presentan la solución óptima.

En el capítulo uno, se describe los antecedentes, se estudia brevemente la estructura de la empresa, los canales que atiende, productos, rutas y se define los objetivos a alcanzar; además, se realiza la presentación del problema y la metodología a seguir.

En el capítulo dos, se incluye la revisión del marco teórico, investigaciones relacionadas y se revisan conceptos del VRP sus variantes, los métodos aplicables heurísticos para la solución de problemas de ruteo con ventanas de tiempo.

En el capítulo tres, se profundiza el análisis de la situación actual, como son las frecuencias de ingresos de pedidos para las diferentes zonas, aprobación, procesos de distribución, disponibilidad de vehículos, capacidades, KPI's etc., costos actuales y se plantea el diseño del modelo matemático a aplicarse de acuerdo con la necesidad de la empresa.

En el capítulo cuatro se presenta el desarrollo del modelo matemático aplicado en el software y se muestra los resultados obtenidos, los mismos que se comparan con los KPI's mostrados en el capítulo tres. Se realiza un breve resumen de las mejoras agregadas luego de la implementación del modelo al término del presente trabajo.

El capítulo cinco emite las conclusiones y recomendaciones, los ahorros obtenidos en referencia a la solución óptima.

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Investigaciones relacionadas al problema del ruteo vehicular (VRP)

Transportar productos desde un depósito hasta los puntos de destinos considerando las variables de entregas a tiempo, costo óptimo, seguridad, calidad en servicio y capacidad, constituye una función importante para la gestión del transporte, los planificadores de rutas ejercen una labor operativa importante día a día diseñando cada ruta para atender la demanda diaria de distribución en las empresas. A esto se suma la revisión y análisis de datos mediante KPI's revisados constantemente.

Para resolver los problemas de enrutamiento existen métodos de optimización en base a modelos matemáticos comúnmente conocidos como VRP. Estos problemas presentan restricciones como, capacidad de vehículos, número de vehículos, entre otros y generalmente son difíciles de resolver exactamente ya que, en su mayoría pertenecen a la clase NP-Hard (Olivera, 2004).

El método de ahorros de Clarke & Wright es considerado en el texto de Ballou lo suficiente flexible para manejar un amplio rango de restricciones, capaz de formar rutas y ordenar paradas en las rutas simultáneamente siendo relativamente rápido de calcular y generar soluciones que están cerca de lo óptimo. Investigaciones han mostrado que la valoración del método Clarke & Wright genera soluciones que están, en promedio, a 2% del óptimo.

El objetivo del método de ahorros es minimizar la distancia total viajada por todos los vehículos y minimizar indirectamente el número de vehículos necesarios para atender todas las paradas. La lógica del método es empezar con un vehículo simulado que cubre cada parada y que regresa al depósito (Ballou, 2004).

En el texto "El problema de enrutamiento de vehículos: Últimos avances y nuevos desafíos" menciona al problema de enrutamiento de vehículos (VRP) como uno de los métodos combinatorios heurísticos y metaheurísticos más

estudiados en los últimos años, donde se busca el diseño óptimo de rutas y hace énfasis en los documentos de investigación dedicados a encontrar soluciones exactas a las variante del VRP, y ser utilizado por una flota de vehículos para servir a un conjunto de clientes (Golden, 2008).

El artículo “Estado del arte del problema de ruteo de vehículos con componentes estocásticos” presenta una revisión a la literatura del problema de ruteo de vehículos con componentes aleatorios SVRC (Stochastics Vehicle Routing Problem), este trabajo enfatiza una tipología especial, la cual presenta uno o múltiples parámetros de carácter probabilístico o estocástico. Se estudia las diferentes variantes del VRP.

Después de una búsqueda rigurosa en las bases de datos Science Direct y Google Scholar, utilizando una ventana de tiempo de los últimos diez años se determina que debido a la complejidad de su solución, son menos los resultados y aplicaciones que contemplan este tipo de formulaciones, con respecto a los problemas que presentan parámetros deterministas (González, González, & Becerra, 2015).

En la tesis “Formulación y solución del problema de ruteo vehicular capacitado con ventanas de tiempo (CVRPTW) mediante el uso del algoritmo de ahorros en una Empresa de Servicios de Telecomunicaciones” el autor presenta como problemática la distribución física de productos de telecomunicaciones y material publicitario que es de vital importancia para la estrategia de ventas a sus clientes distribuidores a nivel nacional, una vez analizada la problemática implementando el algoritmo de Clarke & Wright arma un conjunto de rutas que genera el mejor ahorro de tiempos y concluye que se puede obtener ahorros cercanos los 3 millones de dólares en la operación de la compañía del 9,33% para la Zona 1 y del 52,77% para la Zona 2 (Coque, 2015).

Según la tesis "Rediseño del proceso de ruteo y programación de vehículos en una empresa de manufactura", buscan reducir el costo de transporte a un 30% en sus clientes finales, y su diseño es mediante un modelo de ruteo y programación de vehículos usando Microsoft Excel en el Lenguaje de Programación de Visual Basic.

Dentro las conclusiones se manifiestan que a pesar de que existen diferentes tipos de variaciones de problemas de ruteo (VRP) ya establecidas, se puede definir una totalmente diferente a las ya existentes de acuerdo con las necesidades de la empresa con la aplicación del DSS propuesto (Guillen & Valdivieso, 2017).

En el presente capítulo se detalla las características, variantes y métodos de solución mayormente aplicados al VRP.

## **2.2 Introducción al problema del ruteo vehicular**

El problema de enrutamiento o ruteo vehicular (VRP, vehicle routing problem) surge a partir del año de 1959 y fue introducido por Dantzig y Ramser, quienes describieron una aplicación real de la entrega de gasolina a las estaciones de servicio y propusieron una formulación matemática, la cual surge como una generalización del problema clásico el agente viajero (TSP) en el que un vendedor tiene que recorrer una serie de clientes una sola vez, para luego volver al lugar de partida (Toth & Vigo, 2014).

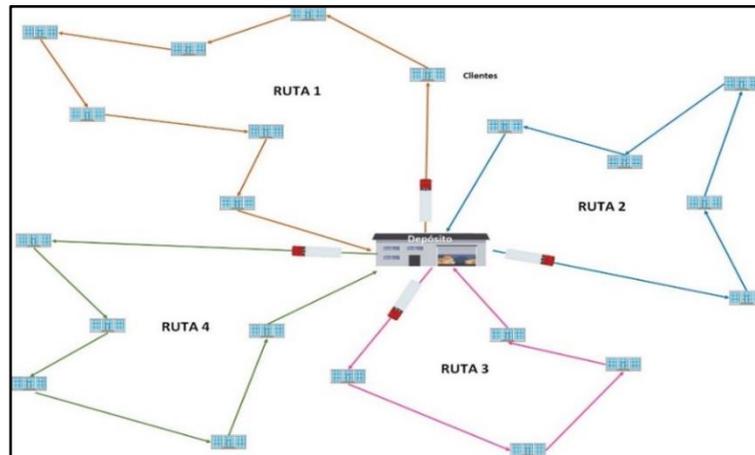
Cinco años más tarde, Clarke y Wright propusieron el primer algoritmo de ahorros que resultó efectivo para resolver el VRP, lo que inició grandes investigaciones buscando la solución óptima y encontrando aproximaciones válidas a la solución del VRP.

El problema de ruteo de vehículos (VRP) consiste en determinar un conjunto de rutas óptimas para que una flota de vehículos localizados en uno o varios depósitos atiendan a un conjunto de clientes distribuidos geográficamente (Olivera, 2004).

El objetivo principal del VRP es entregar bienes a este conjunto de clientes con demandas conocidas, al mínimo costo, encontrando las rutas óptimas que se originan y terminan en el referido depósito. Cada cliente es servido una sola vez y todos los clientes deben ser atendidos, para lo cual se los asigna a vehículos que llevarán la carga (demanda de los clientes que visitará) sin exceder su capacidad máxima de transporte (Hermosilla & Barán, 2001).

En la figura 2.1 se muestra el modelo clásico VRP:

**Figura 2.1 Ilustración gráfica del VRP**



*Fuente: Elaboración propia, 2020*

## 2.3 Características del VRP

El VRP contiene características diferentes en cuanto a depósitos, clientes, vehículos que son el eje principal para dar vida a este problema y se considera restricciones de capacidad de carga de los vehículos, distancia máxima recorrida por los vehículos, y respetando el horario de trabajo, todo ello con el fin de buscar el costo mínimo (Bustos & Jiménez, 2014).

Formalmente, se definen sobre un grafo completo  $G = (V, A)$ , con costos asociados a los arcos ( $A$ ) y donde los clientes representan los vértices ( $V$ ), siendo el vértice 1 el depósito o almacén donde se encuentran los vehículos de transporte y la mercancía (Benito, 2015).

### 2.3.1 Clientes

El cliente es quien genera la demanda del bien sea esta determinística o estocástica, la misma debe ser satisfecha por al menos un vehículo o los que sean necesarios de acuerdo con la solicitud de pedido tomando en consideración las restricciones de ventanas de tiempo en los que está permitido la recepción de su pedido, las restricciones de circulación en la ubicación en caso de haberlo, capacidades de almacenar según sea el producto.

### 2.3.2 Depósitos

Son los conocidos centros de distribución o abastecimiento donde se encuentran los bienes a distribuir y podrán existir uno o varios depósitos. Generalmente los vehículos deben iniciar y finalizar su ruta en el mismo depósito a menos que existan variantes de múltiples depósitos. Con frecuencia están ubicados en sitios estratégicos de acuerdo con la línea de negocio que se maneje y también se consideran ventanas de tiempo para la distribución o recepción, así como tiempos de carga de acuerdo con el diseño del depósito.

### 2.3.3 Vehículos

Son los medios para transportar los bienes, sea este entre depósitos, depósito al cliente o viceversa. Pueden clasificarse en flota homogénea (vehículos de igual capacidad), y flota heterogénea (vehículos con diferente capacidad, en cuanto a volumen, peso, medida) esto dependerá de las necesidades que tenga la empresa para trasladar sus productos.

Las restricciones que presentarán los vehículos están relacionadas usualmente con su circulación en vías y lugares de accesos de referencia a su capacidad.

## 2.4 Variantes del VRP

De acuerdo con las necesidades impuestas por la dinámica de los mercados, el VRP da lugar a las siguientes variantes:

- **VRPPD (*Vehicle Routing Problem with Pick-Up and Delivery*):** El objetivo del problema es encontrar una serie de rutas para un conjunto de vehículos con costo mínimo para suministrar servicio a los clientes de la manera más adecuada posible, que cumpla la restricción de que los vehículos tengan suficiente capacidad de transporte para los productos que deben ser recogidos y/o entregados a cada cliente (nodo). Se debe partir de un depósito y llegar al mismo depósito (Ballesteros & Escobar , 2016).

- **CVRP (*Capacited Vehicle Routing Problem*):** En esta variante se reconoce a flota de vehículos con capacidad de carga uniforme.
- **VRPTW (*Vehicle Routing Problem with Time Windows*):** El cliente debe ser visitado obligatoriamente en un período de tiempo u horario específico, llamado “ventana de tiempo”. Se identifican dos tipos de ventanas de tiempo.
  - **Ventanas de tiempo duras (VRPHTW):** El cliente debe ser visitado en el intervalo de tiempo específico.
  - **Ventanas de tiempo suaves (VRPSTW):** El cliente puede ser visitado fuera del intervalo de tiempo, pero esto puede generar una penalización, por ejemplo, un intervalo de espera mayor para la recepción o un turno adicional fuera de horario de recepción.
- **MDVRP (*Multiple Deposits Vehicle Routing Problem*):** La empresa dispone de dos o más depósitos desde donde el vehículo puede salir para abastecer a los clientes o ejecutar varias recolecciones en los diferentes depósitos.
- **VRP con flota heterogénea:** Es un problema muy común, donde los vehículos de la empresa tienen diferentes capacidades de carga.
- **Open VRP:** El ruteo es abierto, el vehículo sale del depósito o punto de origen y no regresa, se da el caso para las flotas rentadas que prestan servicios a varias empresas.
- **SVRP (*Stochastic Vehicle Routing Problem*):** Este problema de ruteo propone que las variables involucradas son desconocidas o aleatorias, e incluso que se pueden encontrar en un rango de probabilidad, tales como el número de clientes, sus demandas, tiempo de servicio, tiempo de viaje, entre otras. (Bustos & Jiménez, 2014). Entre los componentes de estas variantes se encuentran los siguientes casos:
  - **Clientes estocásticos (VRPSC):** Cada cliente del sector estará presente con probabilidad  $P$  y a la vez ausente con probabilidad  $1-p$ .

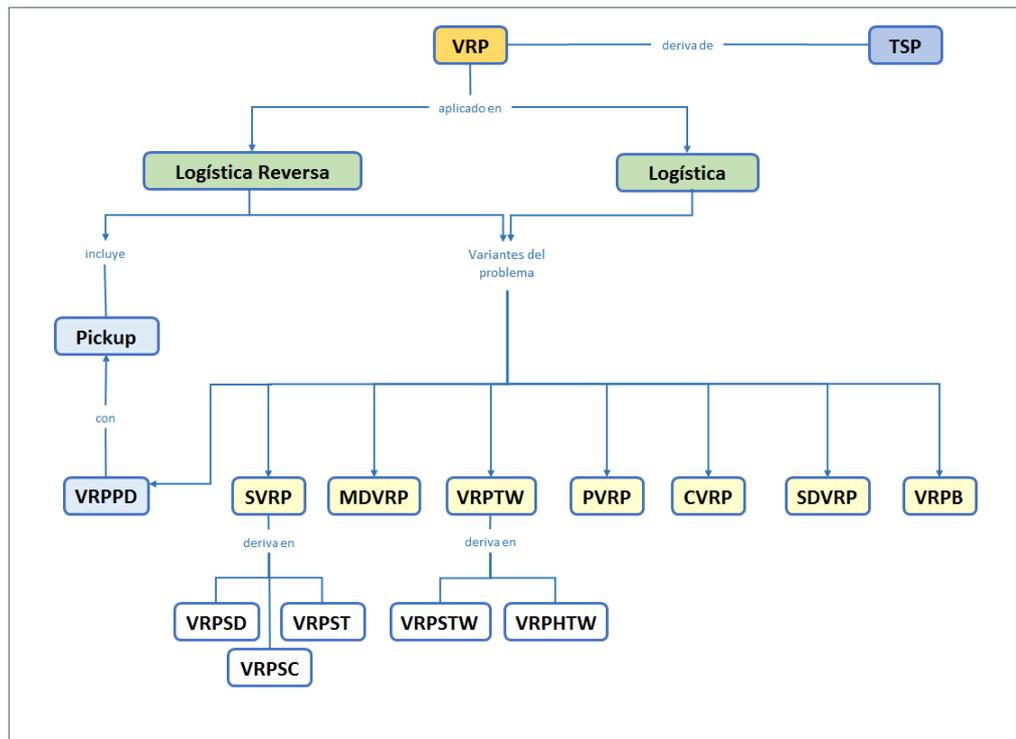
- **Demandas estocásticas (VRPSD):** La demanda del cliente representa una variable aleatoria.
- **Tiempos estocásticos (VRPST):** El tiempo de servicio y tiempo de viaje son variables aleatorias.

El objetivo del SVRP es minimizar la distancia recorrida del vehículo sin dejar de considerar que, por contener variables aleatorias, no es posible cumplir con todas las restricciones.

- **VRP multiobjetivo:** Consiste en la búsqueda de soluciones óptimas de ruteo considerando más de dos objetivos que deben ser cubiertos por la empresa y que al mismo tiempo son contradictorios y deben ser entrega y recogida (Bustos & Jiménez, 2014). Un ejemplo claro podría ser un transporte de industria láctea, recoge la leche en materia prima para llevar a planta procesadora y a la vez entrega productos lácteos ya procesados, la logística inversa es otro caso cuando el vehículo debe, retirar o recoger un producto de un cliente o un proveedor para su retorno a la planta.
- **PVRP (*Periodic Vehicle Routing Problem*):** El período de planificación de entregas de pedidos suele ser en días específicos, el objetivo es minimizar la flota y el tiempo de viaje de los clientes para su abastecimiento. Se cita como ejemplo las entregas de puntos retail, donde el vehículo visita en días específicos.
- **SVRDP (*Split Delivery Vehicle Routing Problem*):** En esta variante es eliminada la restricción de que cada cliente sea visitado una sola vez por un vehículo, es decir que puede ser visitado n cantidad de veces por varios vehículos. La demanda del cliente puede ser partida y atendida por varios vehículos.

En la figura 2.2 se muestra un flujograma de las principales variantes del VRP y sus derivaciones.

**Figura 2.2 Variantes del VRP y sus derivados**



Fuente: Elaboración propia, 2020

## 2.5 Definición del CVRPTW

El problema de (CVRPTW) determinará un conjunto de rutas, las mismas que contienen clientes que deben ser visitados por vehículos, teniendo en cuenta que la cantidad de mercancía a embarcarse no sobrepase la capacidad máxima del vehículo y a la vez pueda cumplir con las ventanas de tiempo que dispone para entregar dichos productos al cliente.

## 2.6 El problema del agente viajero (TSP)

El Problema del Agente Viajero (o TSP Travelling Salesman Problem) constituye la situación general y de partida para formular otros problemas combinatorios más complejos, aunque más prácticos, como el ruteo de vehículos y la programación de tareas dependientes del tiempo de alistamiento. El problema consiste en que se dispone de un solo vehículo que debe visitar a todos los clientes en una sola ruta y al costo mínimo. No suele haber un depósito (y si lo hubiera, no se distinguiría de los clientes), no hay demanda asociada a los clientes y tampoco hay restricciones temporales (Daza, Montoya, & Narducci, 2009).

Datos que debe contener el modelo:

$C_{ij}$  = Distancia (costo) de la ciudad  $i$  a la ciudad  $j$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si va de la ciudad } i \text{ a la ciudad } j \\ 0 & \text{si no va} \end{cases}$$

**Formulación del TSP:**

$$\text{Min } z = \sum_{(i,j) \in E} C_{ij} X_{ij} \quad (2.1)$$

s.a.

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (2.2)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (2.3)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta^+(j) \setminus S} X_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V \quad (2.4)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in E \quad (2.5)$$

**Función Objetivo:**

(2.1) Minimizar el costo de la suma de ir de la ciudad  $i$  a la ciudad  $j$ .

**Restricciones:**

(2.2) Se debe llegar a todas las ciudades una vez.

(2.3) Se debe salir de todas las ciudades una vez.

(2.4) Eliminación de sub-tours, indican que todo subconjunto de nodos  $S$  debe ser abandonado al menos una vez.

(2.5) Restricciones lógicas.

## 2.7 El problema de los $m$ agentes viajeros (M-TSP)

El problema de los  $m$  agentes viajeros o M-TSP es una generalización del TSP en la cual se tienen un depósito y  $m$  número de vehículos o agentes. El objetivo es construir exactamente  $m$  rutas, una para cada vehículo o agente, de modo que cada cliente sea visitado una vez por uno de los vehículos o

agentes. Cada ruta debe comenzar y terminar en el depósito y puede contener a lo sumo  $p$  clientes, esto se determina mediante la solución de BPP (Daza, Montoya, & Narducci, 2009).

Formulación del M-TSP:

$$\mathbf{Min} z = \sum_{(i,j) \in E} C_{ij} X_{ij} \quad (2.6)$$

s.a.

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} X_{0j} = m \quad \forall i \in V \quad (2.7)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (2.8)$$

$$\sum_{j \in \Delta^-(i)} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (2.9)$$

$$u_i - u_j + px_{ij} \leq p - 1 \quad \forall (i,j) \in E \neq 0, j \neq 0 \quad (2.10)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i,j) \in E \quad (2.11)$$

**Función Objetivo:**

(2.6) Minimizar el costo de la suma de ir de la ciudad  $i$  a la ciudad  $j$ .

**Restricciones:**

(2.7) Expresa que  $m$  vehículos salen del depósito.

(2.8), (2.9) Indican cada cliente es un nodo intermedio en exactamente una ruta.

(2.10) Eliminación de sub-tours, indican que en cada ruta no cubra más de  $p$  clientes.

(2.11) Restricciones lógicas.

## 2.8 Métodos de solución para los problemas de ruteo de vehículos

Para la solución de problemas VRP y sus variantes se aplican métodos de programación entera y optimización combinatoria, uno de los rasgos de este problema es la complejidad de los mismos para obtener soluciones óptimas en tiempo polinomial por lo que requiere el desarrollo de algoritmos y aplicación de técnicas para encontrar la solución cercana a la óptima (Daza, Montoya, & Narducci, 2009).

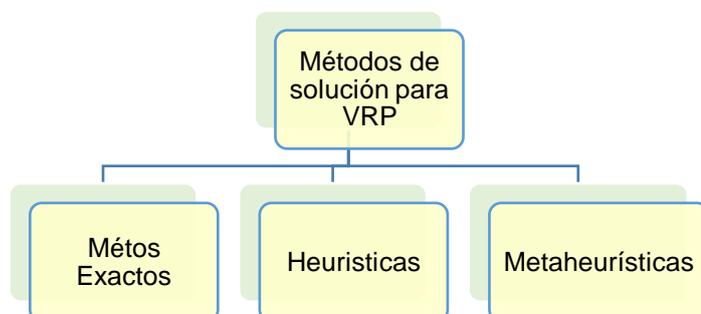
En un caso el tiempo de cálculo para el VRP es el número de rutas factibles que debe considerarse es  $(n - 1)! / 2$ , puesto que hay  $(n - 1)$  posibilidades para la primera ciudad después de la ciudad de residencia del agente,  $(n - 2)$  posibilidades para la siguiente ciudad y así sucesivamente. El denominador 2 surge porque cada ruta presenta una ruta inversa equivalente con la misma distancia (TSP simétrico). Así, mientras un TSP con 10 ciudades tiene no menos de 200.000 soluciones factibles que deben ser consideradas.

Dichas técnicas en su artículo (Daza, Montoya, & Narducci, 2009) las detallan de la siguiente manera:

- Técnicas de optimización convencional (Heurísticas).
- Técnicas de optimización local inteligente (Metaheurísticas).

En la figura 2.3 se aprecia un resumen de los métodos de solución mayormente aplicados:

**Figura 2.3 Diagrama de métodos de solución para VRP**



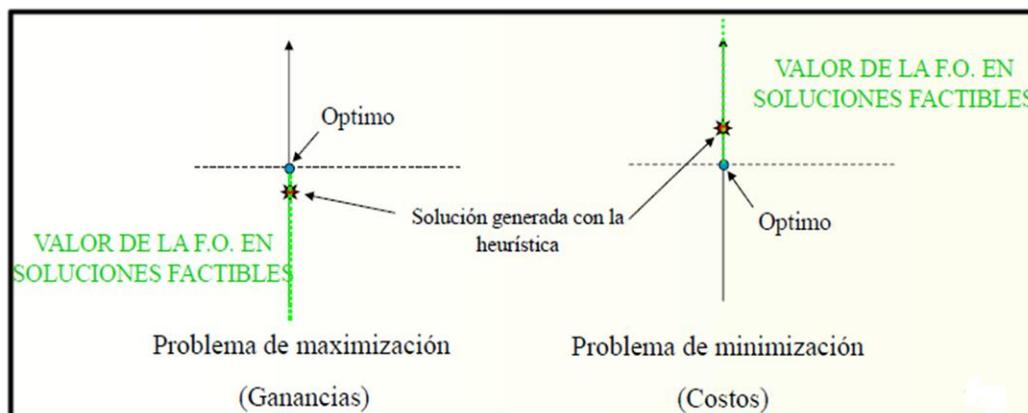
*Fuente: Elaboración propia, 2020*

### 2.8.1 Heurísticas

Los métodos heurísticos producen en un número finito o limitado de iteraciones una solución factible y en tiempos de cálculo razonables, pero no garantizan la optimalidad de la solución encontrada, ni una desviación mínima fijada con respecto al óptimo. Existen muchos métodos heurísticos de naturaleza muy diferente, por lo que es complicado dar una clasificación completa. Además, muchos de ellos han sido diseñados para un problema específico sin posibilidad de generalización o aplicación a otros problemas similares (Sandoya, 2015).

En la figura 2.4 se aprecian las soluciones generadas por métodos heurísticos graficados, versus la optimalidad del problema.

**Figura 2.4 Comportamiento de soluciones factibles generadas con técnicas heurísticas para F.O.**



*Fuente: Sandoya, 2015*

### 2.8.2 Clasificación de métodos heurísticos

En la publicación (Sandoya, 2015), detalla los métodos heurísticos más conocidos:

- **Métodos de descomposición:** El problema original es descompuesto en subproblemas más sencillos de resolver, y se debe tener presente, de manera general, que estos pertenecen al mismo problema.
- **Métodos inductivos:** El objetivo es generalizar de versiones pequeñas o más sencillas al caso completo.

- **Métodos de reducción:** En estos métodos se pretende identificar las propiedades que mayoritariamente considera las buenas soluciones e introducirlas como restricciones en el problema. El objetivo es identificar mejores soluciones y simplificar el problema, pero se toma el riesgo de omitir buenas soluciones e incluso la optimalidad del problema original.
- **Métodos constructivos:** Construyen literalmente paso a paso la solución del problema, en cada iteración va incorporando un nuevo elemento a la solución. Usualmente son métodos deterministas.
- **Métodos de búsqueda local:** Comienzan con una solución del problema y van mejorándose progresivamente. El procedimiento realiza en cada paso un movimiento de una solución a otra con mejor valor. El método ha finalizado cuando para una solución, no existan ninguna solución que la mejore.
- **Métodos metaheurísticos:** Su propósito es obtener mejores resultados que los alcanzados por los heurísticos tradicionales. El término metaheurístico fue introducido por Fred Glover en 1986 (Glover & Laguna, 1997).

## 2.9 Heurísticas para el desarrollo del VRP

### 2.9.1 Métodos de ahorro Clarke & Wright

El método de ahorros de Clarke & Wright, es una de las técnicas más aplicadas para resolver VRP mediante métodos heurísticos constructivos, inicialmente cada cliente es visitado por un vehículo, por lo tanto, existirán tantos vehículos como clientes. Luego, de acuerdo con la capacidad del vehículo, se determina si este puede visitar un segundo nodo cercano al primero, si la visita es posible, entonces se constituye un ahorro de un viaje o distancia. Se va realizando este análisis hasta completar la capacidad del vehículo y la totalidad de los arcos estén cubiertos.

El objetivo del método de ahorros es minimizar la distancia total viajada por todos los vehículos y minimizar indirectamente el número de vehículos necesarios para atender todas las paradas. La lógica del método es empezar

con un vehículo simulado que cubre cada parada y que regresa al depósito (Ballou, 2004).

El algoritmo siguiente se basa en combinar sucesivamente subtours hasta obtener un ciclo Hamiltoniano. Los subtours considerados tienen un vértice común llamado base.

El procedimiento de unión de subtours se basa en eliminar las aristas que conectan dos vértices de diferentes subtours con el vértice base, uniendo posteriormente los vértices entre sí. Se llama ahorro a la diferencia del costo entre las aristas eliminadas y la añadida.

La construcción del algoritmo de ahorros Clarke & Wright está dado por los siguientes pasos:

**Paso 1 Inicialización.** - Para cada cliente  $i$  construir la ruta  $(1, i, 1)$ . Se elabora matriz de distancias.

**Paso 2 Cálculo de ahorros.** - Calcular  $S_{ij}$  para cada par de clientes  $i$  y  $j$ .

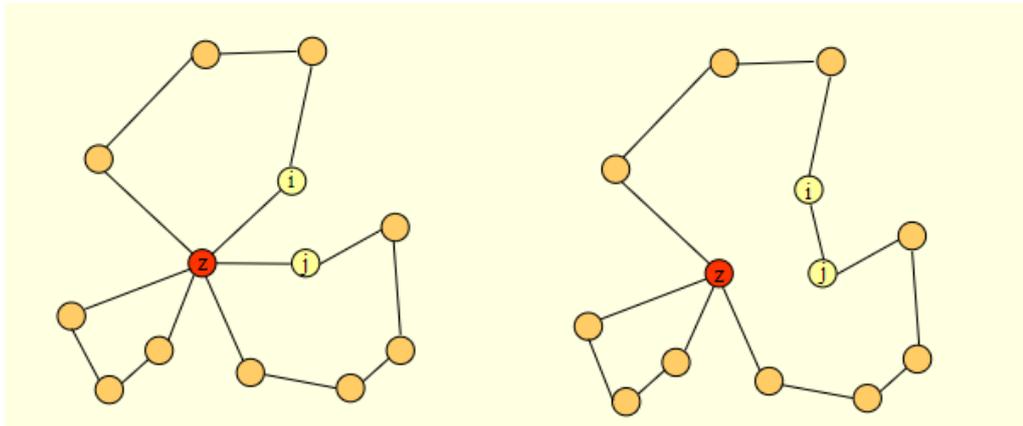
**Paso 3 Mejorar unión.** - Escoger el máximo valor de la matriz  $S(i, j)$ ;  $MAX S(i, j) = S''(i^*, j^*)$ . Si  $(i^*$  es el último cliente visitado en la ruta  $R(i^*)$ ,  $j^*$  es el primer cliente visitado en la ruta  $R(j^*)$  y se cumplen todas las restricciones (capacidad, ventanas de tiempo, etc.).

- Unir la ruta  $R(i^*)$  con la ruta  $R(j^*)$ .
- Asignar  $S \leftarrow S'$ .
- Eliminar los arcos  $S(i^*, j^*)$  ya utilizados en las rutas creadas.

**Paso 4 Eliminar de futuras consideraciones.** - Si quedan ahorros por examinar ir a 3, si no terminar (Sandoya, 2015).

En la figura 2.5 se muestra una iteración del procedimiento. Se puede observar cómo se combinan dos subtours eliminando las aristas de los vértices  $i$  y  $j$  al vértice base  $z$ , e insertando la arista  $(i, j)$ .

**Figura 2.5 Construcción de subtours para heurística Clarke & Wright Eliminando aristas de los vértices i y j al vértice z e insertando aristas i y j**



*Fuente: Elaboración propia, 2020*

Al implementar el algoritmo se debe mantener una lista de las combinaciones posibles. El punto clave de la implementación es la actualización de esta lista. Al unir dos subtours únicamente se ven afectados aquellos en los que su “mejor conexión” pertenece a alguno de los dos subtours recién unidos. Luego basta con actualizar estos en cada iteración sin necesidad de actualizarlos todos cada vez que se realiza una unión.

Al igual que en otros métodos heurísticos, se puede utilizar el subgrafo candidato (en el que están todos los vértices y sólo las aristas consideradas “atractivas”) para acelerar los cálculos. Así, al actualizar la lista de las mejores conexiones únicamente se consideran aristas del subgrafo candidato (Sandoya, 2015).

### **2.9.2 Método agrupar primero y rutear después**

El método agrupar primero y rutear después (cluster first, route second) se detalla en dos fases.

**Fase 1.** - Se generan grupos de clientes, también llamados clúster, que estarían en una misma ruta en la solución final.

**Fase 2.** - Luego, para cada clúster se crea una ruta que visite a todos sus clientes.

Las restricciones de capacidad deberán ser consideradas en la fase 1 del clúster pues la demanda total de cada clúster no debe superar la capacidad del vehículo. Al construir las rutas para cada clúster es un TSP que, dependiendo de la cantidad de clientes en el clúster, se puede resolver en forma exacta o aproximada (Daza, Montoya, & Narducci, 2009).

### **2.9.3 Método rutear primero y agrupar después**

Métodos de Ruteo Primero y Asignación Después (route-First, cluster-Second Methods). Se detalla en 2 fases:

**Fase 1.** - Se calcula una gran ruta que visita a todos los clientes resolviendo un TSP sin considerar las restricciones del problema.

**Fase 2.** - La gran ruta calculada en fase 1 se descompone en varias rutas factibles, considerando la capacidad del vehículo.

## **2.10 Extensiones de las heurísticas clásicas de ahorro**

Para la aplicación del algoritmo de ahorros en la solución del problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) que considera principalmente el ahorro en distancias, hay que tener en cuenta las restricciones actuales que se presentan en este tipo de problemas como lo son las ventanas temporales y la selección de los clientes factibles que se asignan a la ruta parcial.

La existencia de ventanas de tiempo obliga a tener en cuenta la orientación de la ruta. Por ejemplo, si dos rutas parciales tienen clientes finales y respectivamente existe compatibilidad, si es el primero (último) y es el último (primero) en la nueva ruta conformada (Lozada & Cadena, 2012).

Si se unen dos clientes de distancia cercana, pero lejanos temporalmente es decir en ventanas horarias, puede suceder que se incurra en tiempos de espera muy costosos para la ruta. Esto ocasiona que un vehículo está obligado a esperar para ser atendido, pero genera un costo de oportunidad que debe ser asumido al dejar de atender a otros clientes que pueden estar

disponibles. En el siguiente literal se detalla la propuesta de (Solomon, 1987) para resolver esta variante del VRP.

### 2.10.1 Método de ahorros de Solomon VRPTW

En el artículo publicado por (Solomon, 1987) propone la extensión al algoritmo de ahorros, para contemplar problemas de ventanas de tiempo. Determinar si la unión de dos rutas  $r_i$  y  $r_j$  es factible no resulta directo en presencia de ventanas de tiempo, pues el arribo a los clientes de  $r_j$  puede atrasarse y esto podría ocasionar que se violaran algunas ventanas de tiempo.

“Dada la ruta factible  $(v_0, \dots, v_m + 1)$  con  $v_0 = v_m = v_m + 1 = 0$ , llamamos  $b_i$  y  $w_i$  al tiempo de arribo al nodo  $v_i$  ( $0 \leq i \leq m + 1$ ). El mínimo tiempo de espera en el nodo  $v_i$  ( $i \neq 0$ )  $w_i = \max\{0, e_i - (b_i - 1 + s_i - 1 + t_i - 1, i)\}$ . Si el tiempo de arribo al nodo  $v_i$  se incrementa en  $PF_i$ , el tiempo de arribo a los nodos posteriores  $v_j$  (con  $i < j \leq m + 1$ ) se incrementará en  $PF_j = \max\{0, PF_i - 1 - w_j\}$ . El valor  $PF$  recibe el nombre de push forward y mide cuanto se desplaza el tiempo de arribo respecto a su valor original.

El Push Forward (empujar hacia delante) en un nodo depende de sus predecesores, se puede determinar si un incremento en el tiempo de arribo a un cliente mantiene la factibilidad de la ruta, mediante una recorrida por los clientes posteriores. Para cada uno de ellos se calcula el nuevo tiempo de arribo (que depende solamente del cliente anterior) y se debe verificar que esté dentro de la ventana de tiempo.

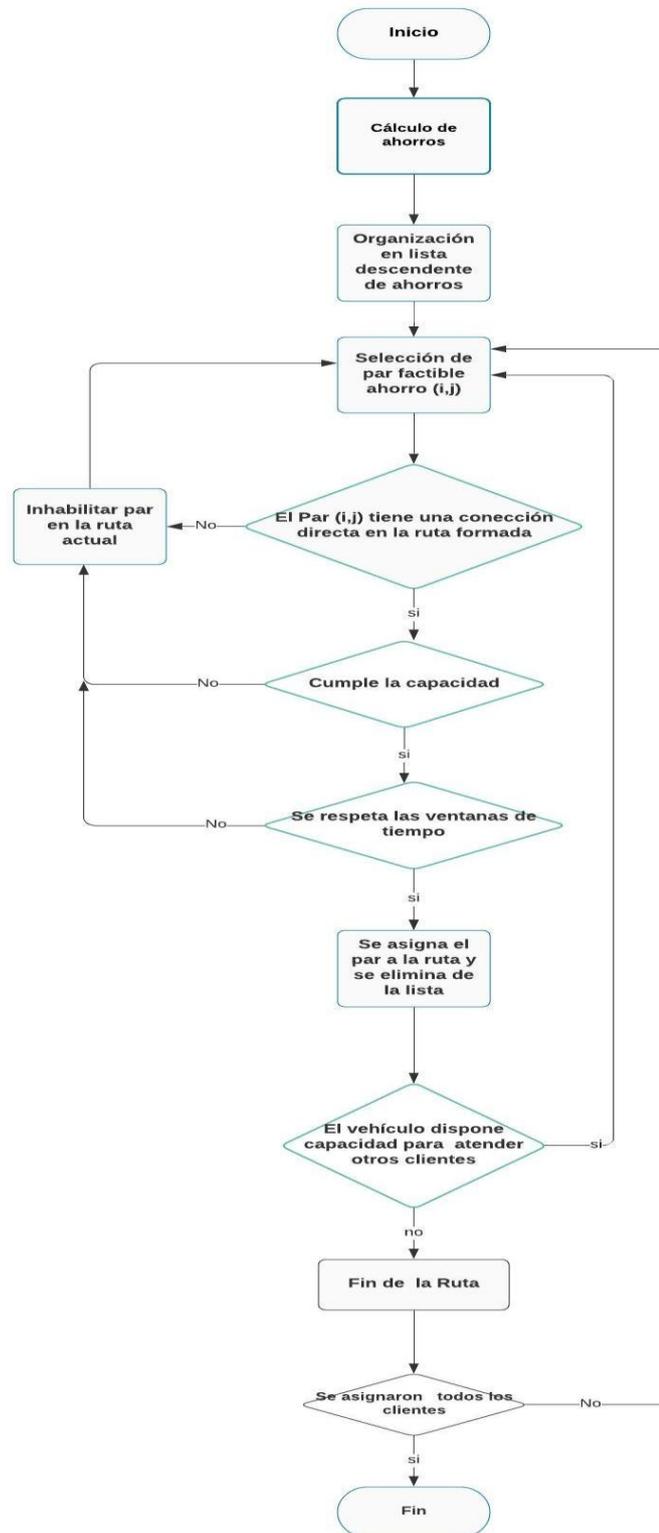
Puede observarse que los valores del push forward son no crecientes a lo largo de la ruta. La búsqueda puede terminarse antes si se encuentra algún nodo con push forward igual a 0, pues para todos los nodos posteriores a él también será igual a 0, y como la ruta original era factible la nueva también lo será. Este procedimiento es agregado al algoritmo de ahorros original para determinar, de manera eficiente, si la unión de dos rutas es factible.

Esta observación puede llevar a unir rutas muy cercanas en cuanto a distancias, pero con ventanas de tiempo muy diferentes, provocando

grandes tiempos de espera. Si el máximo ahorro se da en  $s_{ij}$  pero  $e_j$  es mucho mayor que  $b_i + t_{ij}$ , en la nueva ruta el tiempo de espera en  $j$  será muy elevado. Dado que no se considera la posibilidad de insertar clientes entre  $i$  y  $j$ , otro vehículo deberá visitar clientes que podrían haber sido visitados en ese tiempo ocioso, resultando en soluciones que utilizan una gran cantidad de vehículos.

Para resolver este problema, en lugar de modificar la definición de  $s_{ij}$ , se fija un valor máximo  $W$  para los tiempos de espera y no se realizan las uniones que ocasionen tiempos de espera mayores que  $W$  (Olivera, 2004). En el diagrama de flujo detallado a continuación figura 2.6 se muestra el procedimiento del algoritmo de ahorros adicionando ventanas de tiempo.

**Figura 2.6 Diagrama de flujo para el algoritmo de ahorros Clarke & Wright  
adicionado con ventanas de tiempo**



*Fuente: Solución del problema de Ruteo de Vehículos con ventanas de tiempo, (Lozada & Cadena, 2012)*

# CAPÍTULO 3

## 3. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL MODELO

### 3.1 Proceso de implementación del modelo propuesto para la optimización

Para el desarrollo del modelo y la propuesta de mejora se considera los datos de la empresa de estudio partiendo de la demanda de pedidos y despachos desde el CDD-GYE durante los meses mayo a julio 2019. En el capítulo actual se presentan estadísticas en los meses mencionados, se muestra datos de la empresa de estudio como flota, gastos de transportes generados, clientes, frecuencias de pedidos, entre otros; que ante la planificación y envío de los mismos muchas veces no cubren su capacidad, pero deben desplazarse hasta el destino solicitado.

En la metodología para el desarrollo del modelo propuesto se implementa el siguiente proceso:

- Estudio de la situación actual de la empresa, en lo que refiere a flota vehicular, gastos de transporte, definición de ingreso de pedidos en el día.
- Descarga de la base de datos de clientes del sistema SAP del CDD-GYE, toma de coordenadas de los puntos de entrega a través de las visitas realizadas por los asesores comerciales para la respectiva actualización en el sistema de ubicaciones y demás datos, como contactos, horarios de atención, correo electrónico.
- KPI's de cumplimientos actuales.
- Breve análisis de ingresos de pedidos por rangos de horas durante un día, para este estudio se tomará una muestra de 11 días al azar por cada mes.
- Identificados los rangos de horas de ingreso de pedidos al sistema por las diferentes opciones de toma de estos (web, contact center, asesores), establecer cortes de planificación de rutas dentro del horario laboral 08h00 a 17h00.

- Creación de archivo de base de datos que contenga, horas de ingreso, clientes, coordenadas, capacidad volumétrica para proceder con la lectura de datos en software a implementarse.
- Determinación de costos de transportación fijos y variables para el modelo.
- Formulación del modelo matemático CVRPTW.
- Diseño del modelo matemático en Software Wolfram Mathematica, que permite visualizar gráficamente asignación a vehículos, ruta a seguir, ventanas horarias, capacidad, tiempo del proceso de entrega mediante heurística Clarke & Wright adicionando ventanas de tiempo.

### 3.2 Estudio de la situación actual y parámetros a considerar en el modelo matemático

#### 3.2.1 Flota vehicular

La empresa de estudio contrata los servicios de proveedores de transporte externo de acuerdo con la demanda diaria, teniendo a disponibilidad 18 vehículos que deben cumplir con los requisitos legales para circular y las siguientes características que se muestran en la tabla 3.1:

**Tabla 3.1 Características de vehículos de carga requeridas por la empresa de estudio**

Capacidad Volumétrica del Furgón	27 m <sup>3</sup> a 30 m <sup>3</sup> (para medición de capacidad se considera 27 m <sup>3</sup> )
Tonelaje	4.5 tn. – Preferentemente Hino, Jac, Hyundai
Características del Furgón	Cajón metálico blanco
Antigüedad de Vehículo	Hasta 10 años
Personal Requerido	1 conductor Licencia E– 1 ayudante (previa capacitación y aprobación de ingreso)
Disponibilidad de horario de carga	06:00 a 18h00

*Fuente: Elaboración propia, 2020*

En el anexo A se muestra la evaluación del transporte anual RD-16 que realiza la empresa a la flota contratada, debido a que los proveedores, también son calificados por el servicio con los KPI, aplicados por la empresa.

### 3.2.2 Gastos de transporte generado

Para efectos de análisis comparativo en la tabla 3.2 se muestran los gastos de transportes generados en la empresa para los meses de estudio mayo a julio 2019.

En el anexo B se muestra las tarifas por ruta fija que tiene la empresa y tiempo estimado del recorrido hasta la ciudad de destino. En anexo C se reflejan los gastos incurridos por cada ruta para los meses de estudio.

**Tabla 3.2 Gastos generales de transportes de empresa de estudio**

GASTO POR RUTA	MAYO	JUNIO	JULIO
<b>GASTO DE TRANSPORTE TOTAL</b>	<b>\$ 79.620,00</b>	<b>\$ 70.421,00</b>	<b>\$ 69.202,00</b>

*Fuente: Empresa de estudio, 2020*

### 3.2.3 Definición de ingresos de pedidos en el día

En la actualidad no se tiene definido la frecuencia de ingreso de pedidos por horas al sistema SAP para identificar horarios de cortes de planificación, en las siguientes páginas se realiza un breve análisis de ingreso de pedidos por horas durante el día con el fin de definir cortes de planificación para ejecutar el modelo a implementar. La figura 3.1 muestra la situación actual de ingresos por las diferentes opciones, los mismos que no muestran horas.

**Figura 3.1 Situación actual de ingresos de pedidos por las diferentes opciones de ingreso en el día**

**Lista de pedidos de cliente (304 Entradas)**

Fecha doc.	Clase doc.ventas	Documento de ventas	Solicitante	T
01.07.2019	TA	593573	1112403	C
01.07.2019	ZTA1	593574	5006349	G
01.07.2019	TA	593575	1000514	S
01.07.2019	TA	593576	1000362	M
01.07.2019	TA	593577	1000090	C
01.07.2019	TA	593578	1057561	J
01.07.2019	TA	593579	1000953	R
01.07.2019	TA	593580	1061945	V
01.07.2019	TA	593581	5001025	L
01.07.2019	TA	593582	1152001	P
01.07.2019	TA	593583	1000297	F
01.07.2019	TA	593584	1000297	F
01.07.2019	TA	593585	1000297	F
01.07.2019	TA	593586	1061642	A
01.07.2019	ZIND	593587	1000297	F
01.07.2019	ZIND	593588	1000964	C
01.07.2019	TA	593589	5001025	L
01.07.2019	TA	593590	5001025	L
01.07.2019	TA	593591	1045008	I

Fuente: Tomado de transacción VA05 Ingreso de Pedidos (SAP Hanna, 2019)

### 3.3 Descarga de datos de clientes y toma de coordenadas

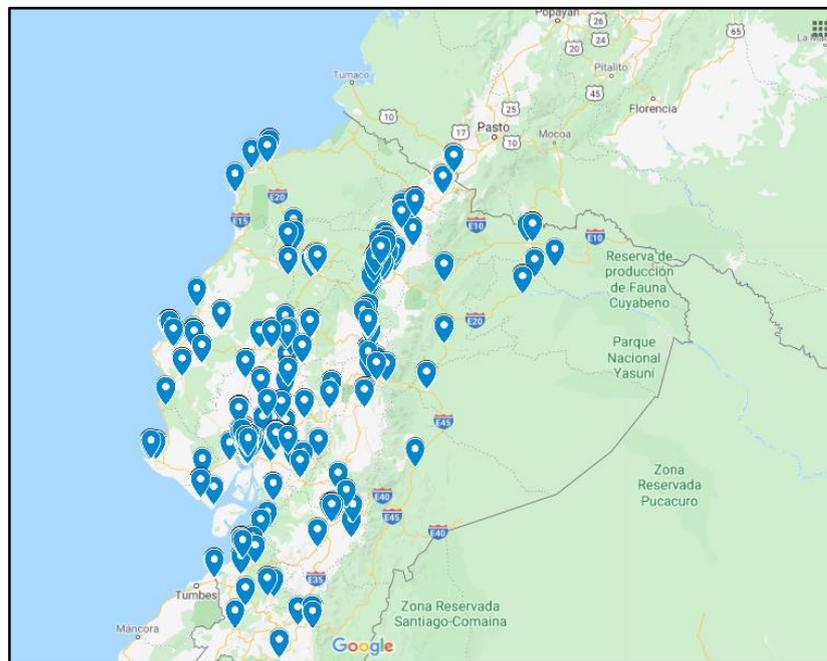
La empresa se encuentra en un proceso de toma de coordenadas de los clientes, para ingresar datos al sistema SAP y facilitar el modelo del ruteo a implementarse, mediante la herramienta Google Maps y con la gestión de los asesores comerciales en cada visita realizada a los clientes.

La empresa cuenta con un total de 900 clientes que corresponden al canal de distribuidores y canal de tiendas. De los mismos 431 son atendidos desde el CDD-GYE. Para el presente estudio se han considerado 190 clientes activos en el sistema, los mismos que realizaron pedidos con frecuencia diaria, semanal o mensual en los meses seleccionados para la muestra.

Se considera un cliente activo a aquel que realice compras por canal distribuidor o cadena de tiendas al menos 1 vez cada 3 meses y cumpla los requisitos establecidos por la empresa como buen manejo de crédito, montos de compra por categoría etc.

En el anexo D se muestran las coordenadas de los clientes considerados para este estudio y en la figura 3.2 se muestra la base de datos de coordenadas que se identificó en un mapa elaborado por el autor.

**Figura 3.2 Ubicación en maps de los 900 clientes distribuidores y cadenas de tiendas que registra la empresa**



*Fuente: Elaboración propia, 2020*

### 3.4 KPI's de cumplimientos actuales

Entre los KPI's logísticos principales considerados para el CDD-GYE de la empresa de estudio se encuentran las entregas a tiempo, el porcentaje de ocupación del vehículo en cada ruta planificada actualmente por la empresa y la medición de satisfacción del servicio de entregas. A continuación, se muestra en resumen los KPI's con los métodos aplicados para su medición, para los meses de estudio:

- **KPI entregas a tiempo:** Su medición parte de la fecha de entrega que indica el sistema, en ciudad el pedido debe ser entregado el mismo día y en provincias con destinos mayor a 5 horas de viaje el sistema está configurado para el día siguiente, esto depende de la configuración de horarios y rutas que tiene el cliente y que fueron ingresadas por la transacción BP o XD02 del sistema SAP. Su medición es automática una vez que se procesa el transporte, la empresa dispone de un cubo

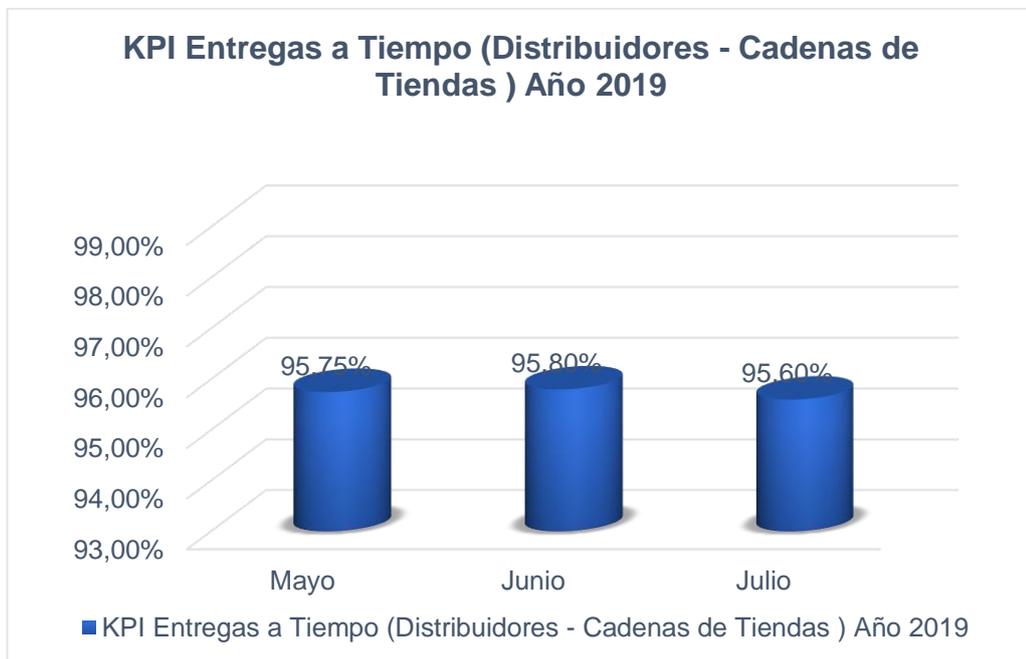
de información por canal de clientes en el que diariamente se actualiza para llevar el seguimiento. El índice de entregas a tiempo para los canales de clientes distribuidores y cadenas de tienda se muestra en la figura 3.3, con la mejora en el modelo se espera alcanzar el 99% de satisfacción de entregas a tiempo.

La fórmula calculada en este indicador de desempeño es:

$$\frac{\text{Cantidad de entregas a tiempo}}{\text{Cantidad de entregas totales}} \times 100 \quad (3.1)$$

Cantidad total de entregas con la fecha indicada a tiempo sobre el total de entregas.

**Figura 3.3 KPI entregas a tiempo clientes distribuidores y cadenas de tienda**



*Fuente: Elaboración propia, 2020*

- **KPI ocupación del vehículo:** El factor de ocupación del vehículo se mide en relación con el volumen embarcado sobre la capacidad total del vehículo por cada salida, de ahí se refleja el promedio por día en un cubo descargado del sistema diariamente. El promedio de ocupación del vehículo por ruta equivale a  $21.94 m^3$  para los meses de estudio desde mayo a julio del 2019 lo que representa un 81.95% de

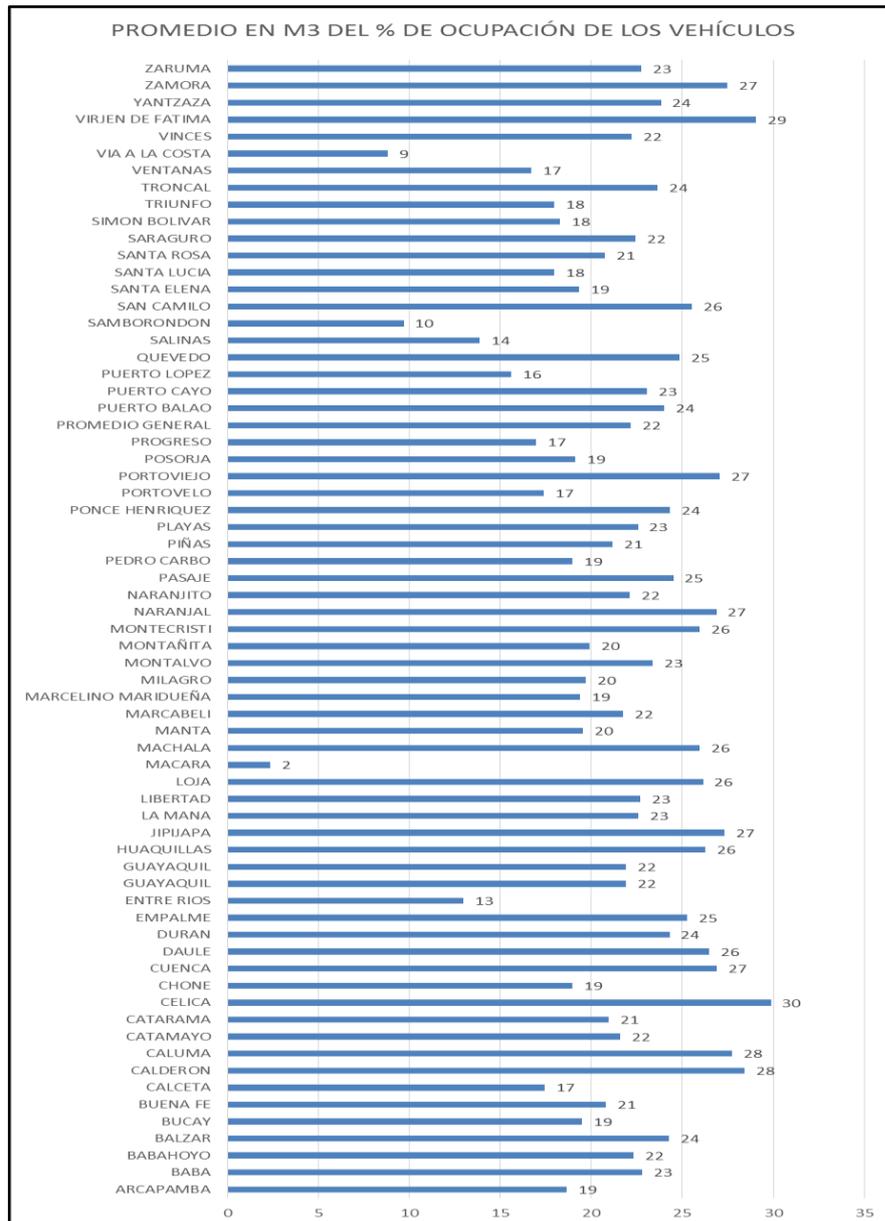
ocupación del vehículo. Se espera alcanzar un 90% de ocupación del camión con la propuesta que se plantea. La fórmula para cálculo del porcentaje de la capacidad ocupada por cada salida de vehículo es:

$$\frac{\text{Capacidad en m}^3 \text{ embarcados por viaje}}{\text{Capacidad total del vehículo}} \times 100 \quad (3.2)$$

Capacidad en cada viaje sobre la capacidad total del vehículo.

En la figura 3.4 se muestra los promedios de ocupación por ruta y ciudad actuales.

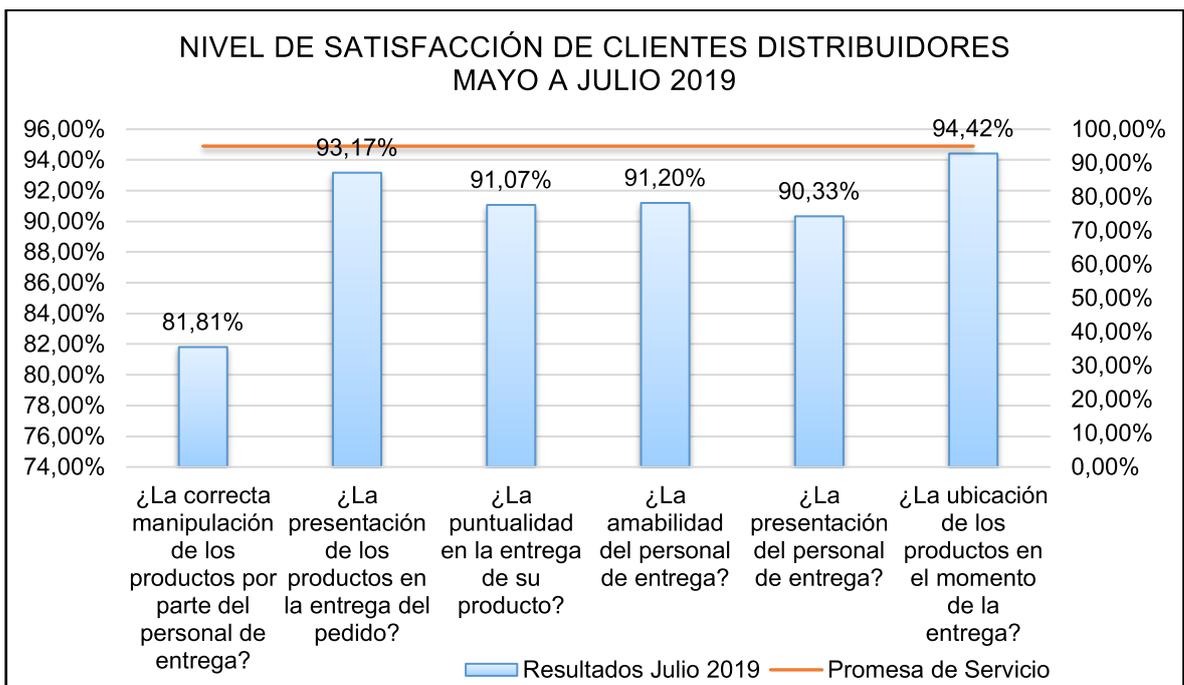
**Figura 3.4 Promedio de ocupación del vehículo en m<sup>3</sup>, mayo a julio 2019**



Fuente: Elaboración propia, 2020

- **KPI satisfacción a clientes:** El índice de satisfacción de servicio se toma de las encuestas realizadas por una empresa contratada, que toma una muestra poblacional cada 3 meses a partir de febrero, con preguntas abiertas y cerradas a los clientes, en la figura 3.5 se muestran los resultados de las encuestas para los 3 meses, mientras que la promesa de servicio establecido por la empresa es alcanzar un 96%.

**Figura 3.5 Nivel de satisfacción de clientes distribuidores y cadenas mayo a julio 2019**



Fuente: Elaboración propia, 2020

La empresa mide también otros KPI's, como margen de pedidos despachados completos, control de devoluciones por los diferentes motivos (referencias mal ingresadas, productos defectuosos, cliente desiste de compra) los mismos que son considerados de la información procesada en el sistema, no se los ha considerado índices relevantes para el desarrollo de este modelo.

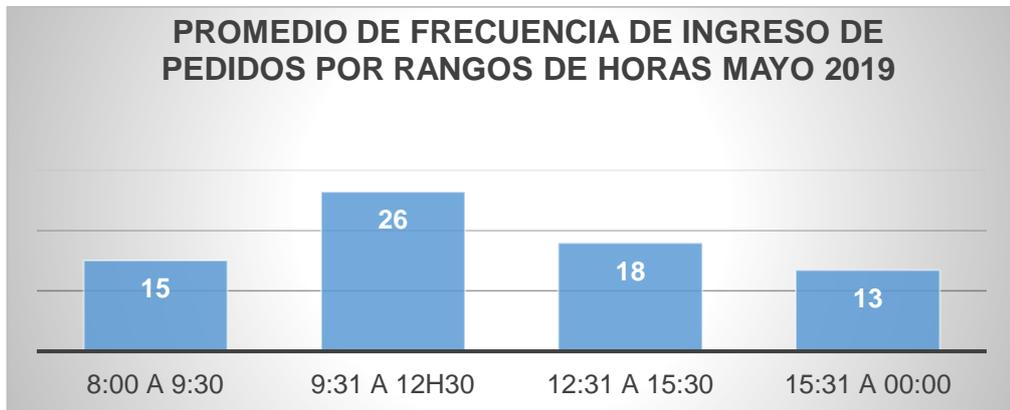
### 3.5 Breve análisis de ingreso de pedidos por rango de horas

En el planteamiento del capítulo uno se había indicado que no existe un horario de planificación estandarizado debido a que el proceso se realiza de manera empírica y a criterio del planificador. Se ha identificado mediante la

toma de una muestra de 11 días laborables para cada mes de estudio el promedio de pedidos ingresados en rango de horas divididos en cuatro cortes con el objetivo de establecer un rango de tiempo de planificación que facilite la gestión en el modelo a implementarse y a la vez indicar al cliente el tiempo estimado de llegada de su pedido.

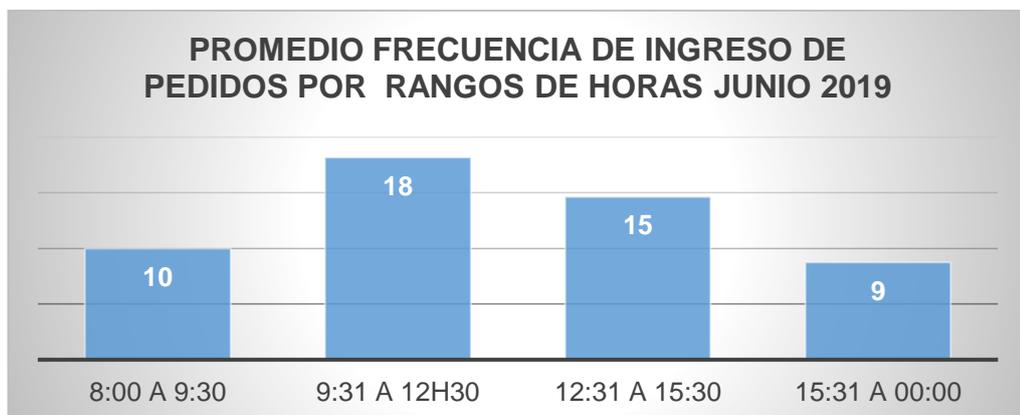
En las figuras 3.6, 3.7 y 3.8 se muestran los registros de pedidos en el sistema por rangos de horas lo que permite visualizar en que horarios se ingresan mayormente los pedidos; luego de este análisis se establece en páginas siguientes, los cortes de planificación de rutas para el CDD-GYE.

**Figura 3.6 Promedio de frecuencia de ingreso de pedidos por rangos de horas mayo 2019**



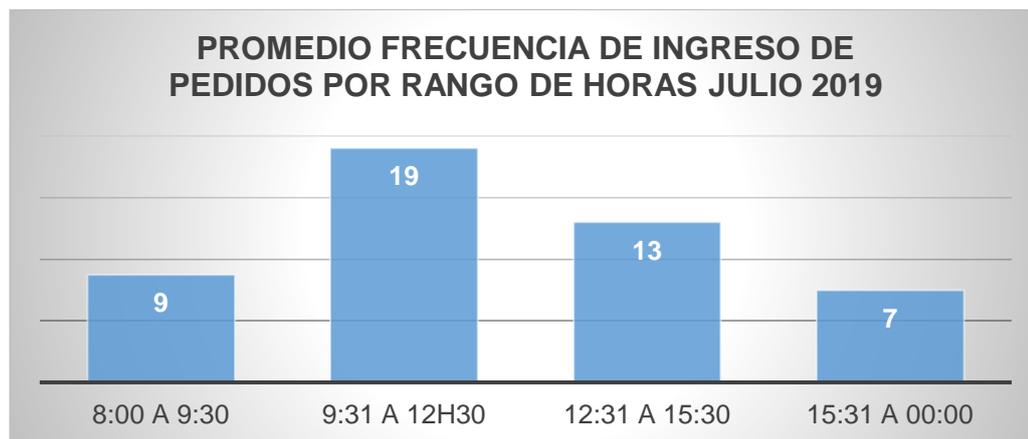
*Fuente: Elaboración propia, 2020*

**Figura 3.7 Promedio de frecuencia de ingreso de pedidos por rangos de horas junio 2019**



*Fuente: Elaboración propia, 2020*

**Figura 3.8 Promedio de frecuencia de ingreso de pedidos por rangos de horas julio 2019**



*Fuente: Elaboración propia, 2020*

### **3.6 Identificación de rango de horas para ejecución de nueva planificación**

Una vez analizado el horario de ingresos, se sugiere establecer 3 cortes de planificación de pedidos para envío a las diferentes rutas considerando el horario laboral y las actividades que comprende el proceso de preparación del pedido.

Como se pudo apreciar en las figuras 3.6, 3.7, 3.8 el mayor movimiento de ingreso de pedidos está entre 09:00 y 12:30. Se decide junto a la coordinación del CDD-GYE planificar en los siguientes horarios, 9:30, 12:30, 15:30, los pedidos ingresados a partir de las 15h30, corresponden a la planificación del día siguiente. Se ha considerado también establecer acuerdos de entrega a los clientes en referencia a los horarios de planificación y realizar difusión de esta. Información que se muestra en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3 Acuerdos de entrega a clientes**

RANGO DE HORARIOS DE INGRESO DE PEDIDOS	GUAYAQUIL SE ENTREGA AL CLIENTE	PROVINCIA DEL GUAYAS, (RECORRIDOS NO MAYOR A 1 HORA DESDE LA PLANTA GUAYAQUIL) SE ENTREGA	PROVINCIAS SE ENTREGA	LOJA SE ENTREGA
8:00 a 9:30	DIA EN CURSO	DIA EN CURSO	DIA EN CURSO	DIA EN CURSO – VEHICULO COMPLETO
9:31 a 12h30	DIA EN CURSO	DIA EN CURSO	DIA EN CURSO – SI ES VEHÍCULO COMPLETO – DIA SIGUIETE MENOR A CAP.	DIA SIGUIENTE
12:31 a 15:30	DIA EN CURSO DE ACUERDO CON EL HORARIO DE ATENCIÓN DEL CLIENTE	DIA EN CURSO DE ACUERDO CON EL HORARIO DE ATENCION DEL CLIENTE- DIA SIGUIENTE	DIA SIGUIENTE HASTA 12H00	DIA SIGUIENTE
15:31 a 00:00	DÍA SIGUIENTE HASTA 12H00	DIA SIGUIENTE HASTA 12H00	DIA SIGUIENTE HASTA 12H00	DIA SIGUIENTE

*Fuente: Elaboración propia, 2020*

### **3.7 Creación de archivo de base de datos para lectura software**

Una vez establecidos los cortes de planificación y acuerdos de entrega a clientes, se diseña la base de datos en Excel, el mismo que se descargará del sistema por cada actualización de corte de planificación, contiene fecha, horas de ingreso ventanas de tiempo de los clientes. En el anexo E se visualiza formato.

### **3.8 Determinación de costos de transporte fijo y variable para el modelo a aplicar**

La empresa de estudio mantiene un sistema de tarifas fijo por ciudad, debido a que contrata una flota que presta servicios constantemente a los cuales se ha confiado la operación de entregas a clientes. Es importante indicar que la flota que presta sus servicios son propietarios de vehículos que en muchas ocasiones conducen su propio camión y que, en los últimos años, los requerimientos de empresa y entes de control exigen sistema de trabajo como por ejemplo pertenecer a una compañía de transporte para lo que se han asociado.

Para el modelo propuesto se realiza un breve estudio e indagar a los transportistas sobre sus costos incurridos con el objetivo de determinar los costos fijos y variables que contienen la operación de un transporte, para de esta manera verificar que las tarifas convenidas por ciudad son las correctas.

El cálculo del costo de distribución para el modelo propuesto está dado por:

$$\text{Costo Fijo} + (\text{Costo Variable} \times \text{distancia recorrida}) \quad (3.3)$$

En la tabla 3.4 se muestra la determinación de costos fijos por día y costos variables por cada kilómetro. Se considera un estimado de 90000 kilómetros recorridos anual para cada vehículo anualmente. En la tabla se ha considerado los costos del camión actual si la compra se realizare al contado, debido a que la flota posee sus vehículos sin deuda financiera.

**Tabla 3.4 Determinación de Costos Fijos y Variables a aplicar en modelo de ruteo con base en la flota contratada**

TIPO		CAPACIDAD
Camión - Chevrolet		Ton 4.5
<b>Costo Fijo</b>		
<b>Chasis</b>	<b>Compra</b>	\$ 34.000,00
<b>Furgón</b>	<b>Compra</b>	\$ 3.600,00
(a) Chasis + Furgón Dep.	al año [V.U. 5 años]	\$ 7.520,00
(b) Matrícula	al año (2,8%)	\$ 952,00
(c) Seguro	al año (4%)	\$ 1.504,00
<b>Baterías</b>	<b>Compra</b>	\$ 85,00
(d) Batería (x2 unds.)	al año [ V.U. 1 año]	\$ 193,80
<b>Sueldos - Conductor y Ayudante</b>		
	<b>Mensual</b>	\$ 960,00
(e) Sueldo	Anual	\$ 18.432,00
(f) Lavado	Anual (26 lavadas)	\$ 520,00
(g) Mantenimiento anual	4% chasis + furgón	\$ 1.360,00
<b>Costo anual (a+b+c+d+e+f+g)</b>		<b>\$ 30.481,80</b>
<b>Costo diario (a+b+c+d+e+f+g)</b>		<b>\$ 97,39</b>
<b>Costo variable</b>		
Diésel/Gasolina	U\$ /galón	\$ 1,04
Combustible	km/ galón	20,00
(h) Costo combustible	por km	\$ 0,05
Llantas [6 llantas]	Compra	\$ 1.495,00
Rendimiento promedio llantas	Km	80.000
(i) Costo llantas	por km	\$ 0,02
Aceite y Filtro	Usd.	\$ 164,00
Tiempo cambio	Km	5000,00
(j) Costo aceite y filtro	Km	\$ 0,03
Mantenimiento variable	0.8% Ch + Cm	\$ 300,80
(k) Mantenimiento variable	km [/120.000]	\$ 0,00
(l) Peajes	Km	\$ 0,02
(m) Viáticos	Km	\$ 0,05
(n) Otros		\$ 0,01
<b>Costo por km (h+i+j+k+l+m+n)</b>		<b>\$ 0,19</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

### 3.9 Formulación del modelo matemático CVRPTW

Para proceder con la formulación del modelo de ruteo vehicular capacitado con ventanas de tiempo para la industria que distribuye colchones y accesorios de dormitorios, se establecen los siguientes parámetros:

**Índices:**

*i*: Cliente Origen (nodos de partida).

*j*: Cliente Destino (nodos de llegada).

*k*: Vehículo (Flota disponible, homogénea).

**Escalar:**

*Q*: Capacidad de los vehículos.

**Parámetros:**

*C<sub>i,j</sub>*: Costos asociados del cliente *i* al cliente *j*.

*T<sub>i,j</sub>*: Tiempo de recorrido del arco (*i, j*).

*q<sub>i</sub>*: Demanda del cliente *i*.

*n*: Cantidad de clientes.

*a<sub>i</sub>*: Ventana mínima de llegada para iniciar el servicio del cliente *i*.

*b<sub>i</sub>*: Ventana máxima de espera para iniciar servicio del cliente *i*.

*s<sub>i</sub>*: Tiempo de operación servicio del cliente *i*, donde para el depósito  $s_0 = 0$ .

**Variables de decisión:**

$$X_{i,j,k} \begin{cases} 1 & \text{Si se desplaza el Vehículo } k \text{ desde el cliente } i \text{ al cliente destino } j \\ 0 & \text{Si no} \end{cases}$$

**Variable Positiva:**

$$T_{i,k} \begin{cases} & \text{El tiempo en el que el vehículo } k \text{ inicia a brindar el servicio al} \\ & \text{cliente } i \end{cases}$$

### 3.9.1 Función objetivo y restricciones

**Función objetivo:**

$$\text{Min } z = \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} * X_{ijk} \quad (3.4)$$

La función objetivo representa minimizar los costos totales fijos y variables en función de distancias recorridas utilizando el menor número de vehículos. La variable  $X_{i,j,k}$ , toma valor de uno cuando el vehículo  $k$  atiende la ruta que va desde el cliente del arco  $i$  al cliente  $j$ .

**Restricciones:**

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \quad (3.5)$$

Cada cliente debe ser asignado a una ruta y atendido por un solo vehículo.

$$\sum_{j \in \delta^+(0)} X_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (3.6)$$

Define que cada vehículo debe iniciar la ruta desde el depósito.

$$\sum_{j \in \delta^+(0)} X_{ijk} - \sum_{j \in \delta^-(0)} X_{ijk} = 0 \quad \forall k \in K, \forall j \in N \quad (3.7)$$

Para cada vehículo que sale del cliente  $i$  hacia el cliente  $j$  y la diferencia del número de clientes  $i$  desde los cuales el cliente  $j$  es alcanzable visitar, con respecto del número de clientes  $i$  que son directamente alcanzables de visitar desde el cliente  $j$ , debe ser 0, es decir cada ruta que se genera debe ser visitado por un mismo vehículo.

$$\sum_{j \in \delta^-(n+1)} X_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (3.8)$$

Cada ruta vehicular, tendrá un solo cliente que se conecta al depósito.

$$(T_{ik} + S_i + t_{ij} - T_{jk}) \leq (1 - X_{ijk})M_{ij} \quad \forall k \in K, (i,j) \in A \quad (3.9)$$

Garantiza la viabilidad de las ventanas de tiempo. El tiempo de llegada del vehículo  $k$  al arco  $i$  más el tiempo de servicio del cliente  $i$  menos el tiempo de llegada del vehículo  $k$  al arco  $j$  debe ser menor o igual que  $(1 - X_{i,j,k}) = M_{i,j}$ . Es decir, no se puede iniciar el servicio en cliente  $j$  si el cliente  $i$  no ha sido atendido. Siendo  $M$  una constante muy grande.

$$a_i \leq T_{ik} \leq b_i \quad \forall k \in K, \forall (i, j) \in A \quad (3.10)$$

Garantiza que la ventana mínima de atención del cliente  $i$  debe ser menor al tiempo de llegada del vehículo  $k$  y no puede superar el tiempo máximo de atención del cliente  $i$  para todo cliente  $i, j$ . Es decir, el vehículo no puede llegar fuera de los horarios de atención del cliente.

$$\sum_{i \in N} q_i * \sum_{j \in \delta^+ i} X_{ijk} \leq Q \quad \forall k \in K \quad (3.11)$$

La demanda de todos los productos embarcados a cada cliente no debe exceder la capacidad del vehículo.

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (3.12)$$

Representa la decisión de asignar el cliente  $i$  hacia el cliente  $j$  en el vehículo  $k$ . (binaria).

$$T_{ik} \in \mathbb{R} \quad (3.13)$$

El tiempo del vehículo  $v$  del cliente  $i$  hacia el cliente  $j$  pertenece a los reales.

### 3.10 Diseño del modelo matemático en el Software Wolfram Mathematica

Una vez definido y establecido el modelo del CVRPTW, con su función objetivo y restricciones respectivamente, se procede al desarrollo de la programación en el software Wolfram Mathematica.

En la programación se consideró ingresar los datos, parámetros y variables para la ejecución de la heurística Clarke & Wriqth, con extensiones de ventanas de tiempo y el documento Excel con la información consolidada. El código Wolfram Mathematica se muestra en el anexo F.

### 3.11 Aplicación de la heurística de ahorros Clarke & Wright adaptado con ventanas de tiempo

Para la aplicación y configuración del algoritmo de ahorros con extensiones en ventanas horarias según (Solomon, 1987), cuyo objetivo es encontrar la ruta óptima minimizando las distancias a recorrer, capacidad de vehículo, buscando la mejor solución para la atención de clientes con ventanas horarias se presenta los pasos a seguir y un breve ejemplo de un conjunto de clientes en una planificación horaria.

**Paso 1 - Inicialización.** - Para cada cliente  $i$  construir la ruta  $(1, i, 1)$ . Se elabora matriz de distancias.

- Se toma un conjunto de clientes de acuerdo al corte de planificación establecido.
- Se genera la matriz de ahorro de distancias del conjunto de clientes por el horario de planificación.
- El cliente 1 está considerado como el depósito.

**Paso 2 - Cálculo de ahorros.** - Calcular  $S_{ij}$  para cada par de clientes  $i$  y  $j$ . Calcular los ahorros de distancias de clientes y armar una lista de los pares de clientes de acuerdo con el ahorro que generan en orden descendente.

**Paso 3 - Mejorar unión.** - Escoger el máximo valor de la matriz  $S(i, j)$ ;  $MAX S(i, j) = S''(i^*, j^*)$ . Si  $(i^*$  es el último cliente visitado en la ruta  $R(i^*)$ ,  $j^*$  es el primer cliente visitado en la ruta  $R(j^*)$ ) y se cumplen todas las condiciones factibles de que las demanda no exceda capacidad del vehículo, respetar la ventana de tiempo (ventanas mínimas y máximas de horarios de atención).

Unir la ruta  $R(i^*)$  con la ruta  $R(j^*)$ .

Asignar  $S \leftarrow S'$ .

Eliminar los arcos  $S(i^*, j^*)$  ya utilizados en las rutas creadas. Es decir, los clientes asignados van siendo eliminados de la lista. (En el modelo de la empresa de estudio pueden existir pedidos del mismo cliente ingresados en

varios horarios, incluso que excedan la capacidad del vehículo, la configuración en la programación permite separar dichos pedidos y asignarlos a otros vehículos, lo cual depende de la hora de ingreso y capacidad).

En este paso configuración del algoritmo, también se acoge al tiempo de ingreso del pedido, es decir al ejecutar una unión, que no se acoge a los tiempos de llegada a los clientes de zonas periféricas, el algoritmo arma una ruta futura con los pedidos de rutas cercanas para que el vehículo pueda salir al día siguiente.

**Paso 4 - Eliminar de futuras consideraciones.** - Si quedan ahorros pendientes de examinar se repite paso 3, hasta lograr que los clientes estén servidos.

**Paso 5 – Cálculo de Costos.** - Se calcula los costos asociados a cada ruta creada para los clientes servidos.

Para tomar un ejemplo real del desempeño de la heurística se toma al azar la simulación 82 del archivo base de datos, correspondiente al día 7 de junio del 2019, los pedidos fueron ingresados entre 9:30 y 12h30, correspondientes al segundo corte de planificación de acuerdo con lo establecido en la tabla 3.3 de esta sección.

A continuación, se muestra el conjunto de clientes con 22 pedidos ingresados en tabla 3.5:

**Tabla 3.5 Conjunto de clientes con ingresos de pedidos del día 7 junio 2019 al segundo corte de planificación**

SECUENCIA	CODIGO CLIENTE	COORD_X	COORD_Y	VOLUMEN DE PEDIDO	TIEMPO SERVICIO MINUTOS	HORARIO ATENCION MIN	HORARIO ATENCION MAX	FECHA DE INGRESO	HORA INGRESO	RANGO PLANIF.	CIUDAD	NOMBRE_CLIENTE
2	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,63	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	9:42:18	2	GUAYAQUIL	FLORES CABRERA JENNY ELIZABETH
3	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,46	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	9:43:52	2	GUAYAQUIL	FLORES CABRERA JENNY ELIZABETH
4	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,46	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	9:44:34	2	GUAYAQUIL	FLORES CABRERA JENNY ELIZABETH
5	C1034160	-2,19838	-79,89068	13,5	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	9:49:20	2	GUAYAQUIL	PINTAG ROJALEMA ANGEL RICARDO
6	C1000297	-2,13645	-79,90337	21,8	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	9:46:31	2	GUAYAQUIL	FLORES CABRERA JENNY ELIZABETH
7	C1000297	-2,13645	-79,90337	34	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	9:51:51	2	GUAYAQUIL	FLORES CABRERA JENNY ELIZABETH
8	C1000297	-2,13645	-79,90337	1,66	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	9:56:01	2	GUAYAQUIL	FLORES CABRERA JENNY ELIZABETH
9	C1013867	-2,14551	-79,91913	8,9	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	10:05:27	2	GUAYAQUIL	SANCHEZ TEODOBERTO XAVIER
10	C1181815	-2,13774	-79,91388	19	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	10:13:58	2	GUAYAQUIL	CHAIDECENTER S, A,
11	C1047247	-2,2009	-79,89381	9	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	10:20:45	2	GUAYAQUIL	REYES AMORES SABY KARINA
12	C1000236	-2,12624	-79,59136	0,96	20,00	8:00:00	18:00:00	07/06/2019	10:29:17	2	MILAGRO	REA BALLAGAN FREDDY BALTAZAR
13	C1047247	-2,2009	-79,89381	9,8	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	10:56:50	2	GUAYAQUIL	REYES AMORES SABY KARINA
14	C1047247	-2,2009	-79,89381	8,2	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	10:58:31	2	GUAYAQUIL	REYES AMORES SABY KARINA
15	C5001025	-2,08904	-79,89509	25	20,00	9:00:00	19:00:00	07/06/2019	11:02:33	2	GUAYAQUIL	LINEAS VARIAS ECUADISTRI S. A
16	C5001025	-2,08904	-79,89509	6	20,00	9:00:00	19:00:00	07/06/2019	11:11:58	2	GUAYAQUIL	LINEAS VARIAS ECUADISTRI S. A
17	C1100247	-2,20141	-79,892055	2	20,00	9:00:00	18:00:00	07/06/2019	11:38:36	2	GUAYAQUIL	FRANCO ESTRADA ELIZABETH DEL ROCIO
18	C5001025	-2,08904	-79,89509	29	20,00	9:00:00	19:00:00	07/06/2019	11:39:31	2	GUAYAQUIL	LINEAS VARIAS ECUADISTRI S. A
19	C1034041	-2,16761	-79,841048	11	20,00	9:00:00	18:00:00	07/06/2019	11:42:56	2	DURAN	SANGA MOROCHO LUIS ALFREDO
20	C1000287	-2,12602	-79,89732	3,4	20,00	9:00:00	18:00:00	07/06/2019	11:42:29	2	GUAYAQUIL	RIERA MARIN ADRIANA CAROLINA
21	C1000301	-2,12385	-79,90448	5,1	20,00	9:00:00	19:00:00	07/06/2019	11:59:12	2	GUAYAQUIL	FLORES CABRERA PATRICIA ALEXANDRA
22	C1000265	-2,63479	-80,38765	3,8	20,00	9:00:00	18:00:00	07/06/2019	12:01:23	2	PLAYAS	GUALLI QUITIO HILARIA
23	C1100247	-2,20141	-79,892055	8	20,00	9:00:00	18:00:00	07/06/2019	12:07:18	2	GUAYAQUIL	FRANCO ESTRADA ELIZABETH DEL ROCIO

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Paso 1 Inicialización.** - Se muestra el cálculo de ahorros expresado en millas por minuto, en cada pedido ingresado, como se puede visualizar, existen ahorros 0 debido a la frecuencia de ingresos de pedidos del mismo cliente. Ver tabla 3.6.

**Tabla 3.6 Cálculo de ahorros de distancias para pedidos de clientes del día 7 junio 2019 al segundo corte de planificación**

	CCDDGYE	C1000297	C1000297	C1000297	C1034160	C1000297	C1000297	C1000297	C1013867	C1181815	C1047247	C1000236	C1047247	C1047247	C5001025	C5001025	C1100247	C5001025	C1034041	C1000287
CCDDGYE	0.	0.120148	0.120148	0.120148	0.598496	0.120148	0.120148	0.120148	0.0622117	0.055013	0.611124	3.22505	0.611124	0.611124	0.570117	0.570117	0.621769	0.570117	0.764424	0.234208
C1000297	0.120148	0.	0.	0.	0.632168	0.	0.	0.	0.181786	0.105889	0.651552	3.12177	0.651552	0.651552	0.481276	0.481276	0.659381	0.481276	0.696777	0.120577
C1000297	0.120148	0.	0.	0.	0.632168	0.	0.	0.	0.181786	0.105889	0.651552	3.12177	0.651552	0.651552	0.481276	0.481276	0.659381	0.481276	0.696777	0.120577
C1000297	0.120148	0.	0.	0.	0.632168	0.	0.	0.	0.181786	0.105889	0.651552	3.12177	0.651552	0.651552	0.481276	0.481276	0.659381	0.481276	0.696777	0.120577
C1034160	0.598496	0.632168	0.632168	0.632168	0.	0.632168	0.632168	0.632168	0.600306	0.649265	0.0401837	3.07091	0.0401837	0.0401837	1.09429	1.09429	0.0332739	1.09429	0.583963	0.72664
C1000297	0.120148	0.	0.	0.	0.632168	0.	0.	0.	0.181786	0.105889	0.651552	3.12177	0.651552	0.651552	0.481276	0.481276	0.659381	0.481276	0.696777	0.120577
C1000297	0.120148	0.	0.	0.	0.632168	0.	0.	0.	0.181786	0.105889	0.651552	3.12177	0.651552	0.651552	0.481276	0.481276	0.659381	0.481276	0.696777	0.120577
C1000297	0.120148	0.	0.	0.	0.632168	0.	0.	0.	0.181786	0.105889	0.651552	3.12177	0.651552	0.651552	0.481276	0.481276	0.659381	0.481276	0.696777	0.120577
C1013867	0.0622117	0.181786	0.181786	0.181786	0.600306	0.181786	0.181786	0.181786	0.	0.0937739	0.609028	3.28336	0.609028	0.609028	0.613741	0.613741	0.621117	0.613741	0.811493	0.292496
C1181815	0.055013	0.105889	0.105889	0.105889	0.649265	0.105889	0.105889	0.105889	0.0937739	0.	0.662721	3.22725	0.662721	0.662721	0.521992	0.521992	0.673068	0.521992	0.787192	0.202877
C1047247	0.611124	0.651552	0.651552	0.651552	0.0401837	0.651552	0.651552	0.651552	0.609028	0.662721	0.	3.11529	0.	0.	1.11867	1.11867	0.018276	1.11867	0.623063	0.749622
C1000236	3.22505	3.12177	3.12177	3.12177	3.07091	3.12177	3.12177	3.12177	3.28336	3.22725	3.11529	0.	3.11529	3.06	3.06	3.09948	3.06	3.06	2.53092	3.0596
C1047247	0.611124	0.651552	0.651552	0.651552	0.0401837	0.651552	0.651552	0.651552	0.609028	0.662721	0.	3.11529	0.	0.	1.11867	1.11867	0.018276	1.11867	0.623063	0.749622
C1047247	0.611124	0.651552	0.651552	0.651552	0.0401837	0.651552	0.651552	0.651552	0.609028	0.662721	0.	3.11529	0.	0.	1.11867	1.11867	0.018276	1.11867	0.623063	0.749622
C5001025	0.570117	0.481276	0.481276	0.481276	1.09429	0.481276	0.481276	0.481276	0.613741	0.521992	1.11867	3.06	1.11867	1.11867	0.	0.	1.12411	0.	0.953613	0.370472
C5001025	0.570117	0.481276	0.481276	0.481276	1.09429	0.481276	0.481276	0.481276	0.613741	0.521992	1.11867	3.06	1.11867	1.11867	0.	0.	1.12411	0.	0.953613	0.370472
C1100247	0.621769	0.659381	0.659381	0.659381	0.0332739	0.659381	0.659381	0.659381	0.621117	0.673068	0.018276	3.09948	0.018276	0.018276	1.12411	1.12411	0.	1.12411	0.611895	0.755736
C5001025	0.570117	0.481276	0.481276	0.481276	1.09429	0.481276	0.481276	0.481276	0.613741	0.521992	1.11867	3.06	1.11867	1.11867	0.	0.	1.12411	0.	0.953613	0.370472
C1034041	0.764424	0.696777	0.696777	0.696777	0.583963	0.696777	0.696777	0.696777	0.811493	0.787192	0.623063	2.53092	0.623063	0.623063	0.953613	0.953613	0.611895	0.953613	0.	0.699733
C1000287	0.234208	0.120577	0.120577	0.120577	0.72664	0.120577	0.120577	0.120577	0.292496	0.202877	0.749622	3.0596	0.749622	0.749622	0.370472	0.370472	0.755736	0.370472	0.699733	0.
C1000301	0.211573	0.126488	0.126488	0.126488	0.757968	0.126488	0.126488	0.126488	0.261492	0.167718	0.777853	3.13129	0.777853	0.777853	0.360542	0.360542	0.785489	0.360542	0.77062	0.0748161
C1000265	6.83171	6.94888	6.94888	6.94888	6.61387	6.94888	6.94888	6.94888	6.77426	6.86671	6.57372	9.44828	6.57372	6.57372	7.35159	7.35159	6.58356	7.35159	7.19049	7.06591
C1100247	0.621769	0.659381	0.659381	0.659381	0.0332739	0.659381	0.659381	0.659381	0.621117	0.673068	0.018276	3.09948	0.018276	0.018276	1.12411	1.12411	0.	1.12411	0.611895	0.755736

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Paso 2 Cálculo de ahorros.** - Se muestra la matriz de ahorros del conjunto de clientes para construir la ruta óptima expresado en millas por minuto. Ver tabla 3.7.

**Tabla 3.7 Matriz de ahorros para pedidos de clientes del día 7 junio 2019 al segundo corte de planificación**

	C1000297	C1000297	C1000297	C1034160	C1000297	C1000297	C1000297	C1013867	C1181815	C1047247	C1000236	C1047247	C1047247	C5001025	C5001025	C1100247	C5001025	C1034041	
C1000297																			
C1000297	0.240295																		
C1000297	0.240295	0.240295																	
C1034160	0.0064763	0.0064763	0.0064763																
C1000297	0.240295	0.240295	0.240295	0.0064763															
C1000297	0.240295	0.240295	0.240295	0.0064763	0.240295														
C1000297	0.240295	0.240295	0.240295	0.0064763	0.240295	0.240295													
C1013867	0.000573413	0.000573413	0.000573413	0.0003216	0.000573413	0.000573413	0.000573413												
C1181815	0.067272	0.067272	0.067272	0.00224453	0.067272	0.067272	0.067272	0.0214509											
C1047247	0.0797202	0.0797202	0.0797202	1.16944	0.0797202	0.0797202	0.0797202	0.0643077	0.00141638										
C1000236	0.223427	0.223427	0.223427	0.744639	0.223427	0.223427	0.223427	0.00590138	0.0506128	0.720887									
C1047247	0.0797202	0.0797202	0.0797202	1.16944	0.0797202	0.0797202	0.0797202	0.0643077	0.00141638	1.22225	0.720887								
C1047247	0.0797202	0.0797202	0.0797202	1.16944	0.0797202	0.0797202	0.0797202	0.0643077	0.00141638	1.22225	0.720887	1.22225							
C5001025	0.208989	0.208989	0.208989	0.0743248	0.208989	0.208989	0.208989	0.0185879	0.101139	0.0625685	0.735171	0.0625685	0.0625685						
C5001025	0.208989	0.208989	0.208989	0.0743248	0.208989	0.208989	0.208989	0.0185879	0.101139	0.0625685	0.735171	0.0625685	0.0625685	1.14023					
C1100247	0.0025355	0.0025355	0.0025355	1.18699	0.0025355	0.0025355	0.0025355	0.0628632	0.00171422	1.21462	0.747334	1.21462	1.21462	0.0677764	0.0677764				
C5001025	0.208989	0.208989	0.208989	0.0743248	0.208989	0.208989	0.208989	0.0185879	0.101139	0.0625685	0.735171	0.0625685	0.0625685	1.14023	1.14023	0.0677764			
C1034041	0.107795	0.107795	0.107795	0.778957	0.107795	0.107795	0.107795	0.0151423	0.0302443	0.751605	1.45055	0.751605	0.751605	0.308928	0.308928	0.774297	0.308928		
C1000237	0.233779	0.233779	0.233779	0.106065	0.233779	0.233779	0.233779	0.00392457	0.0043441	0.0957105	0.399657	0.0957105	0.0957105	0.433854	0.433854	0.100241	0.433854	0.298899	
C1000301	0.205233	0.205233	0.205233	0.0521012	0.205233	0.205233	0.205233	0.0122934	0.0066886	0.0448446	0.305331	0.0448446	0.0448446	0.421148	0.421148	0.0478527	0.421148	0.205377	
C1000265	0.00297122	0.00297122	0.00297122	0.016333	0.00297122	0.00297122	0.00297122	0.11966	0.0100131	0.069108	0.608472	0.069108	0.069108	0.0502372	0.0502372	0.069916	0.0502372	0.405645	
C1100247	0.0025355	0.0025355	0.0025355	1.18699	0.0025355	0.0025355	0.0025355	0.0628632	0.00171422	1.21462	0.747334	1.21462	1.21462	0.0677764	0.0677764	1.24354	0.0677764	0.774297	

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Paso 3 Mejorar unión y Paso 4 Eliminar de futuras consideraciones.** - En estos pasos el algoritmo considera las ventanas horarias y capacidad, vuelve al paso 2 en caso de no considerar un pedido dentro del horario, para luego arrojar su resultado de rutas creadas. La tabla 3.8 muestra los resultados de los pedidos y conjunto de clientes agrupados.

**Tabla 3.8 Resultados del algoritmo para agrupación de clientes**

Iter	Ruta	Volumen	Tiempo
1	{1, 7, 1}	34.	6 minutes
2	{1, 18, 1}	29.	25 minutes
3	{1, 13, 11, 14, 1}	27.	20 minutes
4	{1, 23, 17, 5, 22, 1}	27.3	2 hours 38 minutes
5	{1, 15, 20, 1}	28.4	25 minutes
6	{1, 6, 3, 2, 4, 8, 1}	25.01	6 minutes
7	{1, 16, 12, 19, 21, 1}	23.06	1 hour 47 minutes
8	{1, 9, 10, 1}	27.9	8 minutes

*Fuente: Elaboración propia, 2020*

**Paso 5 Cálculo de Costos.** - Finalmente se presentan los costos del recorrido por cada ruta generada. Ver tabla de resultados 3.9.

**Tabla 3.9 Resultados del caso real, simulación 82 correspondiente al 7 junio 2019**

ITERACION /RUTA CREADA	POSICION DE CLIENTES CON RUTA OPTIMA	DEMANDA /CAPACIDAD OCUPADA m3	TIEMPO RECORRIDO	TIEMPO SERVICIO MINUTOS	TIEMPO TOTAL MINUTOS	DIFERENCIA PARA CUBRIR VOLUMEN	OBSERVACION / ESTADO DE CARGA	KM. A RECORRER	COSTO POR VIAJE RECORRIDO	SALIDA AL VIAJE SI O NO
1	{1, 7, 1}	34	6 minutes	20	26	4	Debe_Distribuir_en_otro transporte	3.45417 kilometers	\$ 98,05	SI
2	{1, 18, 1}	29	25 minutes	20	45	-1	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	21.4143 kilometers	\$ 101,46	SI
3	{1, 13, 11, 14, 1}	27	20 minutes	20	40	-3	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	17.6159 kilometers	\$ 100,74	SI
4	{1, 23, 17, 5, 22, 1}	28,26	2 hours 44 minutes	80	244	-2,7	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	199.532 kilometers	\$ 135,30	SI
5	{1, 15, 20, 1}	28,4	25 minutes	40	65	-1,6	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	22.1171 kilometers	\$ 101,59	SI
6	{1, 6, 3, 2, 4, 8, 1}	25,01	6 minutes	20	45	-4,99	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	3.45417 kilometers	\$ 98,05	SI
7	{1, 16, 12, 19, 21, 1}	23,06	1 hour 47 minutes	80	187	-6,94	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	116.269 kilometers	\$ 119,48	SI
8	{1, 9, 10, 1}	27,9	8 minutes	40	48	-2,1	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	5.12271 kilometers	\$ 98,36	SI

<b>COSTO FIJO</b>	\$ 97,39
<b>COSTO VARIABLE POR KM. RECORRIDO</b>	\$ 0,19
<b>OCUPACION PARA MEDICIÓN DEL VEHÍCULO PARA KPI (m3)</b>	27

	m3	% DE OCUPACIÓN
<b>PROMEDIO DE M3 ESTE CORTE</b>	<b>27,83</b>	103%
<b>PROMEDIO DE M3 SIN ENVIO DE RUTAS OPTIMAS</b>		0%

Fuente: Elaboración propia, 2020

En la tabla 3.10 se muestra los 8 vehículos asignados al conjunto de clientes. Se presentan dos casos particulares en los vehículos 4 y 7. El vehículo 4 entrega pedidos de clientes asignados en el centro de Guayaquil y para cumplir con las entregas a tiempo al cliente completa el vehículo con 1 cliente de Playas. El vehículo 7 completa su ruta con clientes del norte de Guayaquil y permite viajar a Milagro y Durán para cumplir con otras entregas.

**Tabla 3.10 Vehículos asignados por el algoritmo al conjunto de clientes**

SECUENCIA	CODIGO CLIENTE	COORD_X	COORD_Y	VOLUMEN DE PEDIDO	TIEMPO SERVICIO MINUTOS	HORARIO ATENCION MIN	HORARIO ATENCION MAX	FECHA DE INGRESO	HORA INGRESO	RANGO PLANIF.	CIUDAD	NOMBRE_CLIENTE	VEHICULO ASIGNADO
7	C1000297	-2,13645	-79,90337	34	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	9:51:51	2	GUAYAQUIL	FLORES CABRERA JENNY ELIZABETH	VEHICULO 1 - C1
18	C5001025	-2,08904	-79,89509	29	20,00	9:00:00	19:00:00	07/06/2019	11:39:31	2	GUAYAQUIL	LINEAS VARIAS ECUADISTRI S,A,	VEHICULO 2 -C1
13	C1047247	-2,2009	-79,89381	9,8	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	10:56:50	2	GUAYAQUIL	REYES AMORES SABY KARINA	VEHICULO 3-C1
11	C1047247	-2,2009	-79,89381	9	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	10:20:45	2	GUAYAQUIL	REYES AMORES SABY KARINA	VEHICULO 3-C1
14	C1047247	-2,2009	-79,89381	8,2	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	10:58:31	2	GUAYAQUIL	REYES AMORES SABY KARINA	VEHICULO 3-C1
23	C1100247	-2,20141	-79,892055	8	20,00	9:00:00	18:00:00	07/06/2019	12:07:18	2	GUAYAQUIL	FRANCO ESTRADA ELIZABETH DEL ROCIO	VEHICULO 4-C1
17	C1100247	-2,20141	-79,892055	2	20,00	9:00:00	18:00:00	07/06/2019	11:38:36	2	GUAYAQUIL	FRANCO ESTRADA ELIZABETH DEL ROCIO	VEHICULO 4-C1
5	C1034160	-2,19838	-79,89068	13,5	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	9:49:20	2	GUAYAQUIL	PINTAG ROJALEMA ANGEL RICARDO	VEHICULO 4-C2
22	C1000265	-2,63479	-80,38765	3,8	20,00	9:00:00	18:00:00	07/06/2019	12:01:23	2	PLAYAS	GUALLI QUITIO HILARIA	VEHICULO 4-C3
15	C5001025	-2,08904	-79,89509	25	20,00	9:00:00	19:00:00	07/06/2019	11:02:33	2	GUAYAQUIL	LINEAS VARIAS ECUADISTRI S,A,	VEHICULO 5-C1
20	C1000287	-2,12602	-79,89732	3,4	20,00	9:00:00	18:00:00	07/06/2019	11:42:29	2	GUAYAQUIL	RIERA MARIN ADRIANA CAROLINA	VEHICULO 5-C2
2	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,63	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	9:42:18	2	GUAYAQUIL	FLORES CABRERA JENNY ELIZABETH	VEHICULO 6 -C1
3	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,46	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	9:43:52	2	GUAYAQUIL	FLORES CABRERA JENNY ELIZABETH	VEHICULO 6 -C1
4	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,46	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	9:44:34	2	GUAYAQUIL	FLORES CABRERA JENNY ELIZABETH	VEHICULO 6 -C1
6	C1000297	-2,13645	-79,90337	21,8	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	9:46:31	2	GUAYAQUIL	FLORES CABRERA JENNY ELIZABETH	VEHICULO 6 -C1
8	C1000297	-2,13645	-79,90337	1,66	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	9:56:01	2	GUAYAQUIL	FLORES CABRERA JENNY ELIZABETH	VEHICULO 6 -C1
16	C5001025	-2,08904	-79,89509	6	20,00	9:00:00	19:00:00	07/06/2019	11:11:58	2	GUAYAQUIL	LINEAS VARIAS ECUADISTRI S,A,	VEHICULO 7-C1
12	C1000236	-2,12624	-79,59136	0,96	20,00	8:00:00	18:00:00	07/06/2019	10:29:17	2	MILAGRO	REA BALLAGAN FREDDY BALTAZAR	VEHICULO 7-C2
19	C1034041	-2,16761	-79,841048	11	20,00	9:00:00	18:00:00	07/06/2019	11:42:56	2	DURAN	SANGA MOROCHO LUIS ALFREDO	VEHICULO 7-C3
21	C1000301	-2,12385	-79,90448	5,1	20,00	9:00:00	19:00:00	07/06/2019	11:59:12	2	GUAYAQUIL	FLORES CABRERA PATRICIA ALEXANDRA	VEHICULO 7-C4
9	C1013867	-2,14551	-79,91913	8,9	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	10:05:27	2	GUAYAQUIL	SANCHEZ SANCHEZ TEODOBERTO XAVIER	VEHICULO 8 C-1
10	C1181815	-2,13774	-79,91388	19	20,00	9:00:00	17:00:00	07/06/2019	10:13:58	2	GUAYAQUIL	CHAIDECENTER S, A,	VEHICULO 8 C-2

Fuente: Elaboración propia, 2020

# CAPÍTULO 4

## 4. RESULTADOS DEL CVRPTW

### 4.1 Datos para aplicación del algoritmo de ahorros Clarke & Wright adaptado con ventanas de tiempo

Inicialmente se considera los datos utilizados en la configuración del algoritmo.

Se trabaja con una velocidad promedio de 60 km/h, considerando como promedio para recorridos dentro de la ciudad y provincias.

Se considera un vehículo 4.5 tn. con una capacidad máxima del furgón a 30 m<sup>3</sup>. Para las mediciones de capacidad se mantiene el rango en 27 m<sup>3</sup>.

Se estima el rendimiento de combustible en 1 galón por cada 20 kilómetros aproximadamente y los vehículos disponen de un tanque de combustible para 25 galones de diésel con lo que permite al vehículo un recorrido de 500 kilómetros aproximadamente.

El promedio en tiempo de servicio de entrega para cada cliente se mantiene en 20 minutos, debido a que existen clientes cuya recepción no es inmediata, adicional ciertos pedidos contienen variedad de accesorios.

Las ventanas horarias de recepción de clientes están consideradas en minutos en la base de datos creada en Excel al momento de ejecutar cada corte. De acuerdo con la construcción y desempeño del algoritmo, los resultados obtenidos dependerán del ahorro en distancias, si se cumple con la capacidad del vehículo y si cumple las restricciones de ventana de tiempo. Cabe resaltar que las ventanas horarias para esta segmentación de clientes son blandas.

La distancia entre clientes de un nodo a otro en el modelo se calcula a través de la distancia Euclidiana dada por la fórmula:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (4.1)$$

Definida entre los puntos  $i, j$  que se encuentran ubicados sobre una recta, como la raíz cuadrada del cuadrado de las diferencias de sus coordenadas  $x$ . Y está garantizado que la distancia entre dos puntos sea siempre positiva y la distancia entre  $i$  y  $j$  sea igual a la distancia  $j$  y  $i$  (Pérez, 2020).

Los cálculos para las distancias y matriz de ahorros están configurados en millas por minutos en la programación.

## 4.2 Resultados de la heurística

Para la obtención de resultados se realizan simulaciones en Wolfram Mathematica aplicando la heurística de Clarke & Wright adicionando ventanas de tiempo y capacidad, se tomó una muestra de 11 días aleatorios por cada uno de los meses de estudio mayo a julio 2019, aplicando 3 cortes al día según los rangos de planificación establecidos en el capítulo 3.6, generando un total de 99 simulaciones que permiten reflejar resultados y alcanzar el objetivo principal que es la optimización de rutas, atención a clientes a tiempo y minimización de costos.

Es importante resaltar que las ventanas horarias de los clientes son blandas, en su mayoría de clientes, de esta manera facilita la asignación a rutas y vehículos.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos en un día de trabajo con los 3 cortes de planificación. 09h30, 12h30, 15h30.

**Día 1:** En el día 1 se ingresaron 49 pedidos de diferentes clientes, debido a la reserva de datos que solicita la empresa, se muestra sólo el código del cliente y la ciudad. La tabla 4.1 muestra el detalle de fecha, hora de ingreso aprobado, volumen de pedidos y rango de planificación, también se observa que el mismo código del cliente realiza varios pedidos en el día, algunos clientes realizan su pedido en medida que efectúan la venta, en otros casos son

cadena de tiendas donde cada pedido implica una orden de compra diferente.

**Tabla 4.1 Ingreso de pedidos en el día 1**

SECUENCIA	C_CODIGO	CODIGO CLIENTE	COORD_X	COORD_Y	VOLUMEN/ DEMANDA PEDIDO	TIEMPO SERVICIO MINUTOS	HORARIO ATENCION MIN	HORARIO ATENCION MAX	FECHA DE INGRESO	HORA INGRESO	RANGO PLANIF.	CIUDAD
2	5001025	C5001025	-2,089043	-79,89509	12,30	20,00	9:00:00	19:00:00	01/05/2019	8:10:33	1	GUAYAQUIL
3	5001025	C5001025	-2,089043	-79,89509	3,80	20,00	9:00:00	19:00:00	01/05/2019	8:20:43	1	GUAYAQUIL
4	1000297	C1000297	-2,13645	-79,90337	30,00	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:29:59	1	GUAYAQUIL
5	1000297	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,83	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:29:59	1	GUAYAQUIL
6	1000501	C1000501	-2,194186	-79,886272	29,00	20,00	10:00:00	15:00:00	01/05/2019	8:17:00	1	GUAYAQUIL
7	1000297	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,40	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:37:16	1	GUAYAQUIL
8	1000297	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,85	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:39:01	1	GUAYAQUIL
9	1000297	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,96	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:42:11	1	GUAYAQUIL
10	1000122	C1000122	-2,195286	-79,88641024	0,83	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:44:08	1	GUAYAQUIL
11	1000297	C1000297	-2,13645	-79,90337	4,30	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:43:20	1	GUAYAQUIL
12	1000501	C1000501	-2,194186	-79,886272	3,80	20,00	10:00:00	15:00:00	01/05/2019	8:43:14	1	GUAYAQUIL
13	1000122	C1000122	-2,195286	-79,88641024	22,00	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:47:04	1	GUAYAQUIL
14	1061642	C1061642	-2,141759	-79,908829	0,96	20,00	9:00:00	18:00:00	01/05/2019	9:08:21	1	GUAYAQUIL
15	1052675	C1052675	-3,261676	-79,95506382	32	20,00	480,00	1080	01/05/2019	9:09:41	1	MACHALA
16	1052675	C1052675	-3,261676	-79,95506382	30	20,00	480,00	1080	01/05/2019	9:13:35	1	MACHALA
17	1052675	C1052675	-3,261676	-79,95506382	8	20,00	480,00	1080	01/05/2019	9:18:40	1	MACHALA
18	1088022	C1088022	-3,259805	-79,956324	11	20,00	420,00	1020	01/05/2019	9:23:27	1	MACHALA
19	1088022	C1088022	-3,259805	-79,956324	3,9	20,00	420,00	1020	01/05/2019	9:16:44	1	MACHALA
20	1000501	C1000501	-2,194186	-79,886272	12,00	20,00	10:00:00	15:00:00	01/05/2019	9:27:25	1	GUAYAQUIL
2	1000501	C1000501	-2,194186	-79,886272	3,00	20,00	10:00:00	15:00:00	01/05/2019	9:59:57	2	GUAYAQUIL
3	1061642	C1061642	-2,141759	-79,908829	10,00	20,00	9:00:00	18:00:00	01/05/2019	10:05:20	2	GUAYAQUIL
4	1001122	C1001122	-2,226082	-80,91051175	27,30	20,00	8:00:00	18:00:00	01/05/2019	10:08:52	2	LIBERTAD
5	1100247	C1100247	-2,201417	-79,892055	10,00	20,00	9:00:00	18:00:00	01/05/2019	10:12:08	2	GUAYAQUIL
6	1047247	C1047247	-2,200909	-79,89381361	21,00	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	10:34:34	2	GUAYAQUIL
7	1047247	C1047247	-2,200909	-79,89381361	15,00	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	10:41:42	2	GUAYAQUIL
8	1049223	C1049223	-2,13547	-79,88794	14,00	20,00	15:00:00	17:00:00	01/05/2019	10:38:28	2	GUAYAQUIL
9	1047247	C1047247	-2,200909	-79,89381361	3,40	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	10:53:35	2	GUAYAQUIL
10	1000020	C1000020	-3,259099	-79,95580089	10,20	20,00	8:00:00	18:00:00	01/05/2019	10:55:54	2	MACHALA
11	1000018	C1000018	-3,259795	-79,95571446	5,90	20,00	8:00:00	18:00:00	01/05/2019	11:01:49	2	MACHALA
12	1000019	C1000019	-3,255748	-79,95342839	12,00	20,00	8:00:00	18:00:00	01/05/2019	11:18:23	2	MACHALA
13	1042316	C1042316	-1,043698	-79,63776732	20,00	20,00	8:00:00	18:00:00	01/05/2019	11:31:18	2	EMPALME
14	1000178	C1000178	-2,095808	-79,93654312	27,50	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	11:36:50	2	GUAYAQUIL
15	1061642	C1061642	-2,141759	-79,908829	0,96	20,00	9:00:00	18:00:00	01/05/2019	11:37:23	2	GUAYAQUIL
16	1016842	C1016842	-2,191057	-79,88395047	8,00	20,00	10:00:00	15:00:00	01/05/2019	11:49:42	2	GUAYAQUIL
17	1047247	C1047247	-2,200909	-79,89381361	4,00	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	11:54:05	2	GUAYAQUIL
18	1000229	C1000229	-2,125234	-79,59045569	8,00	20,00	8:00:00	18:00:00	01/05/2019	12:28:00	2	MILAGRO
2	1000301	C1000301	-2,12385	-79,90448	4,30	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	12:42:05	3	GUAYAQUIL
3	1000301	C1000301	-2,12385	-79,90448	31,00	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	13:16:03	3	GUAYAQUIL
4	1034160	C1034160	-2,198388	-79,89068699	7,40	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	13:32:27	3	GUAYAQUIL
5	1016842	C1016842	-2,191057	-79,88395047	6,00	20,00	10:00:00	15:00:00	01/05/2019	13:35:24	3	GUAYAQUIL
6	1016842	C1016842	-2,191057	-79,88395047	4,00	20,00	10:00:00	15:00:00	01/05/2019	14:00:45	3	GUAYAQUIL
7	1000122	C1000122	-2,195286	-79,88641024	0,46	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	14:23:48	3	GUAYAQUIL
8	1100247	C1100247	-2,201417	-79,892055	1,80	20,00	9:00:00	18:00:00	01/05/2019	14:31:01	3	GUAYAQUIL
9	1100247	C1100247	-2,201417	-79,892055	8,00	20,00	9:00:00	18:00:00	01/05/2019	14:59:12	3	GUAYAQUIL
10	1000178	C1000178	-2,095808	-79,93654312	12,00	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	15:04:38	3	GUAYAQUIL
11	5001025	C5001025	-2,089043	-79,89509	4,30	20,00	9:00:00	19:00:00	01/05/2019	15:13:25	3	GUAYAQUIL
12	1000020	C1000020	-3,259099	-79,95580089	33,00	20,00	8:00:00	18:00:00	01/05/2019	15:29:58	3	MACHALA
13	1022462	C1022462	-2,227424	-80,91980292	14,00	20,00	8:00:00	18:00:00	01/05/2019	15:33:18	3	LIBERTAD
14	1000326	C1000326	-2,101303	-79,92831322	21,00	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	15:31:27	3	GUAYAQUIL

Fuente: Elaboración propia, 2020

- **Planificación por ingreso de pedidos día 1 corte 1 para ejecutar modelo de Ruteo 09:30**

En base a la propuesta se planifica el primer rango de horario 15:30 del día anterior a 09:30 del día siguiente, lo que refleja 19 pedidos listos para programar. Al subir la información a la programación Wolfram Mathematica, el modelo refleja el siguiente resultado.

1. Reconoce la información en tabla de clientes de la base de datos con sus coordenadas, tamaño del pedido, tiempo de servicio, horarios de atención (ver tabla 4.2).

**Tabla 4.2 Tabla de coordenadas planificación del día 1 – corte 1**

Nodo	Coordenada $x_i$	Coordenada $y_i$	Tamaño del pedido $a_i$	Tiempo de Operación del Cliente $a_i$	Tiempo de $V_{min}$ del Cliente $a_i$	Tiempo de $V_{max}$ del Cliente $a_i$
CCDDGYE	-2.14302	-79.9134	0.	20.	480.	1080.
C5001025	-2.08904	-79.8951	12.3	20.	540.	1140.
C5001025	-2.08904	-79.8951	3.8	20.	540.	1140.
C1000297	-2.13645	-79.9034	30.	20.	540.	1020.
C1000297	-2.13645	-79.9034	0.83	20.	540.	1020.
C1000501	-2.19419	-79.8863	29.	20.	600.	900.
C1000297	-2.13645	-79.9034	0.4	20.	540.	1020.
C1000297	-2.13645	-79.9034	0.85	20.	540.	1020.
C1000297	-2.13645	-79.9034	0.96	20.	540.	1020.
C1000122	-2.19529	-79.8864	0.83	20.	540.	1020.
C1000297	-2.13645	-79.9034	4.3	20.	540.	1020.
C1000501	-2.19419	-79.8863	3.8	20.	600.	900.
C1000122	-2.19529	-79.8864	22.	20.	540.	1020.
C1061642	-2.14176	-79.9088	0.96	20.	540.	1080.
C1052675	-3.26168	-79.9551	32.	20.	480.	1080.
C1052675	-3.26168	-79.9551	30.	20.	480.	1080.
C1052675	-3.26168	-79.9551	8.	20.	480.	1080.
C1088022	-3.25981	-79.9563	11.	20.	420.	1020.
C1088022	-3.25981	-79.9563	3.9	20.	420.	1020.
C1000501	-2.19419	-79.8863	12.	20.	600.	900.

Fuente: Elaboración propia, 2020

2. Se calcula la matriz de distancias (ver tabla 4.3).

**Tabla 4.3 Matriz de distancias planificación del día 1 – corte 1**

	CCDDGYE	C5001025	C5001025	C1000297	C1000297	C1000501	C1000297	C1000297	C1000297	C1000122	C1000297	C1000501	C1000122	C1061642	C1052675	C1052675	C1052675	C1088022	C1088022
CCDDGYE	0.	0.72317	0.72317	0.1663	0.1663	0.7832	0.1663	0.1663	0.1663	0.792018	0.1663	0.7832	0.792018	0.65862	11.6829	11.6829	11.6829	11.5968	11.5968
C5001025	0.72317	0.	0.	0.55687	0.55687	1.13961	0.55687	0.55687	0.55687	1.14923	0.55687	1.13961	1.14923	0.66455	12.3261	12.3261	12.3261	12.32	12.32
C5001025	0.72317	0.	0.	0.55687	0.55687	1.13961	0.55687	0.55687	0.55687	1.14923	0.55687	1.13961	1.14923	0.66455	12.3261	12.3261	12.3261	12.32	12.32
C1000297	0.1663	0.55687	0.55687	0.	0.	0.74834	0.	0.	0.	0.757958	0.	0.74834	0.757958	0.18768	11.7692	11.7692	11.7692	11.7631	11.7631
C1000297	0.1663	0.55687	0.55687	0.	0.	0.74834	0.	0.	0.	0.757958	0.	0.74834	0.757958	0.18768	11.7692	11.7692	11.7692	11.7631	11.7631
C1000501	0.7832	1.13961	1.13961	0.74834	0.74834	0.	0.74834	0.74834	0.74834	0.8123824	0.74834	0.	0.8123824	0.74984	11.3628	11.3628	11.3628	11.3567	11.3567
C1000297	0.1663	0.55687	0.55687	0.	0.	0.74834	0.	0.	0.	0.757958	0.	0.74834	0.757958	0.18768	11.7692	11.7692	11.7692	11.7631	11.7631
C1000297	0.1663	0.55687	0.55687	0.	0.	0.74834	0.	0.	0.	0.757958	0.	0.74834	0.757958	0.18768	11.7692	11.7692	11.7692	11.7631	11.7631
C1000297	0.1663	0.55687	0.55687	0.	0.	0.74834	0.	0.	0.	0.757958	0.	0.74834	0.757958	0.18768	11.7692	11.7692	11.7692	11.7631	11.7631
C1000122	0.792018	1.14923	1.14923	0.757958	0.757958	0.8123824	0.757958	0.757958	0.757958	0.	0.757958	0.8123824	0.	0.759458	11.3594	11.3594	11.3594	11.3443	11.3443
C1000297	0.1663	0.55687	0.55687	0.	0.	0.74834	0.	0.	0.	0.757958	0.	0.74834	0.757958	0.18768	11.7692	11.7692	11.7692	11.7631	11.7631
C1000501	0.7832	1.13961	1.13961	0.74834	0.74834	0.	0.74834	0.74834	0.74834	0.8123824	0.74834	0.	0.8123824	0.74984	11.3628	11.3628	11.3628	11.3567	11.3567
C1000122	0.792018	1.14923	1.14923	0.757958	0.757958	0.8123824	0.757958	0.757958	0.757958	0.	0.757958	0.8123824	0.	0.759458	11.3594	11.3594	11.3594	11.3443	11.3443
C1061642	0.65862	0.66455	0.66455	0.18768	0.18768	0.74984	0.18768	0.18768	0.18768	0.759458	0.18768	0.74984	0.759458	0.	11.6615	11.6615	11.6615	11.6554	11.6554
C1052675	11.6829	12.3261	12.3261	11.7692	11.7692	11.3628	11.7692	11.7692	11.7692	11.3594	11.7692	11.3594	11.7692	11.3628	11.3594	11.3594	11.3594	11.3443	11.3443
C1052675	11.6829	12.3261	12.3261	11.7692	11.7692	11.3628	11.7692	11.7692	11.7692	11.3594	11.7692	11.3594	11.7692	11.3628	11.3594	11.3594	11.3594	11.3443	11.3443
C1052675	11.6829	12.3261	12.3261	11.7692	11.7692	11.3628	11.7692	11.7692	11.7692	11.3594	11.7692	11.3594	11.7692	11.3628	11.3594	11.3594	11.3594	11.3443	11.3443
C1088022	11.5968	12.32	12.32	11.7631	11.7631	11.3567	11.7631	11.7631	11.7631	11.3443	11.7631	11.3567	11.3443	11.6554	0.0313118	0.0313118	0.0313118	0.	0.
C1088022	11.5968	12.32	12.32	11.7631	11.7631	11.3567	11.7631	11.7631	11.7631	11.3443	11.7631	11.3567	11.3443	11.6554	0.0313118	0.0313118	0.0313118	0.	0.
C1000501	0.7832	1.13961	1.13961	0.74834	0.74834	0.	0.74834	0.74834	0.74834	0.8123824	0.74834	0.	0.8123824	0.74984	11.3628	11.3628	11.3628	11.3567	11.3567

Fuente: Elaboración propia, 2020

3. Se genera la tabla de ahorros de distancias en base a la distancia Euclidiana (ver tabla 4.4).

**Tabla 4.4 Matriz de ahorros generada planificación del día 1 – corte 1**

Tabla de ahorros (savings)																			
	C5001025	C5001025	C1000297	C1000297	C1000501	C1000297	C1000297	C1000122	C1000297	C1000501	C1000122	C1001642	C1052675	C1052675	C1052675	C1000022	C1000022	C1000501	
C5001025	1.44634																		
C1000297	0.3326	0.3326																	
C1000501	0.36676	0.36676	0.20116																
C1000122	0.36676	0.36676	0.20116	1.56364															
C1001642	0.11724	0.11724	0.11724	0.09190	0.11724														
C1052675	0.	0.	0.	1.02328	0.	0.	0.	1.04528	0.	1.02328	1.04528	-1.77636 x 10 <sup>-25</sup>							
C1052675	0.	0.	0.	1.02328	0.	0.	0.	1.04528	0.	1.02328	1.04528	-1.77636 x 10 <sup>-25</sup>	23.2058						
C1052675	0.	0.	0.	1.02328	0.	0.	0.	1.04528	0.	1.02328	1.04528	-1.77636 x 10 <sup>-25</sup>	23.2058	23.2058					
C1000022	0.	0.	0.	1.02328	0.	0.	0.	1.04528	0.	1.02328	1.04528	0.	23.1684	23.1684	23.1684				
C1000501	0.36676	0.36676	0.20116	1.5664	0.20116	0.20116	0.20116	1.56364	0.20116	1.56364	0.09190	0.09190	1.02328	1.02328	1.02328	1.02328	1.02328	1.02328	

Fuente: Elaboración propia, 2020

- Se ejecuta el modelo CVRPTW que calcula las rutas factibles para atender a los clientes del corte para rango horario hasta las 09:30.
- Se muestran los resultados con las rutas factibles y recorridos donde se presenta la demanda total de los clientes asociados en la ruta, tiempo de recorrido, tiempos de servicio según la cantidad de clientes visitados, lo que falte o exceda para cubrir la capacidad del vehículo, kilómetros a recorrer, costos del recorrido y la decisión de enviar o no el vehículo en determinado corte (ver tabla 4.5).

**Tabla 4.5 Resultados de rutas reflejados en planificación del día 1 – corte 1**

ITERACION / RUTA CREADA	POSICION DE CLIENTES CON RUTA OPTIMA	DEMANDA /CAPACIDAD OCUPADA m3	TIEMPO RECORRIDO	TIEMPO SERVICIO ESTIMADO MINUTOS	DIFERENCIA PARA CUBRIR VOLUMEN	OBSERVACION / ESTADO DE CARGA	KM. A RECORRER	COSTO POR VIAJE RECORRIDO	SALIDA AL VIAJE SI O NO
1	{1, 4, 1}	30	6 minutes	20	0	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	3.45417 kilometers	\$ 98,05	SI
2	{1, 6, 1}	29	19 minutes	20	-1	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	16.6443 kilometers	\$ 100,55	SI
3	{1, 15, 1}	28	5 hours 24 minutes	20	-2	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	372.376 kilometers	\$ 168,14	SI
4	{1, 16, 1}	30	5 hours 24 minutes	20	0	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	372.376 kilometers	\$ 168,14	SI
5	{1, 17, 18, 19, 1}	28,9	5 hours 25 minutes	40	-1,1	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	373.025 kilometers	\$ 168,26	SI
6	{1, 10, 13, 1}	22,83	20 minutes	20	-7,17	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	17.1235 kilometers	\$ 100,64	NO
7	{1, 12, 20, 1}	15,8	19 minutes	20	-14,2	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	16.6443 kilometers	\$ 100,55	NO
8	{1, 11, 8, 5, 7, 9, 2, 3, 14, 1}	24,4	28 minutes	60	-5,6	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	23.0796 kilometers	\$ 101,78	NO

<b>COSTO FIJO</b>	\$ 97,39		
<b>COSTO VARIABLE POR KM. RECORRIDO</b>	\$ 0,19		
<b>OCUPACION PARA MEDICION DEL VEHICULO PARA KPI (m3)</b>	27,00		

<b>PROMEDIO DE m3 ESTE CORTE</b>	<b>29,18</b>	<b>% DE OCUPACIÓN</b>	<b>108%</b>
<b>PROMEDIO DE m3 SIN ENVIO DE RUTAS OPTIMAS</b>	<b>26,12</b>		<b>97%</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

El planificador interpreta los resultados del modelo de la tabla 4.5 que muestra 8 rutas factibles.

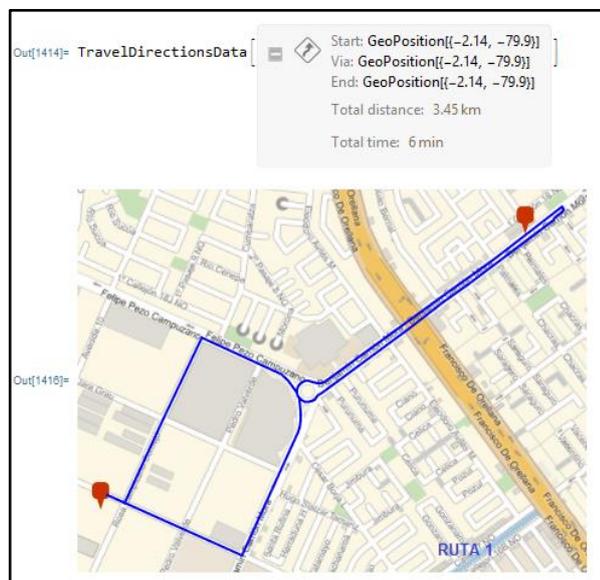
Para los clientes de las posiciones 4, 6, 15, 16, 17, 18, 19, se cumple con la capacidad de envío para lo que requerimos de 5 vehículos.

Para los clientes de las posiciones 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 14 que en total suma 3 clientes con varios pedidos realizados en dicha franja horaria, se debe definir por el planificador si el vehículo sale o no, pues aún dispone de tiempo de acuerdo con las ventanas horarias para atender en el segundo corte y completar capacidad.

Para los clientes de las posiciones 10,13 y 12,20 el sistema sugiere completar en un próximo vehículo.

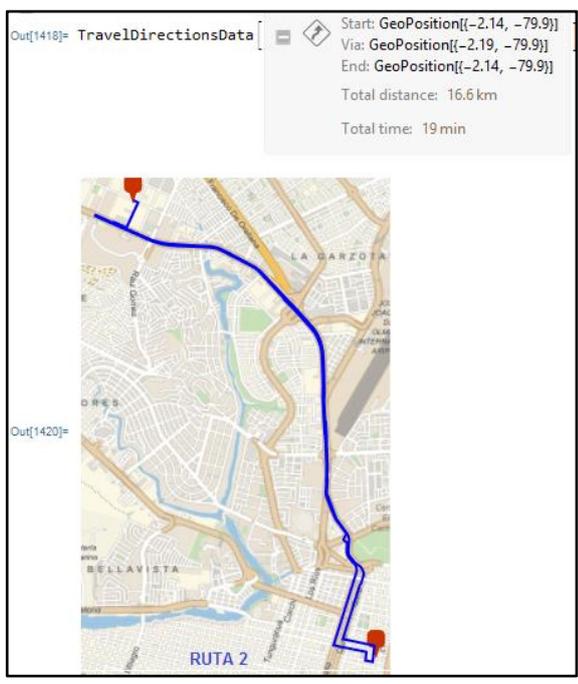
6. El desarrollo en Wolfram permite visualizar al planificador las rutas que tomará el transporte, los kilómetros a recorrer muestran los resultados de las rutas en el mapa y el tiempo de llegada al destino. Las figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 muestran las rutas recorridas que deciden enviarse en este corte con sus respectivas coordenadas.

**Figura 4.1 Resultados de ruta 1 día 1 – corte 1**



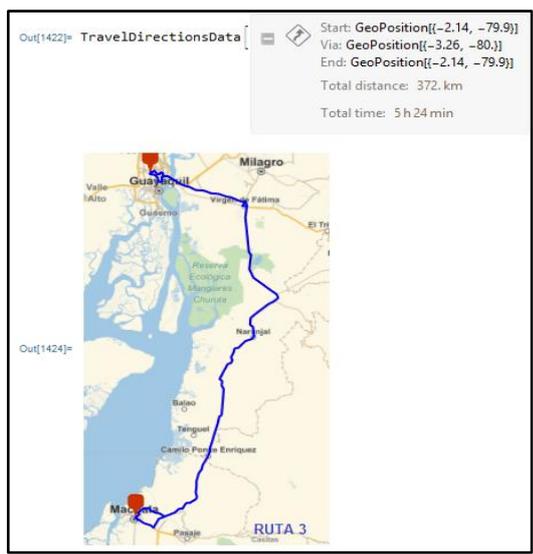
*Fuente: Elaboración propia, 2020*

**Figura 4.2 Resultados de ruta 2 día 1 – corte 1**



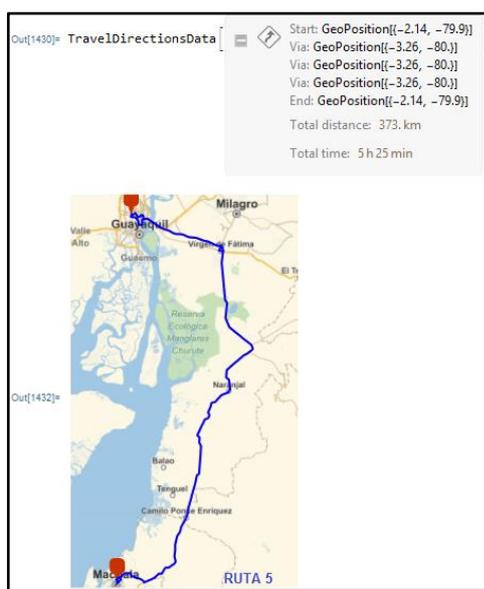
*Fuente: Elaboración propia, 2020*

**Figura 4.3 Resultados de ruta 3 y 4 día 1 – corte 1**



*Fuente: Elaboración propia, 2020*

**Figura 4.4 Resultados de ruta 5 día 1 – corte 1**



Fuente: Elaboración propia, 2020

- **Planificación por ingreso de pedidos día 1 corte 2 para ejecutar modelo de Ruteo**

El segundo corte de planificación será a las 12h30, en el que se consideran 17 pedidos ingresados adicional de los requerimientos que no pudieron cumplir su capacidad de carga en la primera programación. Ver tabla 4.6.

**Tabla 4.6 Corte de planificación del día 1 – corte 2**

SECUENCIA	CODIGO CLIENTE	COORD_X	COORD_Y	VOLUMEN DE PEDIDO	TIEMPO SERVICIO MINUTOS	HORARIO ATENCION MIN	HORARIO ATENCION MAX	FECHA DE INGRESO	HORA INGRESO	RANGO PLANIF.	CIUDAD
2	C5001025	-2,089043	-79,89509	12,30	20,00	9:00:00	19:00:00	01/05/2019	8:10:33	1	GUAYAQUIL
3	C5001025	-2,089043	-79,89509	3,80	20,00	9:00:00	19:00:00	01/05/2019	8:20:43	1	GUAYAQUIL
4	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,83	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:29:59	1	GUAYAQUIL
5	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,40	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:37:16	1	GUAYAQUIL
6	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,85	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:39:01	1	GUAYAQUIL
7	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,96	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:42:11	1	GUAYAQUIL
8	C1000122	-2,195286	-79,88641024	0,83	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:44:08	1	GUAYAQUIL
9	C1000297	-2,13645	-79,90337	4,30	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:43:20	1	GUAYAQUIL
10	C1000501	-2,194186	-79,886272	3,80	20,00	10:00:00	15:00:00	01/05/2019	8:43:14	1	GUAYAQUIL
11	C1000122	-2,195286	-79,88641024	22,00	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	8:47:04	1	GUAYAQUIL
12	C1061642	-2,141759	-79,908829	0,96	20,00	9:00:00	18:00:00	01/05/2019	9:08:21	1	GUAYAQUIL
13	C1000501	-2,194186	-79,886272	12,00	20,00	10:00:00	15:00:00	01/05/2019	9:27:25	1	GUAYAQUIL
14	C1000501	-2,194186	-79,886272	3,00	20,00	10:00:00	15:00:00	01/05/2019	9:59:57	2	GUAYAQUIL
15	C1061642	-2,141759	-79,908829	10,00	20,00	9:00:00	18:00:00	01/05/2019	10:05:20	2	GUAYAQUIL
16	C1001122	-2,226082	-80,91051175	27,30	20,00	8:00:00	18:00:00	01/05/2019	10:08:52	2	LIBERTAD
17	C1100247	-2,201417	-79,892055	10,00	20,00	9:00:00	18:00:00	01/05/2019	10:12:08	2	GUAYAQUIL
18	C1047247	-2,200909	-79,89381361	21,00	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	10:34:34	2	GUAYAQUIL
19	C1047247	-2,200909	-79,89381361	15,00	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	10:41:42	2	GUAYAQUIL
20	C1049223	-2,13547	-79,88794	14,00	20,00	15:00:00	17:00:00	01/05/2019	10:38:28	2	GUAYAQUIL
21	C1047247	-2,200909	-79,89381361	3,40	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	10:53:35	2	GUAYAQUIL
22	C1000020	-3,259099	-79,95580089	10,20	20,00	8:00:00	18:00:00	01/05/2019	10:55:54	2	MACHALA
23	C1000018	-3,259795	-79,95571446	5,90	20,00	8:00:00	18:00:00	01/05/2019	11:01:49	2	MACHALA
24	C1000019	-3,255748	-79,95342839	12,00	20,00	8:00:00	18:00:00	01/05/2019	11:18:23	2	MACHALA
25	C1042316	-1,043698	-79,63776732	20,00	20,00	8:00:00	18:00:00	01/05/2019	11:31:18	2	EMPALME
26	C1000178	-2,095808	-79,93654312	27,50	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	11:36:50	2	GUAYAQUIL
27	C1061642	-2,141759	-79,908829	0,96	20,00	9:00:00	18:00:00	01/05/2019	11:37:23	2	GUAYAQUIL
28	C1016842	-2,191057	-79,88395047	8,00	20,00	10:00:00	15:00:00	01/05/2019	11:49:42	2	GUAYAQUIL
29	C1047247	-2,200909	-79,89381361	4,00	20,00	9:00:00	17:00:00	01/05/2019	11:54:05	2	GUAYAQUIL
30	C1000229	-2,125234	-79,59045569	8,00	20,00	8:00:00	18:00:00	01/05/2019	12:28:00	2	MILAGRO

Fuente: Elaboración propia, 2020

En la planificación de 12h30 de la tarde. Luego de ejecutar el modelo, genera los siguientes resultados (ver tabla 4.7).

**Tabla 4.7 Resultados de ruta reflejados en la planificación del día 1 – corte 2**

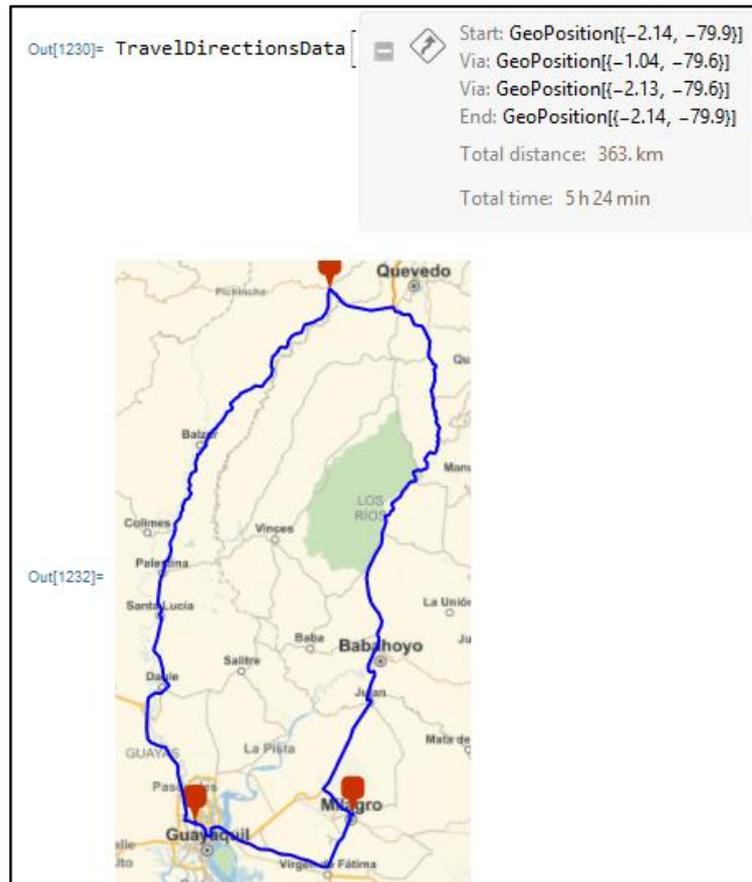
ITERACION / RUTA CREADA	POSICION DE CLIENTES CON RUTA OPTIMA	DEMANDA /CAPACIDAD OCUPADA m3	TIEMPO RECORRIDO	TIEMPO SERVICIO MINUTOS	DIFERENCIA PARA CUBRIR VOLUMEN	OBSERVACION / ESTADO DE CARGA	KM. A RECORRER	COSTO POR VIAJE RECORRIDO	SALIDA AL VIAJE SI O NO
1	{1, 16, 1}	27,3	3 hours 17 minutes	20	-2,7	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	271.716 kilometers	\$ 149,02	SI
2	{1, 26, 1}	27,5	17 minutes	20	-2,5	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	16.7021 kilometers	\$ 100,56	SI
3	{1, 23, 22, 24, 1}	28,1	5 hours 26 minutes	60	-1,9	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	374.42 kilometers	\$ 168,53	SI/ VIAJA DIA SIGUIENTE
4	{1, 25, 30, 1}	28	5 hours 24 minutes	40	-2	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	363.107 kilometers	\$ 166,38	SI
5	{1, 21, 18, 29, 1}	28,4	20 minutes	20	-1,6	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	17.6159 kilometers	\$ 100,74	SI
6	{1, 17, 19, 1}	25	22 minutes	20	-5	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	18.2507 kilometers	\$ 100,86	SI
7	{1, 8, 11, 1}	22,83	20 minutes	20	-7,17	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	17.1235 kilometers	\$ 100,64	SI
8	{1, 14, 10, 13, 28, 1}	26,8	21 minutes	40	-3,2	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	17.7595 kilometers	\$ 100,76	SI
9	{1, 9, 6, 4, 5, 7, 20, 1}	21,34	13 minutes	40	-8,66	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	9.29873 kilometers	\$ 99,16	SI
10	{1, 3, 2, 15, 12, 27, 1}	28,02	26 minutes	40	-1,98	Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo	22.2881 kilometers	\$ 101,62	SI
<b>COSTO FIJO</b>			\$ 97,39				<b>m3</b>	<b>% DE OCUPACIÓN</b>	
<b>COSTO VARIABLE POR KM. RECORRIDO</b>			\$ 0,19			<b>PROMEDIO DE M3 ESTE CORTE</b>	<b>26,33</b>	<b>98%</b>	
<b>OCUPACION PARA MEDICIÓN DEL VEHÍCULO PARA KPI (m3)</b>			27			<b>PROMEDIO DE M3 SIN ENVIO DE RUTAS OPTIMAS</b>	<b>27,73</b>	<b>103%</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2020

El segundo corte de planificación genera 10 rutas, para lo que se necesita 10 vehículos para la carga, los 3 clientes de la ruta 3 correspondientes a posición 23, 22, 24 deberán ser atendidos al día siguiente por las ventanas horarias y por el espacio de picking.

Para efectos de demostración de modelo propuesto se muestra la ruta 4 en figura 4.5 que abastece 2 clientes a Milagro y Empalme, con lo que demostramos que se puede ir abasteciendo clientes que se encuentran de la ruta a diferencia de la situación inicial donde la empresa no cubría puntos que vayan por el recorrido tan pronto.

**Figura 4.5 Resultados de ruta 4 día 1 – corte 2**



*Fuente: Elaboración propia, 2020*

- **Planificación por ingreso de pedidos día 1 corte 3 para ejecutar modelo de Ruteo**

El tercer corte de planificación será a las 15h30, es factible que, por las ventanas de tiempo, clientes deban ser atendidos al día siguiente, pero los vehículos deberán ser cargados en este día. Los 14 pedidos ingresados en este corte se muestran en tabla 4.8.

**Tabla 4.8 Corte de planificación del día 1 – corte 3**

SECUENCIA	CODIGO CLIENTE	COORD_X	COORD_Y	VOLUMEN DE PEDIDO	TIEMPO SERVICIO MINUTOS	HORARIO ATENCION MIN	HORARIO ATENCION MAX	FECHA DE INGRESO	HORA INGRESO	RANGO PLANIF.	CIUDAD
2	C1000301	-2.12385	-79.90448	4.30	20.00	9:00:00	17:00:00	1/5/2019	12:42:05	3	GUAYAQUIL
3	C1000301	-2.12385	-79.90448	31.00	20.00	9:00:00	17:00:00	1/5/2019	13:16:03	3	GUAYAQUIL
4	C1034160	-2.198388	-79.89068699	7.40	20.00	9:00:00	17:00:00	1/5/2019	13:32:27	3	GUAYAQUIL
5	C1016842	-2.191057	-79.88395047	6.00	20.00	10:00:00	15:00:00	1/5/2019	13:35:24	3	GUAYAQUIL
6	C1016842	-2.191057	-79.88395047	4.00	20.00	10:00:00	15:00:00	1/5/2019	14:00:45	3	GUAYAQUIL
7	C1000122	-2.195286	-79.88641024	0.46	20.00	9:00:00	17:00:00	1/5/2019	14:23:48	3	GUAYAQUIL
8	C1100247	-2.201417	-79.892055	1.80	20.00	9:00:00	18:00:00	1/5/2019	14:31:01	3	GUAYAQUIL
9	C1100247	-2.201417	-79.892055	8.00	20.00	9:00:00	18:00:00	1/5/2019	14:59:12	3	GUAYAQUIL
10	C1000178	-2.095808	-79.93654312	12.00	20.00	9:00:00	17:00:00	1/5/2019	15:04:38	3	GUAYAQUIL
11	C5001025	-2.089043	-79.89509	4.30	20.00	9:00:00	19:00:00	1/5/2019	15:13:25	3	GUAYAQUIL
12	C1000020	-3.259099	-79.95580089	33.00	20.00	8:00:00	18:00:00	1/5/2019	15:29:58	3	MACHALA
13	C1022462	-2.227424	-80.91980292	14.00	20.00	8:00:00	18:00:00	1/5/2019	15:33:18	3	LIBERTAD
14	C1000326	-2.101303	-79.92831322	21.00	20.00	9:00:00	17:00:00	1/5/2019	15:31:27	3	GUAYAQUIL

Fuente: Elaboración propia, 2020

En la planificación de 15h30 de la tarde. Luego de ejecutar el modelo, genera los resultados mostrados en tabla 4.9.

**Tabla 4.9 Resultados de rutas reflejados en la planificación del día 1 – corte 3**

ITERACION /RUTA CREADA	POSICION DE CLIENTES CON RUTA OPTIMA	DEMAND A /CAPACIDAD OCUPAD A m3	TIEMPO RECORRID O	TIEMPO SERVICIO ESTIMADO MINUTOS	DIFERENCI A PARA CUBRIR VOLUMEN	OBSERVACION / ESTADO DE CARGA	KM. A RECORR ER	COSTO POR VIAJE RECORRID O	SALIDA AL VIAJE SI O NO
1	{1, 3, 1}	31	9 minutes 15 seconds	20	1	Debe_Distribuir_en_ otro_ transporte	6.85772 kilometers	98,69296756	SI
2	{1, 12, 1}	33	5 hours 24 minutes	20	3	Debe_Distribuir_en_ otro_ transporte	372.982 kilometers	168,2566712	SI/ Entrega día siguiente /lo sobrante configurar para día siguiente en primer corte
3	{1, 6, 5, 9, 8, 4, 7, 1}	27,66	25 minutes	80	-2,34	Lo_Faltante_para_co mpletar_el_Vehiculo	19.8202 kilometers	101,1558388	SI
4	{1, 10, 13, 1}	26	3 hours 28 minutes	40	-4	Lo_Faltante_para_co mpletar_el_Vehiculo	284.581 kilometers	151,460467	Si carga / sale día siguiente se toma 4 horas su recorrido
5	{1, 2, 11, 14, 1}	29,6	32 minutes	60	-0,4	Lo_Faltante_para_co mpletar_el_Vehiculo	29.061 kilometers	102,91159	SI

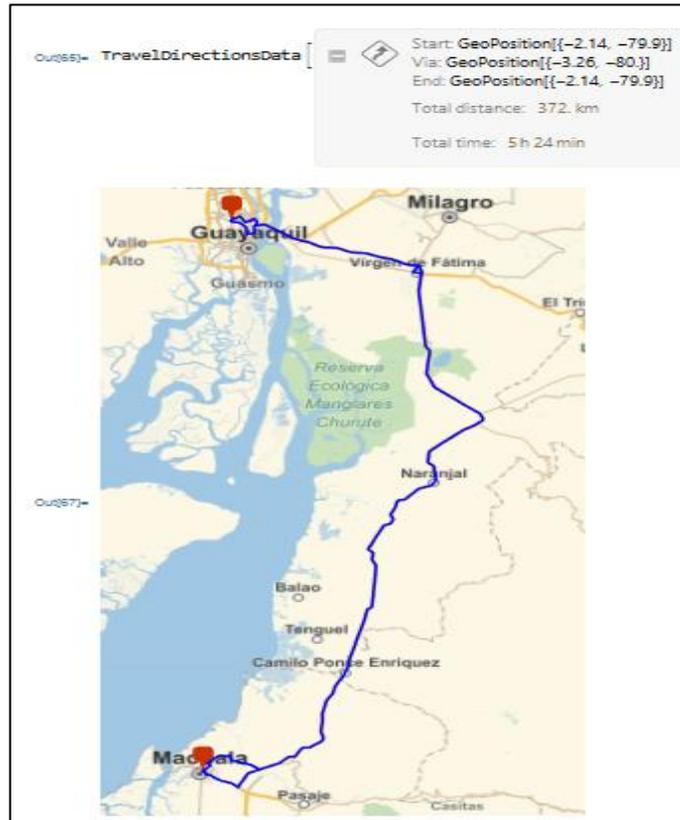
COSTO FIJO	\$ 97,39	m3	% DE OCUPACIÓN	
COSTO VARIABLE POR KM. RECORRIDO	\$ 0,19	PROMEDIO DE m3 ESTE CORTE	29,45	109%
OCUPACION PARA MEDICIÓN DEL VEHÍCULO PARA KPI (m3)	27	PROMEDIO DE m3 SIN ENVIO DE RUTAS OPTIMAS	29,45	109%

Fuente: Elaboración propia, 2020

En el resultado del tercer corte se observa que genera 5 rutas factibles de los cuales las rutas 2 y 4 correspondientes a las posiciones 12, 10, 13 deberán ser entregadas al día siguiente, por tiempos de recorridos.

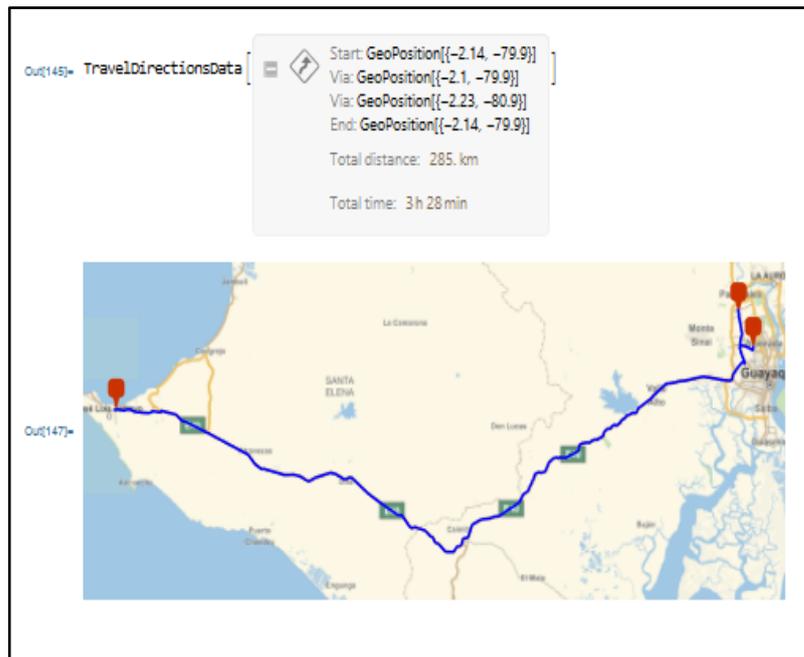
En la figura 4.6 y 4.7 se muestran las rutas generadas para las iteraciones 2 y 4 que corresponde a clientes de posiciones 12, 10 y 13.

**Figura 4.6 Resultados de ruta 2 día 1 – corte 3**



Fuente: Elaboración propia, 2020

**Figura 4.7 Resultados de ruta 4 día 1 – corte 3**



Fuente: Elaboración propia, 2020

Como se ha demostrado en los resultados del día con datos reales de frecuencias de ingresos de pedidos, el modelo ha sugerido 23 rutas para cubrir el día de trabajo, de las cuales en el primer corte se generan 8 rutas, pero se procede a cubrir 5, en el segundo corte el modelo refleja 10 rutas donde se incluyó a los clientes que no se pudo atender en el primer corte de planificación, se cubre todas las rutas pero por los horarios de atención una ruta será cubierta al día siguiente y el vehículo quedará cargado.

En el tercer corte genera 5 rutas factibles de las que 2 clientes se deben cubrir al día siguiente. Se han requerido 18 vehículos para cubrir las rutas. La capacidad promedio de carga en el día fue de 28,32  $m^3$ . Se ha logrado atender a los clientes en su mayoría el mismo día cuyos ingresos de pedidos se realizaron dentro del horario laboral (ver tabla 4.10).

**Tabla 4.10 Promedio de ocupación de vehículo en el día**

CORTE DEL DÍA	M3
PROMEDIO DE OCUPACION DE VEHÍCULO 1ER CORTE	29,18
PROMEDIO DE OCUPACION DE VEHÍCULO 2DO CORTE	26,33
PROMEDIO DE OCUPACION DE VEHÍCULO 3ER CORTE	29,45
<b>PROMEDIO EN EL DÍA DEL CORTE - CON RUTAS CUBIERTAS M3</b>	<b>28,32</b>

*Fuente: Elaboración propia, 2020*

En la situación actual no se hubiere cubierto a los clientes de Milagro, El Empalme, Libertad, por no llegar a capacidad, se debería esperar al día siguiente con la incertidumbre de saber si se ingresarán o no más pedidos en la zona, lo que genera una insatisfacción al cliente distribuidor que puede traer como consecuencias, perder su venta con el cliente final y se rechace el pedido al CD-DGYE.

### **4.3 Comparación de costos**

Con las 99 simulaciones de los cortes y debido a la demanda determinista de pedidos en dichos meses se procede a calcular los costos con un factor semanal. Los resultados obtenidos se comparan con la situación actual, lo que genera un ahorro de gastos de transporte del 4% el detalle se presenta en la tabla 4.11.

**Tabla 4.11 Comparativo por gastos de transporte generados**

GASTOS DE TRANSPORTE	MAYO	JUNIO	JULIO
GASTOS TOTALES MESES DE ESTUDIO- 2019	\$ 79.620	\$ 70.421	\$ 69.202
GASTOS ESTIMADOS RESULTADOS DEL MODELO MESES DE ESTUDIO- 2019	\$ 76.308	\$ 69.416	\$ 65.573
AHORRO ESTIMADO MODELO OPTIMO	\$ 3.312	\$ 1.005	\$ 3.629
<b>% DE AHORRO ESTIMADO MODELO ÓPTIMO = 4%</b>	<b>4%</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

En la tabla 4.12 se compara las tarifas fijas que la empresa de estudio cancela a su flota para destinos de mayor frecuencia en relación con los resultados de las simulaciones por dichas rutas que se ejecutaron en el modelo.

Se presentan los resultados obtenidos en el modelo rutas y kilómetros recorridos; en las rutas con destino a la provincia de Los Ríos, se visualizan valores negativos en relación con la tarifa ofrecida por la empresa. Es necesario recalcar que son los destinos de clientes distribuidores de pedidos con bajo volumen o demanda y que muchas veces se deberá realizar extensos recorridos para cumplir con las entregas a tiempo, ya que, al recordar la política de la empresa, la misma está enfocada a cumplir con los requerimientos y exceder las expectativas del cliente.

**Tabla 4.12 Comparación de tarifas actuales vs. Costos obtenidos del modelo para destinos frecuentes**

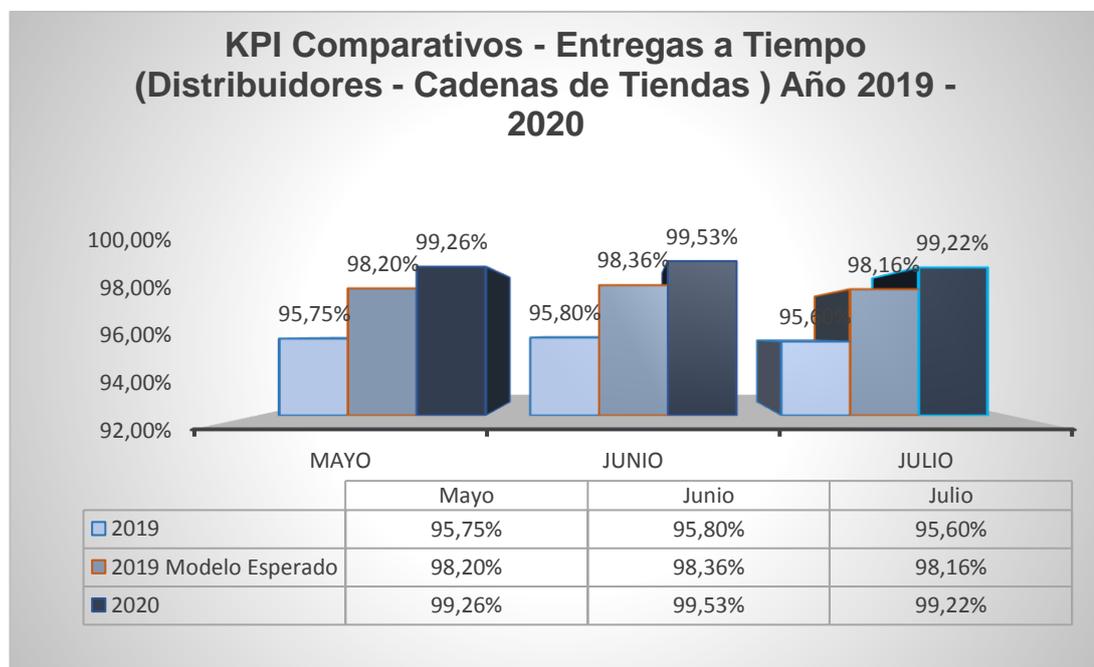
DESTINO	TARIFA FIJA EMPRESA	MODELO COSTO FIJO Y VARIABLE	\$ AHORRO MODELO	% AHORRO MODELO
MACHALA	\$ 175,00	\$ 168,53	\$ 6,47	4%
LOJA	\$ 315,00	\$ 243,47	\$ 71,53	23%
MONTAÑITA	\$ 155,00	\$ 151,46	\$ 3,54	2%
NARANJAL	\$ 135,00	\$ 133,00	\$ 2,00	1%
EMPALME	\$ 135,00	\$ 157,00	(\$ 22,00)	-16%
VENTANAS	\$ 125,00	\$ 143,91	(\$ 18,91)	-15%
QUEVEDO	\$ 160,00	\$ 165,00	(\$ 5,00)	-3%
GUAYAQUIL (3 VIAJES DÍA MINIMO)	\$ 135,00	\$ 104,64	\$ 30,36	22%

Fuente: Elaboración propia, 2020

#### 4.4 Análisis de resultados de cumplimientos KPI's con modelo propuesto

- KPI comparativo entregas a tiempo:** Al implementar el modelo de planificación de rutas por cortes de horarios, se logra completar el vehículo con un recorrido para que salga del CDD-GYE al menor tiempo posible, con esta mejora el cliente aumenta su confianza para realizar un pedido y el mismo le llegue si es posible en el día en curso. Al culminar el presente trabajo se presenta los resultados estimados con las 99 simulaciones de la propuesta del modelo y los resultados reales un año después donde se ha alcanzado un incremento en el indicador de entregas a tiempo promedio en 3.62% en la figura 4.8 se muestran los indicadores.

**Figura 4.8 KPI entregas a tiempo 2019 – situación esperada – 2020**

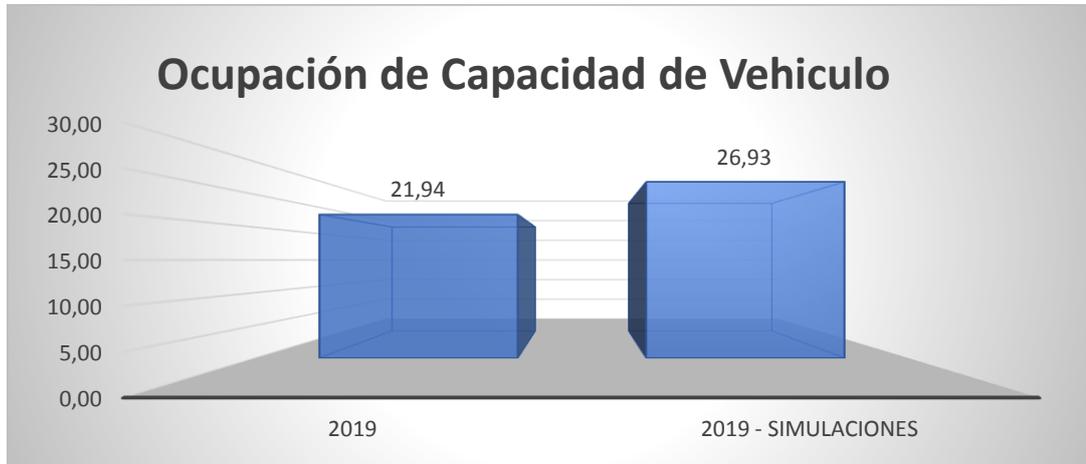


*Fuente: Elaboración propia, 2020*

- KPI comparativo ocupación del vehículo:** El promedio de ocupación del vehículo por ruta equivalía a 21.94 m3, al ejecutar el modelo el KPI de ocupación asciende a 26.93 m3, con un resultado positivo de 4.99 puntos. La ocupación de los vehículos se reflejaba en 81.95% y actualmente se encuentra en 99,74% ocupación del camión con la propuesta que se plantea. Las figuras 4.9 y 4.10 muestran los

resultados de la mejora en el modelo y la capacidad del vehículo completo.

**Figura 4.9 KPI comparativo de ocupación del vehículo**



*Fuente: Elaboración propia, 2020*

**Figura 4.10 Muestra capacidad de los camiones entre  $27m^3$  y  $30m^3$  con la mejora en el modelo cubriendo rutas del camino**



*Fuente: Elaboración propia, 2020*

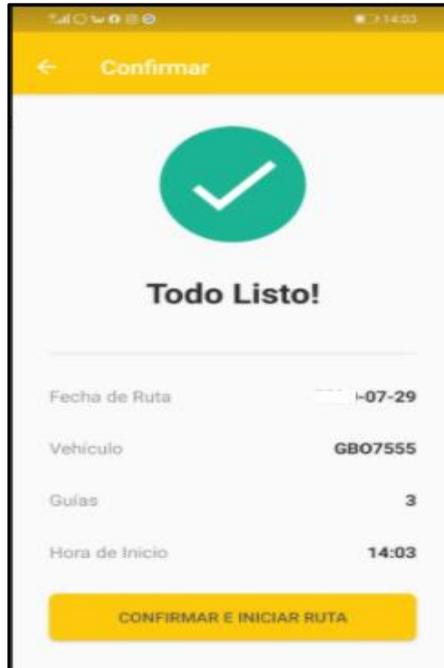
#### **4.5 Mejoras implementadas en los procesos subsiguientes al ruteo, para experiencia de servicio al cliente y sus resultados**

Una vez identificadas las mejoras en el nuevo proceso de ruteo para la empresa de estudio, se decide iniciar las investigaciones para añadir una aplicación Web que va de la mano con el modelo implementado, la misma que permite mejorar la experiencia de servicio para el cliente sobre los pedidos entregados a tiempo, se ejecuta mediante un formato sencillo para intercambio de datos JSON descargado del sistema SAP, a continuación, se detallan las mejoras.

1. Una vez cargado el vehículo, el transportista inicia la aplicación Web que le indica el recorrido a seguir, los clientes, sus horas estimadas de entrega.
2. Al iniciar su ruta se activa un mensaje automático que comunica al cliente, que su producto se encuentra en camino y el rango de hora estimada en que llegará su pedido, a la vez le permite visualizar la ruta del vehículo hasta llegar.
3. Una vez que el transportista entrega el producto, se activa el nuevo mensaje de recepción para el cliente quien confirma unidades recibidas y a la vez califica el servicio de entrega.
4. Al mismo tiempo en el CDD-GYE el planificador puede monitorear la ruta de los vehículos que se encuentran en viaje y su llegada.
5. La aplicación Web le permite conocer en tiempo real las entregas que se van realizando, si tuviere alertas de entregas reportadas le sirve para verificar la novedad y dar solución inmediata por ejemplo si el cliente no recibió un producto por error en ingreso de pedido, puede resolverse ingresando nuevo pedido y considerando en próximo corte.

En las figuras 4.11, 4.12 y 4.13, se muestran los procesos de mejoras adicionales.

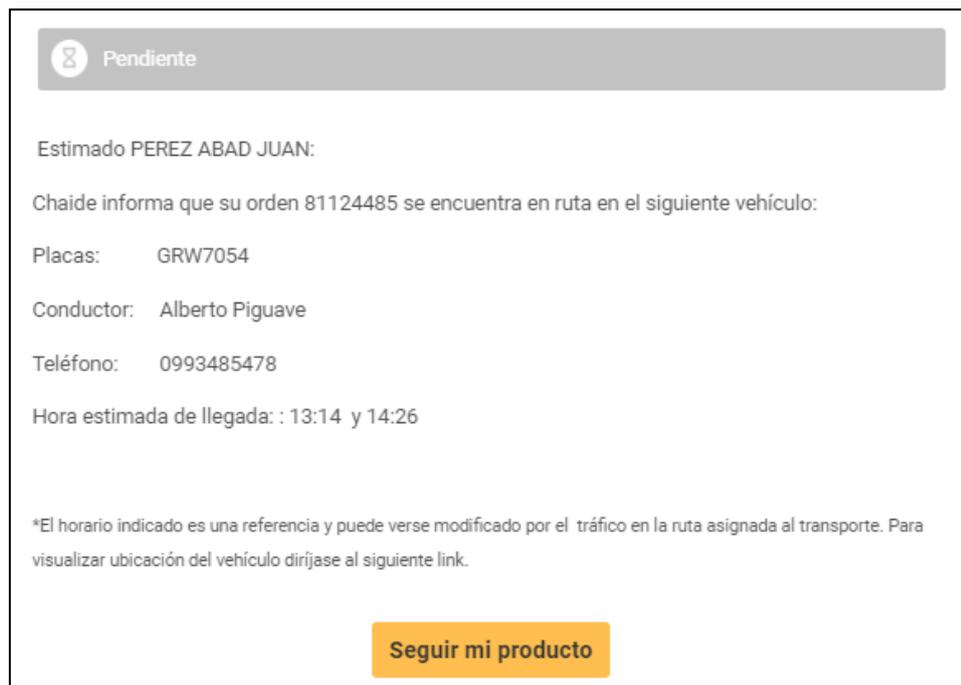
**Figura 4.11 Aplicación para el inicio de ruta del transportista**



*Fuente: Empresa de estudio y aplicación web, 2020*

En la figura 4.11 se visualiza el inicio de la ruta asignada que refleja en el celular del transportista para iniciar su viaje. Deberá mantener un plan de datos activo y ubicación activada en todo el viaje.

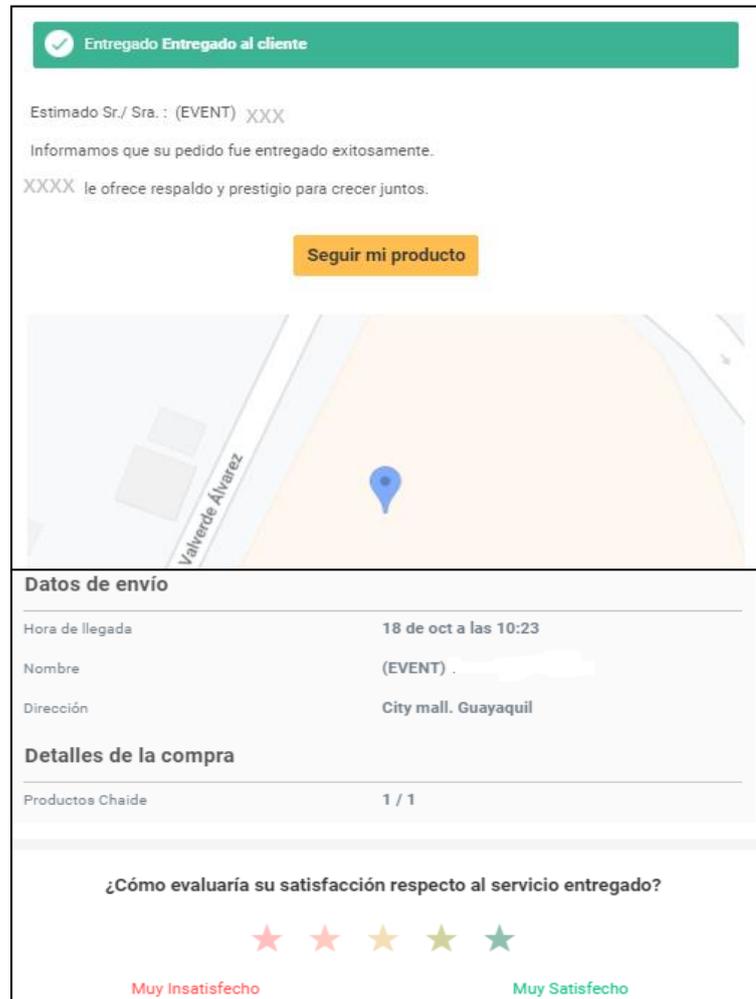
**Figura 4.12 Notificación al cliente sobre aviso de llegada de su pedido**



*Fuente: Empresa de estudio y aplicación web, 2020*

La figura 4.12 muestra que, una vez activado el inicio de ruta por el transportista, al cliente le llegará una notificación por mensaje de texto y correo electrónico indicando la hora aproximada en que llega su pedido, incluso puede dar seguimiento a la ruta del vehículo.

**Figura 4.13 Notificación al cliente de productos entregados**



*Fuente: Empresa de estudio y aplicación web, 2020*

La figura 4.13 refleja la notificación de entrega al cliente, registro de novedades si las hubiere y a la vez podrá calificar el servicio del transporte.

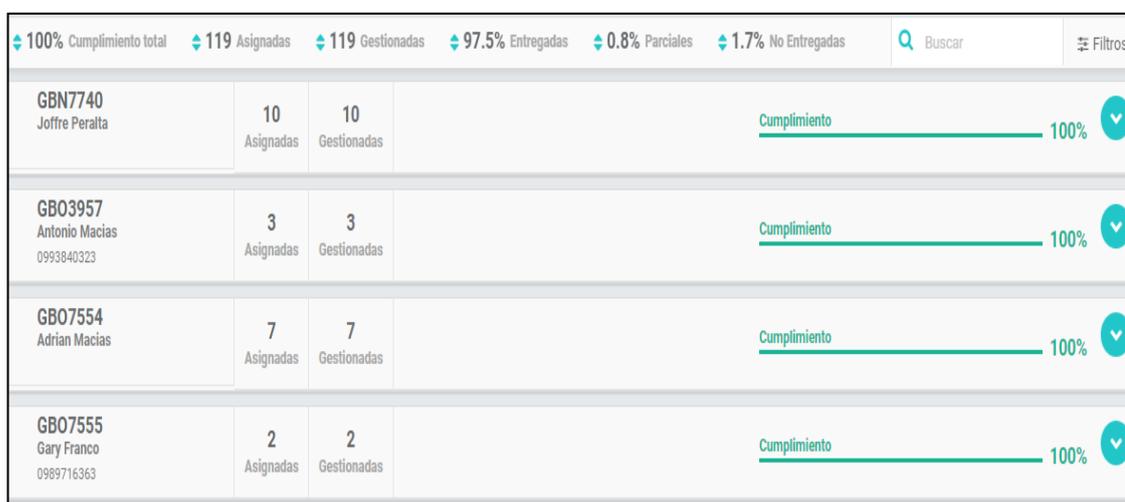
#### 4.6 Mejoras en el monitoreo para el planificador del CDD – GYE

La aplicación que va de la mano con los datos asociados al sistema de la empresa permite visualizar los datos estadísticos del día como una herramienta Microsoft Power Bi y ejecutar planes de acción inmediatos para el cumplimiento de los KPI's medidos por la empresa.

A continuación, se menciona varias de las estadísticas ejecutadas diariamente:

- Tablero de seguimiento de entregas en tiempo real para el planificador en el CDD-GYE, permite visualizar las actividades realizadas en la ejecución de entregas de cada vehículo, cantidades, guías, entregas parciales. Así como también viajes programados (ver figura 4.14).

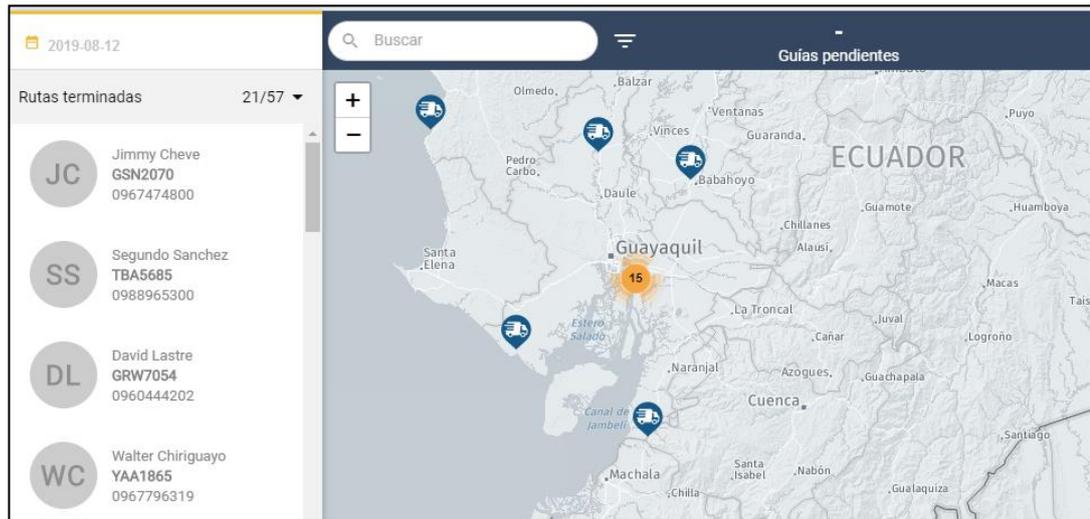
**Figura 4.14 Tablero de seguimiento de cumplimiento de entregas**



Fuente: Empresa de estudio y aplicación web, 2020

- Tablero de seguimiento de flota en tiempo real, sirve para que el planificador pueda asignar nuevos recorridos a la flota vehicular, de acuerdo con el número de entregas a realizar, y quienes esté próximos a regresar a CDD-GYE (ver figura 4.15).

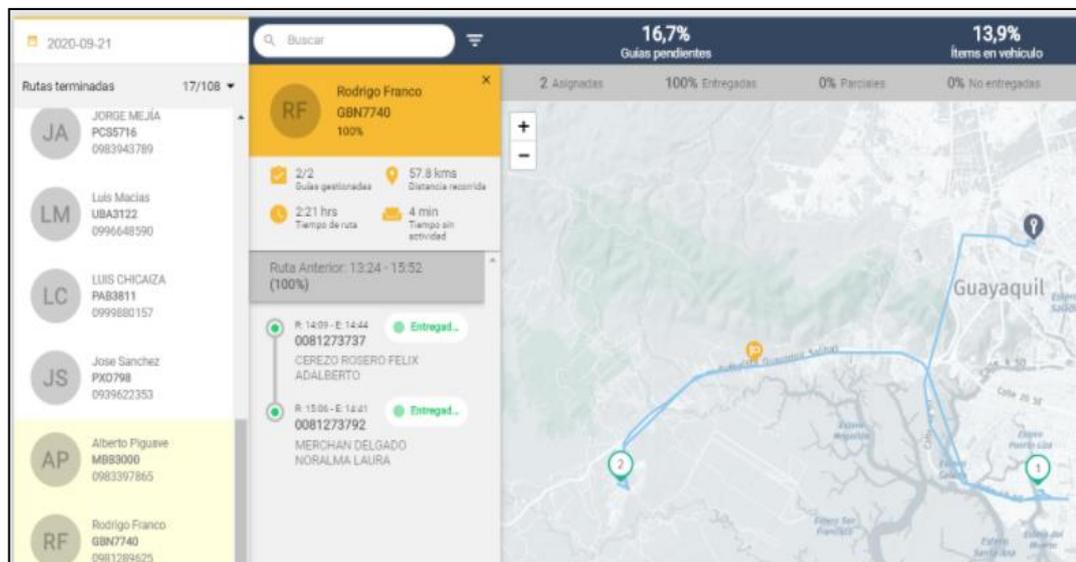
**Figura 4.15** Tablero de seguimiento de flota que visualiza el planificador



*Fuente: Empresa de estudio y aplicación web, 2020*

- El tablero de kilómetros recorridos permite verificar el tiempo y camino recorrido, a la vez controlar el pago de flete de transporte por viaje, permite visualizar las distancias recorridas para casos de entregas, donde el vehículo debió desviarse por motivos excepcionales y poder cancelar la tarifa justa del viaje (ver figura 4.16).

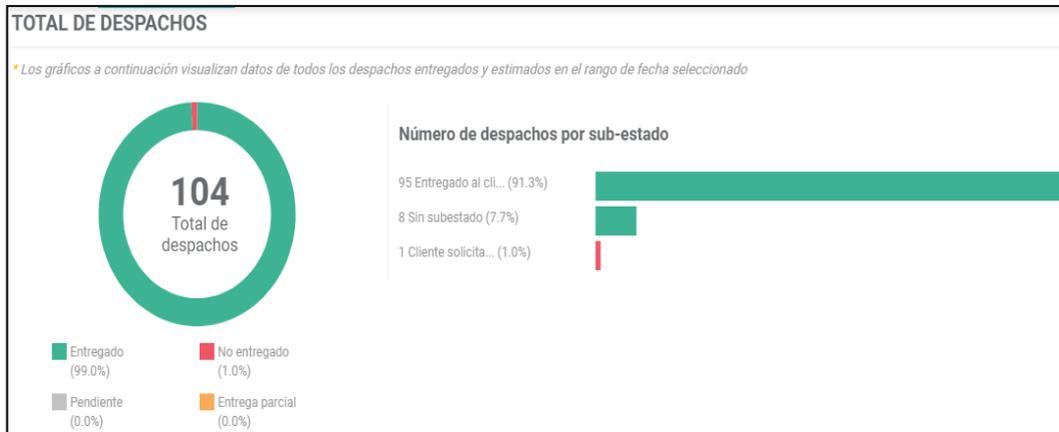
**Figura 4.16** Tablero de seguimiento de km recorridos



*Fuente: Empresa de estudio y aplicación web, 2020*

- Control de despachos entregados, no entregados, entregas pendientes y entregas parciales puede revisar estadísticas por cortes de horarios, diarias, semanales (ver figura 4.17).

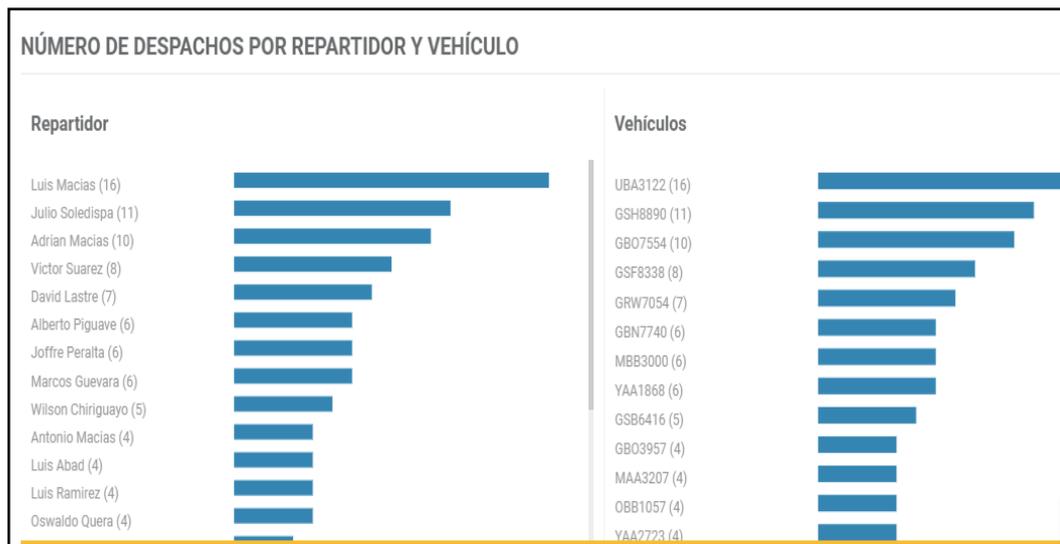
**Figura 4.17 Visualización de control de despachos y cumplimiento durante el día**



Fuente: Empresa de estudio y aplicación web, 2020

- Cantidad de guías por vehículos (ver figura 4.18). Permite revisar la cantidad de guías gestionadas por el vehículo en el día.

**Figura 4.18 Resumen de guías emitidas por vehículo**

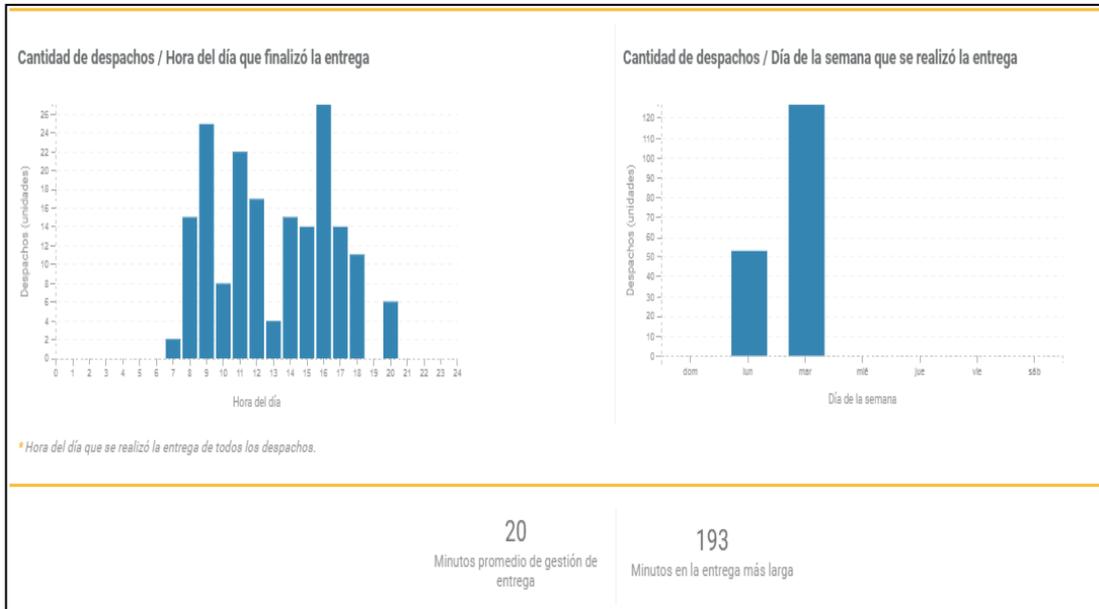


Fuente: Empresa de estudio y aplicación web, 2020

- Horas de mayor demanda de entregas, promedio en minutos del tiempo de servicio, el cual no debe ser mayor a 20 y en caso de presentarse

mayores tiempos se revisa y analiza los motivos, días de mayor despacho (ver figura 4.19).

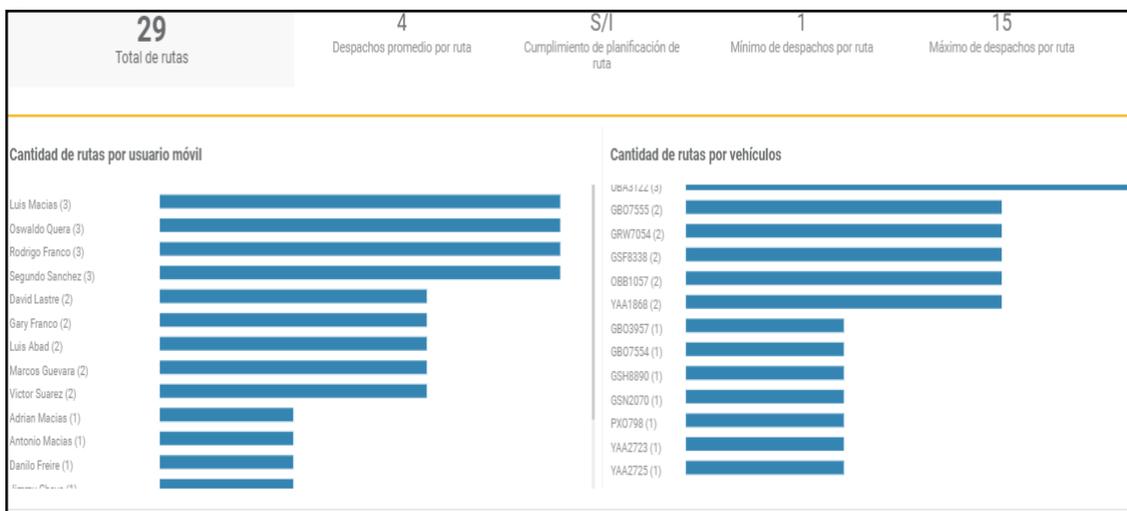
**Figura 4.19 Resumen de horas de entrega de mayor demanda**



Fuente: Empresa de estudio y aplicación web, 2020

- Cantidad de rutas en el día, promedio de clientes en cada salida (ver figura 4.20). Donde se visualiza el resumen de rutas que salió en el día el vehículo.

**Figura 4.20 Resumen de rutas por día, cantidad de clientes embarcados por vehículos en rutas**



Fuente: Empresa de estudio y aplicación web, 2020

#### **4.7 Capacitación al personal de transporte para agregar valor a la mejora**

Durante el proceso de implementación se ha realizado las respectivas inducciones al personal de la flota contratada mediante los siguientes sistemas.

- Escuela de transportistas, que les permite conocer sobre productos que transportan, tipos de clientes, servicio al cliente, indicaciones del manejo seguro, método interno de servicio PLAC entre otros, conocer los indicadores KPI's.
- Capacitación constante sobre el manejo de herramientas tecnológicas que le permiten estar al día con la tecnología, y ejecutar las aplicaciones (ver figura 4.21).

**Figura 4.21 Capacitación a proveedores de transporte externo en diseño de ruteo y servicio de entregas al cliente**



*Fuente: Empresa de estudio, 2020*

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

1. La tesis desarrollada tuvo como objetivo diseñar un modelo de ruteo vehicular que permita la disminución de los tiempos de entrega a los clientes a un costo óptimo de transportación, respetando capacidades y ventanas de tiempo, para alcanzar este objetivo previamente se realizó un análisis de los tiempos de ingreso de pedidos, se revisó costos de transporte y KPI's de cumplimientos del proceso logístico, se estableció horarios de cortes para la planificación de rutas para construir el modelo.
2. Con los datos obtenidos se diseñó de acuerdo a las necesidades de la empresa de estudio el modelo CVRPTW programado en Software Wolfram Mathematica, se recogió información de coordenadas de clientes mediante Google Maps para facilitar planificación de rutas, se realizó simulaciones para 33 días aleatorios de los meses mayo a julio 2019.
3. Con los resultados obtenidos en la heurística Clarke and Wright se logró demostrar que se puede atender al cliente en el menor tiempo posible obteniendo así resultados de mejoras de entregas a tiempo de 3.62%. De 95.72% a 99.34 %.
4. Se demuestra también la reducción de costos de transporte en un 4%, sin embargo, por la continuidad de viajes para su flota contratada y la inversión que realiza la empresa en capacitaciones se decide mantener las tarifas de fletes fijos para su flota, en cuanto a capacidad volumétrica por cada salida de los vehículos aumenta de 21.94% a 26.93% en promedio, lo que representa un incremento del porcentaje de ocupación de los vehículos de 81.25 % a 99.74% sobre la medición de la empresa. Se comprueba también que es factible introducir clientes que van en la ruta y el costo no se afecta. Por otro lado, permite

al planificador cancelar la tarifa justa para casos excepcionales de desvíos de rutas en determinados clientes.

5. Al cierre de este capítulo se ha implementado el modelo de ruteo CVRPTW, el mismo que se ha complementado con un software de gestión logística app Web que permite medir y realizar monitoreo en tiempo real de las entregas al cliente para sus planificadores y optimiza el tiempo de trabajo a la vez que se realiza mejoras en la asignación de actividades.

## **5.2 Recomendaciones**

Como se ha mostrado en el presente trabajo de titulación, la empresa está enfocada y comprometida al desarrollo e implementación de innovaciones tecnológicas que aporten con soluciones factibles y eficientes en todas sus operaciones frente a las necesidades que día a día se presentan en la sociedad.

1. En algunos casos, la implementación de nuevas tecnologías trae consigo resistencias en los usuarios, a lo que es recomendable, disponer de estrategias óptimas que generen confianza en los involucrados e impulsen al éxito de los proyectos, así mismo el seguimiento, capacitaciones y difusiones respectivas a los transportistas además de verlos como un socio estratégico que aumenten el nivel de servicio al cliente, ellos son el último eslabón del proceso de distribución y a la vez imagen de la empresa en el momento de entrega de los pedidos.
2. Por otro lado, se recomienda, revisar estrategias promocionales, que permitan múltiples de pedidos por capacidad en volumen, para así perfeccionar el ingreso de pedidos por demanda diaria de manera que facilite la carga eficiente y óptima de los vehículos.
3. Debido a que la empresa está comprometida con las mejoras en procesos en el área de logística y distribución, se recomienda para próximos proyectos, un modelo de asignación de turnos para los vehículos que están disponible; de esta manera no será necesario que

los vehículos regresen al CDD-GYE y optimizar el tiempo de estos en planta, así no deberán esperar por un viaje fuera del CDD-GYE.

4. Con la nueva herramienta implementada, profundizar análisis y seguimientos de otros indicadores de desempeño no considerados en la situación actual, como kilómetros recorridos, frecuencias de visitas de clientes etc.
5. Frente a la necesidad que se presenta día a día para la introducción de nuevos clientes en centros comerciales con restricciones de horarios, se recomienda también, considerar la contratación de vehículos con menor capacidad y tonelaje.

# BIBLIOGRAFÍA

- Ballesteros , P., & Escobar , A. (2016). Revisión del estado del arte del problema de ruteo de vehículos con recogida y entrega (VRPPD). *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo Vol 34, No 2*, 20.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de la Cadena de Suministro. 5ta Edición*. México: Pearson Educación.
- Benito, A. (2015). *Problemas de rutas de vehículos: modelos, aplicaciones logísticas y métodos de resolución*. Valladolid.
- Bustos, A., & Jiménez, E. (24 de 03 de 2014). Obtenido de Modelos para un mejor ruteo vehicular: <https://es.scribd.com/document/379404302/Modelos-Para-Un-Mejor-Ruteo-Vehicular>
- Coque, C. M. (2015). *Formulación y solución del problema de ruteo vehicular capacitados con ventanas de tiempo (CVRPTW) mediante el uso del algoritmo de ahorros en una empresa de telecomunicaciones*. Obtenido de trabajo final : MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/30507>
- Daza, J. M., Montoya, J. R., & Narducci, F. (2009). *Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 12*, 23-38.
- Empresa de Estudio, & <https://app.beetrack.com/>. (05 de 2020). <https://app.beetrack.com/>. Obtenido de <https://app.beetrack.com/>
- Glover, F., & Laguna, M. (1997). *Tabu Search*. Colorado: Springer Science+Business Media.
- Golden, B. L. (2008). *THE VEHICLE ROUTING PROBLEM: LATEST ADVANCES AND NEW CHALLENGES*. New York: Springer.
- González, L., González, Y., & Becerra, M. (14 de Febrero de 2015). "Estado del arte del problema de ruteo de vehículos con componentes estocásticos". Obtenido de Researchgate: [https://www.researchgate.net/publication/327354559\\_Estado\\_del\\_arte\\_del\\_problema\\_de\\_ruteo\\_de\\_vehiculos\\_con\\_componentes\\_estocasticos](https://www.researchgate.net/publication/327354559_Estado_del_arte_del_problema_de_ruteo_de_vehiculos_con_componentes_estocasticos)
- Guillen , J., & Valdivieso, G. (2017). "Rediseño del proceso de ruteo y programación de vehículos en una empresa de manufactura". Obtenido de Trabajo final

- previo a la obtención del título: Ingeniero Industrial:  
<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/41617>
- Hermosilla, A., & Barán, B. (2001). Comparación de un sistema de colonias de hormigas y una estrategia evolutiva para un Problema Multiobjetivo de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo.
- Lozada, A., & Cadena, R. (2012). Solución del Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo (VRPTW) mediante Métodos Heurísticos. 77-96.
- Olivera, A. (2004). *Heurísticas para el Problema de Ruteo de Vehículos*. Montevideo: Uruguay.
- Pérez, R. (12 de Octubre de 2020). [www.lifeder.com](http://www.lifeder.com). Obtenido de <https://www.lifeder.com/distancia-euclidiana/>
- Riojas Cañari, A. C. (2005). Conceptos, algoritmo y aplicación al problema de las N – reinas.
- Rocha, L. B., González La Rota, E. C., & Orjuela Castro, J. A. (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución. págs. 49 - 50.
- Sandoya, F. (2015). *Metaheurísticas y redes neuronales*. Guayaquil: Espol.
- SAP Hanna, T. V. (2019).
- Solomon, M. M. (Marzo-Abril de 1987). *Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints*. *Operations Research*, 35(2), 254-265. <http://www.jstor.org/stable/170697>. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/170697>
- Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications, Second Edition*. SIAM.

# ANEXOS

## ANEXO A: Formato de evaluación de proveedores de transporte externo

Empresa XYZ	TITULO: SELECCIÓN DE PROVEEDORES DE TRANSPORTE	CODIGO RD - 16	AREA DE APLICACIÓN: DESPACHOS
-------------	--	-------------------	----------------------------------

FECHA: 7 de junio de 2020

**DATOS DEL PROPIETARIO**

NOMBRE: GUEVARA RODRIGUEZ MARCOS ERNESTO  
DIRECCION: SALINAS 520 Y FEBRES CORDERO  
TELEFONO: 42617421 967356116

**DATOS DEL CAMION:**

MARCA: CHEVROLET D. FRR 90L 5,2  
AÑO: 2015  
PLACA: GSN-2070

**DATOS DEL CHOFER:**

NOMBRE: CHEVE MERA JIMMY ALVARO  
TELEFONO: 993388025  
OBSERVACIONES. \_\_\_\_\_

**PARAMETROS DE SELECCIÓN DE APROBACION(70 puntos)**

**1. AÑO DEL VEHICULO**

# de Años	Puntaje	Calificación
0 - 5	30	30
6 - 10	20	
11 o más	10	

**2. ESTADO DEL FURGON**

FURGON	PUNTAJE	CALIFICACION
Furgón Metálico en buen estado	10	10
Estado de Llantas	10	10
Imagen de Vehículo	10	10

**3. REQUISITOS LEGALES**

FURGON	PUNTAJE	CALIFICACION
Afiliación de personal al IESS	20	20
Certificados de Salud	5	5
Responsable de Seguridad	5	5
Documentos Vigentes	10	10

<b>PUNTAJE TOTAL</b>	<b>100</b>
----------------------	------------

Aprobado  SI  NO

JEFE DE DESPACHOS \_\_\_\_\_ TRANSPORTISTA \_\_\_\_\_

## ANEXO B: Tarifas de viaje por destino

DESTINO	RTA	HORA VIAJE	TARIFA
NARANJAL	GYE100	4:19:00	\$ 135,00
PUERTO BALAO	GYE101	4:49:00	\$ 135,00
TENGUEL	GYE102	5:55:00	\$ 145,00
PONCE HENRIQUEZ	GYE103	6:07:00	\$ 155,00
GUABO	GYE104	6:18:00	\$ 160,00
MACHALA	GYE105	6:19:00	\$ 175,00
PASAJE	GYE106	6:38:00	\$ 180,00
SANTA ROSA	GYE107	7:17:00	\$ 185,00
ARENILLAS	GYE110	8:02:00	\$ 200,00
HUAQUILLAS	GYE111	8:45:00	\$ 215,00
TUMBES	GYE112	9:37:00	\$ 235,00
PUYANGO	GYE113	9:50:00	\$ 240,00
PIÑAS	GYE120	8:58:00	\$ 220,00
ZARUMA	GYE121	15:07:00	\$ 225,00
PORTOVELO	GYE122	9:13:00	\$ 230,00
ARCAPAMBA	GYE123	9:50:00	\$ 240,00
BALSAS	GYE200	8:58:00	\$ 220,00
MARCABELI	GYE201	9:24:00	\$ 230,00
CATACUCHA	GYE202	11:21:00	\$ 315,00
CATAMAYO	GYE203	12:02:00	\$ 315,00
LOJA	GYE204	13:10:00	\$ 315,00
ZAMORA	GYE205	9:19:00	\$ 395,00
ALAMOR	GYE210	11:27:00	\$ 300,00
CELICA	GYE211	12:18:00	\$ 315,00
MORONA	GYE220	19:27:00	\$ 450,00
YANTAZA	GYE221	14:24:00	\$ 415,00
LOS ENCUENTROS	GYE222	15:02:00	\$ 390,00
EL PANGUI	GYE223	15:37:00	\$ 510,00
GUALAQUIZA	GYE224	16:15:00	\$ 540,00
MACARA	GYE240	16:41:00	\$ 380,00
CARIAMANGA	GYE245	13:47:00	\$ 365,00
SARAGURO	GYE250	13:47:00	\$ 350,00
CUENCA	GYE300	6:48:00	\$ 205,00
GUALACEO	GYE301	8:17:00	\$ 225,00
PROGRESO	GYE400	2:43:00	\$ 65,00
PLAYAS	GYE401	3:32:00	\$ 85,00
POSORJA	GYE402	4:13:00	\$ 95,00
SANTA ELENA	GYE410	4:37:00	\$ 105,00
LIBERTAD	GYE411	5:32:00	\$ 125,00
SALINAS	GYE412	5:55:00	\$ 130,00
MONTAÑITA	GYE413	6:52:00	\$ 155,00
PUERTO LOPEZ	GYE414	7:36:00	\$ 175,00
PUERTO CAYO	GYE415	8:09:00	\$ 190,00
MILAGRO	GYE420	2:20:00	\$ 75,00
MARCELINO MARIDUEÑA	GYE421	3:16:00	\$ 85,00
ASTUDILLO	GYE422	2:50:00	\$ 85,00
NARANJITO	GYE423	3:03:00	\$ 90,00
VIRJEN DE FATIMA	GYE430	3:08:00	\$ 90,00
TRIUNFO	GYE431	3:25:00	\$ 90,00
TRONCAL	GYE432	3:54:00	\$ 100,00
PIEDRERO	GYE433	2:57:00	\$ 95,00
BUCAY	GYE440	4:19:00	\$ 110,00
DURAN	GYE450	1:40:00	\$ 50,00
ENTRE RIOS	GYE451	1:51:00	\$ 45,00
SAMBORONDON	GYE452	1:51:00	\$ 45,00

NOBOL	GYE460	1:56:00	\$ 50,00
PEDRO CARBO	GYE461	2:48:00	\$ 75,00
DAULE	GYE462	2:13:00	\$ 55,00
SANTA LUCIA	GYE463	2:41:00	\$ 70,00
JUJAN	GYE464	4:06:00	\$ 75,00
SIMON BOLIVAR	GYE465	5:37:00	\$ 135,00
BABAHOYO	GYE466	3:32:00	\$ 90,00
BABA	GYE467	2:50:00	\$ 95,00
SAN JUAN	GYE468	2:55:00	\$ 125,00
CATARAMA	GYE469	3:05:00	\$ 125,00
VINCES	GYE470	3:25:00	\$ 90,00
BALZAR	GYE471	3:41:00	\$ 100,00
VENTANAS	GYE472	5:16:00	\$ 125,00
MOCACHE	GYE473	4:39:00	\$ 135,00
SAN CARLOS	GYE474	3:43:00	\$ 150,00
EMPALME	GYE475	5:56:00	\$ 135,00
SAN CAMILO	GYE476	5:56:00	\$ 150,00
QUEVEDO	GYE500	6:02:00	\$ 160,00
VALENCIA	GYE501	6:20:00	\$ 165,00
QUINSALOMA	GYE505	7:01:00	\$ 180,00
BUENA FE	GYE510	6:42:00	\$ 165,00
LA MANA	GYE520	6:57:00	\$ 170,00
MONTALVO	GYE530	3:53:00	\$ 170,00
CALUMA	GYE540	4:33:00	\$ 175,00
ECHEANDIA	GYE550	5:40:00	\$ 140,00
JIPIJAPA	GYE600	4:55:00	\$ 165,00
PORTOVIEJO	GYE601	4:55:00	\$ 180,00
MONTECRISTI	GYE602	4:55:00	\$ 180,00
MANTA	GYE603	4:55:00	\$ 180,00
SAN ISIDRO	GYE604	10:00:00	\$ 205,00
CALDERON	GYE610	5:05:00	\$ 205,00
CALCETA	GYE611	5:05:00	\$ 205,00
CHONE	GYE612	6:37:00	\$ 205,00
GYE	GYE700	1:32:00	\$ 45,00

### ANEXO C: Gastos de transporte por rutas de mayo a julio 2019

RUTA	MAYO	JUNIO	JULIO
GYE100	\$ 277,00	\$ 270,00	\$ 280,00
GYE103	\$ 466,00	\$ 310,00	\$ 310,00
GYE105	\$ 7.445,00	\$ 9.407,00	\$ 7.584,00
GYE106	\$ 2.862,00	\$ 2.402,00	\$ 2.240,00
GYE107		\$ 1.039,00	\$ 466,00
GYE111	\$ 1.818,00	\$ 1.775,00	\$ 449,00
GYE120	\$ 2.310,00	\$ 220,00	\$ 1.191,00
GYE121	\$ 955,00	\$ 1.878,00	\$ 973,00
GYE122		\$ 511,00	\$ 485,00
GYE201		\$ 230,00	
GYE203			\$ 315,00
GYE204	\$ 15.681,00	\$ 13.700,00	\$ 11.562,00
GYE205			\$ 395,00
GYE211	\$ 315,00		
GYE221	\$ 415,00	\$ 415,00	\$ 1.660,00
GYE240		\$ 70,00	
GYE250		\$ 700,00	
GYE300	\$ 1.845,00	\$ 820,00	\$ 1.435,00
GYE400	\$ 65,00	\$ -	\$ 65,00
GYE401	\$ 534,00	\$ 341,00	\$ 315,00
GYE402	\$ 95,00	\$ 535,00	\$ 95,00
GYE410			\$ 135,00
GYE411	\$ 2.036,00	\$ 1.842,00	\$ 1.705,00
GYE412	\$ 136,00	\$ 672,00	\$ 534,00
GYE413	\$ 549,00	\$ 155,00	\$ 428,00
GYE414	\$ 243,00		
GYE415	\$ 496,00		\$ 227,00
GYE420	\$ 1.169,00	\$ 526,00	\$ 422,00
GYE421			\$ 91,00
GYE423	\$ 578,00		\$ 270,00
GYE430		\$ 90,00	
GYE431		\$ 90,00	
GYE432	\$ 1.179,00	\$ 700,00	\$ 919,00
GYE440	\$ 616,00	\$ 348,00	\$ 330,00
GYE450	\$ 560,00	\$ 450,00	\$ 650,00
GYE451	\$ 190,00	\$ 235,00	
GYE452	\$ 2.090,00	\$ 1.886,00	\$ 2.375,00
GYE461	\$ 225,00	\$ 157,00	\$ 75,00
GYE462	\$ 666,00	\$ 942,00	\$ 330,00
GYE463	\$ 90,00	\$ 76,00	\$ 70,00
GYE465	\$ 175,00	\$ 151,00	
GYE466	\$ 186,00	\$ 742,00	\$ 966,00
GYE467			\$ 106,00
GYE469	\$ 125,00	\$ 131,00	
GYE470	\$ 180,00	\$ 276,00	\$ 187,00
GYE471	\$ 300,00	\$ 106,00	\$ 423,00
GYE472	\$ 395,00		
GYE475	\$ 421,00	\$ 572,00	\$ 151,00
GYE476			\$ 150,00
GYE500	\$ 4.683,00	\$ 4.233,00	\$ 6.716,00
GYE510	\$ 835,00	\$ 343,00	\$ 337,00
GYE520	\$ 1.021,00	\$ 1.030,00	\$ 1.046,00
GYE530	\$ 170,00	\$ 170,00	\$ 170,00
GYE540	\$ 350,00	\$ 175,00	\$ 175,00
GYE600	\$ 165,00		
GYE601	\$ 1.260,00	\$ 563,00	\$ 180,00
GYE602		\$ 360,00	\$ 360,00
GYE603	\$ 610,00	\$ 1.078,00	\$ 1.554,00
GYE610	\$ 410,00	\$ 820,00	\$ 615,00
GYE611	\$ 993,00		\$ 205,00
GYE612	\$ 1.192,00	\$ 1.008,00	\$ 976,00
GYE700	\$ 12.134,00	\$ 9.947,00	\$ 9.486,00
GYE701	\$ 3.227,00	\$ 2.156,00	\$ 2.940,00
GYE702	\$ 4.787,00	\$ 3.665,00	\$ 3.888,00
GYE703	\$ 95,00	\$ 103,00	\$ 190,00
<b>Total general</b>	<b>\$ 79.620,00</b>	<b>\$ 70.421,00</b>	<b>\$ 69.202,00</b>

**ANEXO D: Coordenadas de los clientes (se muestra un ejemplo de la base de datos de clientes, manejado por códigos)**

No.	COD. CLIENTE	PROVINCIA	CIUDAD	DIRECCIÓN	GEOLOCALIZACIÓN
1	1000409	LOS RIOS	BABAHOYO	27 DE MAYO Y G. MORENO y	-1.79984509944916,-79.5299224853516
2	1000411	LOS RIOS	BABAHOYO	Av. 5 de Julio y Pedro Carbo	-1.79849277636816,-79.5292551517473
3	1000412	LOS RIOS	BABAHOYO	10 de Agosto y Juan Montalvo	-1.79769425152651,-79.5291056632983
4	1000414	LOS RIOS	BABAHOYO	Av. 5 de Julio y Pedro Carbo	-1.79861997500871,-79.5299649238573
5	1000415	LOS RIOS	BABAHOYO	Bolivar y Av. 5 de Julio	-1.79974580121257,-79.5315595796284
6	1000418	LOS RIOS	BABAHOYO	Rocafuerte y Av. General Barona	-1.79910475158837,-79.5338737964617
7	1000424	LOS RIOS	BABAHOYO	Eloy Alfaro y Av. 5 de Julio	-1.79961259917465,-79.5330246686922
8	1016102	LOS RIOS	BABAHOYO	Av. 5 de Julio y Pedro Carbo	-1.7986199924639,-79.529494082974
9	1000359	GUAYAS	BALZAR	Av. Daule y 9 de Octubre	-1.36689569109396,-79.9069666862475
10	1000360	GUAYAS	BALZAR	7 de Agosto y Av. Baltazar Arauz	-1.36030519310997,-79.9041359424564
11	1030976	GUAYAS	BALZAR	Vinces y Av. 26 de Septiembre	-1.36574362641773,-79.9081104993807
12	1000425	LOS RIOS	BUENA FE	Av. 7 de Agosto 1980 y 10 de Agosto	-0.897819721731923,-79.4906531440571
13	1000446	LOS RIOS	BUENA FE	Av. 7 de Agosto y Arcadio Fuentes	-0.891746853963402,-79.4895207881915
14	1000447	LOS RIOS	BUENA FE	Av. 7 de Agosto y Gabriel Rivera	-0.89610223125527,-79.490180611609
15	1000101	GUAYAS	DAULE	JOSE VELEZ E/ AYACUCHO Y ROCAFUER	-1.86365854740143,-79.9775695800781
16	1000097	GUAYAS	DAULE	BOYACa SOLAR # 10 Y JAIME	-1.85790014266968,-79.9754486083984
17	1021805	GUAYAS	DAULE	Av. Vicente Piedrahita y Gral. Francisco	-1.859402,-79.97631
18	1000099	GUAYAS	DAULE	Colon y Av. Vicente Piedrahita	-1.863455,-79.979723
19	1000090	GUAYAS	DAULE	Av. Vicente Piedrahita y Colon	-1.86355384200063,-79.9799076084582
20	1000093	GUAYAS	DAULE	Colon y Maria Caiche	-1.86510171089645,-79.9777878134905
21	1000092	GUAYAS	DAULE	Colimes y El Laurel	-1.86317238686787,-79.9764358213464
22	1000125	GUAYAS	DAULE	Tribu Chonana y Prof. Betsabe Campar	-1.86501664783287,-79.9765021800982
23	1008713	GUAYAS	DAULE	Av. Vicente Piedrahita, Colon	-1.863294,-79.979902
24	1000109	GUAYAS	DURAN	Calle S-5 y Calle 164	-2.206905,-79.813844
25	1000107	GUAYAS	DURAN	N/D y Calle N-5	-2.186617,-79.823197
26	1034041	GUAYAS	DURAN	Gral. Alfaro y N/D	-2.167614,-79.841048
27	1000108	GUAYAS	DURAN	N/D y Pt. L	-2.164224,-79.843596
28	1000362	GUAYAS	EMPALME	A. Calderon y Juan Leon Mera	-1.04109249140652,-79.6385326293432
29	1000363	GUAYAS	EMPALME	Amazonas y N/D	-1.04402235888076,-79.6363725666942
30	1042316	GUAYAS	EMPALME	Amazonas y Av. Guayaquil	-1.04369837260368,-79.6377673175556
31	1004181	GUAYAS	EMPALME	Av. Guayaquil y 23 de Junio	-1.04453508286651,-79.6381535556537
32	1000304	GUAYAS	GUAYAQUIL	Doctor Alfredo Cevallos C. y 11º Pa. 18	-2.12368,-79.88395
33	1000297	GUAYAS	GUAYAQUIL	Av. Benjamin Carrion Mora y Palmales	-2.13645,-79.90337
34	1000301	GUAYAS	GUAYAQUIL	Av. Francisco de Orellana y 2º Cj. 19B	-2.12385,-79.90448
35	1000350	GUAYAS	GUAYAQUIL	Av. Doctor Gabriel Garcia Moreno 3013	-2.20415306916409,-79.8960239887224
36	1000312	GUAYAS	GUAYAQUIL	Av. Arq. Modesto Luque Rivadeneira y	-2.10409773396515,-79.9513408782932
37	1000302	GUAYAS	GUAYAQUIL	2º Cj. 24 NO y Av. Dr. Camilo Ponce Enr	-2.09713870895059,-79.9371039449369
38	1049223	GUAYAS	GUAYAQUIL	Jose Maria Roura Oxandaberro y 18º Pt	-2.13547,-79.88794
39	1001125	GUAYAS	GUAYAQUIL	Calle 30 y Calle W	-2.12106,-79.95844
40	1000320	GUAYAS	GUAYAQUIL	Jose Maria Egas y N/D	-2.12977,-79.88635
41	1000338	GUAYAS	GUAYAQUIL	3º Psje. 38 NO y Lcdo. Luis Eduardo Rol	-2.10353158765572,-79.9248701223906
42	1037597	GUAYAS	GUAYAQUIL	Calle J y Calle 4	-2.11353,-79.94942
43	1000292	GUAYAS	GUAYAQUIL	18º Pa. 17 NE y Av. Dr. Antonio Parra V	-2.12893,-79.89265
44	1181815	GUAYAS	GUAYAQUIL	Ing. Felipe Pezo Campuzano y Av. Del	-2.13774,-79.91388
45	1000287	GUAYAS	GUAYAQUIL	Av. Gabriel Roldos Garces y N/D	-2.12602,-79.89732
46	1000315	GUAYAS	GUAYAQUIL	Av. Francisco de Orellana y N/D	-2.08425,-79.91442
47	1013867	GUAYAS	GUAYAQUIL	3º Psje. 37A NO y Av. Dr. Juan Tanca M	-2.14551,-79.91913
48	1037558	GUAYAS	GUAYAQUIL	3º Cj. 14 NO y Av. Doctor Raul Gomez L	-2.15668999999997,-79.9131999999986
49	1045027	GUAYAS	GUAYAQUIL	N/D y Av. Sigsig	-2.11641,-79.97983
50	1037657	GUAYAS	GUAYAQUIL	Av. Perimetral y Calle H-1	-2.12513,-79.94965

**ANEXO E: Archivo de datos para modelo ejecutable en Wolfram  
Mathematica**

ID_ASIG	CODIGO DE CLIENTE - IDENTIFICADOR	CODIGO DE CLIENTE - IDENTIFICADOR	COORDENADAS X	COORDENADAS Y	VOLUMEN DEL PEDIDO	TIEMPO DE SERVICIO - MINUTOS	VENTANA DE TIEMPO - HORARIO DE ATENCION MINIMO - MINUTOS	VENTANA DE TIEMPO - HORARIO DE ATENCION MAXIMO - MINUTOS
1	5001025	C5001025	-2,08904	-79,89509	12,30	20	540,00	1140,00
1	5001025	C5001025	-2,08904	-79,89509	3,80	20	540,00	1140,00
1	1000297	C1000297	-2,13645	-79,90337	40,00	20	540,00	1020,00
1	1000297	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,83	20	540,00	1020,00
1	1000501	C1000501	-2,19418	-79,88627	32,00	20	600,00	900,00
1	1000297	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,40	20	540,00	1020,00
1	1000297	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,85	20	540,00	1020,00
1	1000297	C1000297	-2,13645	-79,90337	0,96	20	540,00	1020,00
1	1000122	C1000122	-2,19528	-79,88641	0,83	20	540,00	1020,00
1	1000297	C1000297	-2,13645	-79,90337	4,30	20	540,00	1020,00
1	1000501	C1000501	-2,19418	-79,886272	3,80	20	600,00	900,00
1	1000122	C1000122	-2,19528	-79,88641	22,00	20	540,00	1020,00
1	1061642	C1061642	-2,14175	-79,908829	0,96	20	540,00	1080,00
1	1052675	C1052675	-3,26167	-79,95506	32,00	20	480,00	1080,00
1	1052675	C1052675	-3,26167	-79,95506	38,00	20	480,00	1080,00
1	1088022	C1088022	-3,2598	-79,956324	11,00	20	420,00	1020,00
1	1088022	C1088022	-3,2598	-79,956324	3,90	20	420,00	1020,00
1	1000501	C1000501	-2,19418	-79,886272	12,00	20	600,00	900,00
2	1000501	C1000501	-2,19418	-79,886272	3,00	20	600,00	900,00
2	1061642	C1061642	-2,14175	-79,908829	0,63	20	540,00	1080,00
2	1001122	C1001122	-2,22608	-80,91051	12,00	20	480,00	1080,00
2	1100247	C1100247	-2,20141	-79,892055	0,53	20	540,00	1080,00
2	1047247	C1047247	-2,2009	-79,89381	21,00	20	540,00	1020,00
2	1047247	C1047247	-2,2009	-79,89381	13,00	20	540,00	1020,00
2	1049223	C1049223	-2,13547	-79,88794	14,00	20	900,00	1020,00
2	1047247	C1047247	-2,2009	-79,89381	3,40	20	540,00	1020,00
2	1000020	C1000020	-3,25909	-79,9558	5,00	20	480,00	1080,00
2	1000018	C1000018	-3,25979	-79,95571	5,90	20	480,00	1080,00
2	1000019	C1000019	-3,25574	-79,95342	12,00	20	480,00	1080,00
2	1042316	C1042316	-1,04369	-79,63776	0,30	20	480,00	1080,00
2	1000178	C1000178	-2,0958	-79,93654	20,40	20	540,00	1020,00
2	1061642	C1061642	-2,14175	-79,908829	0,96	20	540,00	1080,00
2	1016842	C1016842	-2,163987	-79,925531	0,40	20	600,00	900,00
2	1047247	C1047247	-2,2009	-79,89381	4,00	20	540,00	1020,00
2	1000229	C1000229	-2,12523	-79,59045	0,96	20	480,00	1080,00
3	1000301	C1000301	-2,12385	-79,90448	4,30	20	540,00	1020,00
3	1000301	C1000301	-2,12385	-79,90448	31,00	20	540,00	1020,00
3	1034160	C1034160	-2,19838	-79,89068	7,40	20	540,00	1020,00
3	1016842	C1016842	-2,19105	-79,925531	0,63	20	600,00	900,00

## ANEXO F: Código Wolfram Mathematica para CVRPTW

# CVRPTW: INDUSTRIA\_DEL\_DESCANSO

```
(*Datos*)
i = 1;
a = 1;
cap = 30;
datos2 = {};
datos2 = Import[
  |importa
  "C:\\Users\\ROXANA REYES\\Desktop\\RESULTADOS WOLFRAM\\BD CLIENTE COORD RR19 SEPT.xlsx"];
  |constante
datos2 = datos2[[1]];
crossdocking = {"CCDDGYE", -2.143022, -79.913428, 0., 20., 480., 1080.};
simulacion = 1;
datos = {};
i = 1;
While[i ≤ Length[datos2],
  |mientras |longitud
  If[simulacion == datos2[[i]][[1]], AppendTo[datos, datos2[[i]]] i++];
  |si |añade al final

datos = Table[datos[[i, 3 ;; 9]], {i, Length[datos]}];
  |tabla |longitud
PrependTo[datos, crossdocking]
  |añade al principio

TableForm[datos, TableHeadings → {None, {"Nodo", "Coordenada xi",
  |forma de tabla |cabeceras de tabla |ninguno
  "Coordenada yi", "Tamaño del pedido ai", "Tiempo de Operacion del Cliente ai",
  "Tiempo de Vmin del Cliente ai", "Tiempo de Vmax del Cliente ai"}]}

d = Table[N[EuclydeanDistance[datos[[i, 2 ;; 3]], datos[[j, 2 ;; 3]] * 10, 10],
  |tabla |distancia euclídea
  {i, Length[datos]}, {j, Length[datos]}];
  |longitud |longitud
TableForm[d, TableHeadings → {datos[[All, 1]], datos[[All, 1]]}]
```

```

n = Length[datos];
      |longitud
v = 1.5; (*Velocidad_Promedio*)
rutas = Table[{1, i, 1}, {i, 2, n}];
      |tabla
(*Incluir_el_origen_como_Principal_Cliente*)
      |constante
s[a_, b_] := d[{1, a[[2]]}] + d[{1, b[[2]]}] - d[{a[[2]], b[[2]]}];
(*Distancia_de_Ahorro*)

t[a_] := Sum[d[{a[[i]], a[[i+1]]}] / v + datos[{a[[i]], 5}], {i, 1, Length[a] - 1};
      |suma |longitud
(* Tiempo de Operacion y Tiempo de Recorrido*)
ss[a_] := Sum[d[{a[[i]], a[[i+1]]}], {i, 1, Length[a] - 1}; (*Distancia_Ruta*)
      |suma |longitud
carga[a_] := Sum[datos[{a[[i]], 4}], {i, 2, Length[a] - 1}; (*Carga de la Operacion*)
      |suma |longitud

vrn[a_] := {
  ta = 0;
  tr = 420;
  ti = 300;
  i = 1;
  r = 1;

  While[i <= Length[a] - 1,
    |mientras |longitud

    Which[
      |cuál
      tr <= datos[{a[[i]], 7}] && i == 1,
      ta = d[{a[[i]], a[[i+1]]}] / v + datos[{a[[i]], 5}];
      tr = tr + ta + ti - 180;
      r = r + 1
      (*Print["Positivo",tr,"Ventana_Minima",
      |escribe
      datos[{a[[i]],6}], "Ventana_Maxima",datos[{a[[i]],7}] ]*),

      tr >= datos[{a[[i]], 6}] && tr <= datos[{a[[i]], 7}] && i > 1,
      ta = d[{a[[i]], a[[i+1]]}] / v + datos[{a[[i]], 5}];
      tr = tr + ta;
      r = r + 1
      (*Print["Positivo",tr,"Ventana_Minima",
      |escribe
      datos[{a[[i]],6}], "Ventana_Maxima",datos[{a[[i]],7}] ]*),

```

```

(tr <= datos[[a[[i]], 6]] || tr >= datos[[a[[i]], 7]] && i > 1) == 1,
ta = d[[a[[i]], a[[i+1]]] / v + datos[[a[[i]], 5]];
tr = tr + ta;
r = r * 0
(*Print["Positivo", tr, "Ventana_Minima",
  |escribe
  datos[[a[[i]], 6]], "Ventana_Maxima", datos[[a[[i]], 7]] ]*)
]; i++; r};

dvrn[a_] := {
  ta = 0;
  tr = 420;
  ti = 300;
  i = 1;
  r = 1;

  While[i ≤ Length[a] - 1,
    |mientras |longitud

    Which[
      |cuál
      tr ≤ datos[[a[[i]], 7]] && i == 1,
      ta = d[[a[[i]], a[[i+1]]] / v + datos[[a[[i]], 5]];
      tr = tr + ta + ti - 180;
      r = r + 1;
      Print["Positivo", tr, "Ventana_Minima",
        |escribe
        datos[[a[[i]], 6]], "Ventana_Maxima", datos[[a[[i]], 7]] ],

      tr >= datos[[a[[i]], 6]] && tr ≤ datos[[a[[i]], 7]] && i > 1,
      ta = d[[a[[i]], a[[i+1]]] / v + datos[[a[[i]], 5]];
      tr = tr + ta;
      r = r + 1;
      Print["Positivo", tr, "Ventana_Minima",
        |escribe
        datos[[a[[i]], 6]], "Ventana_Maxima", datos[[a[[i]], 7]] ],

      (i > 1 && (tr <= datos[[a[[i]], 6]] || tr >= datos[[a[[i]], 7]])) == 1,
      ta = d[[a[[i]], a[[i+1]]] / v + datos[[a[[i]], 5]];
      tr = tr + ta;
      r = r * 0;
      Print["Positivo", tr, "Ventana_Minima",
        |escribe
        datos[[a[[i]], 6]], "Ventana_Maxima", datos[[a[[i]], 7]] ]

    ]; i++; r};

tvrn[a_] := {
  ta = 0;
  tr = 420;
  ti = 300;
  i = 1;
  r = 1;

```

```

While[i < Length[a] - 1,
  |mientras | longitud
  |
  ta = d[[a[[i]], a[[i+1]]] * (1/v);
  to = datos[[a[[i]], 5] * 1;
  If[
    |si
    i == 1,
    tr = tr + ta + to + ti - 180, tr = tr + to + ta ]; i++]; tr = tr - 480; tr];

Print[Column[{"Tabla de ahorros (savings)",
  |argumento | columna
  AppendTo[rutas,
    |añade al final
    Flatten[Insert[rutas[[pp[[1]]], Reverse[rutas[[qq[[1]], 2 ;; -2]]], -2]];
    |aplana |inserta |invierte orden
    rutas = Delete[rutas, {{pp[[1]]}, {qq[[1]]}}];
    |elimina
  ahorros[[p, q]] = 0,
  |
  | (pp[[2]] != 2 && pp[[2]] != rutas[[pp[[1]], -2]]) ||
  | (qq[[2]] != 2 && qq[[2]] != rutas[[qq[[1]], -2]]) , ahorros[[p, q]] = 0
  (*ahorros[vrn[{1,2,25,1}][[1]]]=0*)
  ]
  ]
];

```

```

(*Algoritmo-Nodos-Rutas*)
i = 1;
j = 1;
nodoR = {};
rutaP = {};
nodoA = {};
Do[
  |repite
  j = 1;
  Do[
    |repite
    u = datos[[rutas[[i]][[j+1]], 4];
    v = datos[[rutas[[i]][[j+1]], 5];
    o = datos[[rutas[[i]][[j+1]], 6];
    (*e=rutas[[i]][[j]] ← rutas[[i]][[j+1]] → {"P:",u,"Min:",v,"Max:",o};*)
    |mínimo |máximo
    e = rutas[[i]][[j]] ← rutas[[i]][[j+1]];
    nodoA = AppendTo[nodoA, e];
    |añade al final
    nodoR = AppendTo[nodoR, e], {j, Length[rutas[[i]] - 1]};
    |añade al final | longitud
  ]
];

```

(\*Algoritmo-Presentación-Rutas\*)

```
i = 1;  
j = 1;  
recorrido[a_] := Sum[d[[a[[i]], a[[i+1]]]], {i, 1, Length[a] - 1};  
|suma |longitud
```

(\*Distancia\_Ruta\*)

```
Reporte = {};  
km = {};  
k = 0;  
m = 1;  
While[m ≤ Length[rutas], k = recorrido[rutas[[m]]];  
|mientras |longitud
```

```
TableForm[ahorros = Table[s[rutas[[i]], rutas[[j]]], {i, n - 1}, {j, 1, i - 1}],  
|forma de tabla |tabla  
TableHeadings → {datos[[2 ;; n, 1]], datos[[2 ;; n, 1]]}, Center, Frame → All]  
|cabeceras de tabla |centro |marco |todo
```

```
roxannaahorro = Print[Column[{"Tabla de ahorros (savings)",  
|escribe |columna  
TableForm[ahorros = Table[s[rutas[[i]], rutas[[j]]], {i, n - 1}, {j, 1, i - 1}],  
|forma de tabla |tabla  
TableHeadings → {datos[[2 ;; n, 1]], datos[[2 ;; n, 1]]}, Center, Frame → All];  
|cabeceras de tabla |centro |marco |todo
```

```
opcion = True;  
|verdadero
```

```
While[Max[ahorros] > 0.00001,  
|mientras |máximo  
m = Max[ahorros];  
|máximo  
{p, q} = Position[ahorros, m][[1]];  
|posición  
pp = Position[rutas, p + 1][[1]];  
|posición  
qq = Position[rutas, q + 1][[1]];  
|posición
```

```
a = 1;
```

```
If[  
|si  
pp[[1]] == qq[[1]],  
ahorros[[p, q]] = 0,
```

```
which[  
|cuál
```

```

carga[Flatten[
  |aplana
  Insert[rutas[[pp[[1]]], Reverse[rutas[[qq[[1]], 2 ;; -2]], 2]] > cap ,
  |inserta |invierte orden

ahorros[[p, q]] = 0,

pp[[2]] == 2 && qq[[2]] == 2 &&
carga[Flatten[Insert[rutas[[pp[[1]]], Reverse[rutas[[qq[[1]], 2 ;; -2]], 2]]] ≤
  |aplana |inserta |invierte orden
cap && vrn[Flatten[Insert[rutas[[pp[[1]]],
  |aplana |inserta
  Reverse[rutas[[qq[[1]], 2 ;; -2]], 2]]][[1]] == 1,
  |invierte orden

AppendTo[rutas,
  |añade al final
  Flatten[Insert[rutas[[pp[[1]]], Reverse[rutas[[qq[[1]], 2 ;; -2]], 2]]];
  |aplana |inserta |invierte orden
  rutas = Delete[rutas, {{pp[[1]], {qq[[1]]}}];
  |elimina

ahorros[[p, q]] = 0,

pp[[2]] == 2 && qq[[2]] == rutas[[qq[[1]], -2]] &&
carga[Flatten[Insert[rutas[[pp[[1]]], rutas[[qq[[1]], 2 ;; -2]], 2]]] ≤ cap &&
  |aplana |inserta
vrn[Flatten[Insert[rutas[[pp[[1]]], rutas[[qq[[1]], 2 ;; -2]], 2]]][[1]] == 1,
  |aplana |inserta

AppendTo[rutas, Flatten[Insert[rutas[[pp[[1]]], rutas[[qq[[1]], 2 ;; -2]], 2]]];
  |añade al final |aplana |inserta
  rutas = Delete[rutas, {{pp[[1]], {qq[[1]]}}];
  |elimina

ahorros[[p, q]] = 0,

pp[[2]] == rutas[[pp[[1]], -2]] && qq[[2]] == 2 &&
carga[Flatten[Insert[rutas[[pp[[1]]], rutas[[qq[[1]], 2 ;; -2]], -2]]] ≤ cap &&
  |aplana |inserta
vrn[Flatten[Insert[rutas[[pp[[1]]], rutas[[qq[[1]], 2 ;; -2]], -2]]][[1]] ==
  |aplana |inserta
  1,

  AppendTo[rutas,
  |añade al final
  Flatten[Insert[rutas[[pp[[1]]], rutas[[qq[[1]], 2 ;; -2]], -2]]];
  |aplana |inserta
  rutas = Delete[rutas, {{pp[[1]], {qq[[1]]}}];
  |elimina

```

```

ahorros[ {p, q} ] = 0,

pp[ {2} ] = rutas[ {pp[ {1} ], -2} ] && qq[ {2} ] == rutas[ {qq[ {1} ], -2} ] && carga[ Flatten[
    Insert[ rutas[ {pp[ {1} ] }, Reverse[ rutas[ {qq[ {1} ], 2 ;; -2} ] ], -2] ] ] ≤ cap &&
vrn[ Flatten[ Insert[ rutas[ {pp[ {1} ] }, Reverse[ rutas[ {qq[ {1} ], 2 ;; -2} ] ], -2] ] ] [
1] ] == 1,

km = AppendTo[ km, k ]; m++;

Cf = 100.00;
Cv = 1.30;
km2 = {};
k2 = 0;
mm1 = 1;
While[ mm1 ≤ Length[ rutas ], k2 = Cv + km[ {mm1} ] + Cf;
mm1++;

points2 = Table[ { datos[ {i, 2} ], datos[ {i, 3} ] }, {i, Length[ datos ] };

ww = Table[ GeoPosition[ points2[ { rutas[ {i} ] [ {j} ] } ] ],
{ i, Length[ rutas ] }, { j, Length[ rutas[ {i} ] ] };

Do[
a = i;
b = ToString[ rutas[ {i} ] ];
c = carga[ rutas[ {i} ] ];
f = ToString[ TravelDirections[ ww[ {a} ], "TravelTime" ] ];
g = c - cap;
h = Which[ c ≤ cap, "Lo_Faltante_para_completar_el_Vehículo", c ≥ cap,
"Debe_Distribuir_en_otro_transporte", c = cap, "Vehículo_Completo" ];
ii = ToString[ TravelDirections[ ww[ {a} ], "TravelDistance" ] ];
jj = 97.39 + 0.19 * QuantityMagnitude[ TravelDirections[ ww[ {a} ], "TravelDistance" ] ];
e = Flatten[ { a, b, c, f, g, h, ii, jj } ];
Reporte = AppendTo[ Reporte, e ]; e = {}, {i, Length[ rutas ] };

MatrixForm[ Reporte, TableHeadings → { None, { "Iter", "Ruta",

```

"Volumen", "Tiempo", "Diferencia", "Observacion", "KM", "Costo\_Ruta"]}]

points2 = Table[{datos[[i, 2]], datos[[i, 3]], {i, Length[datos]}}];

ww = Table[GeoPosition[points2[[rutas[[i]][[j]]]]],  
{i, Length[rutas]}, {j, Length[rutas[[i]]}];

(\*td=TravelDirections[{GeoPosition[points2[[1]]],GeoPosition[points2[[2]]]}]

GeoGraphics[Style[Line[td],Thick,Blue];\*]

```
out[ ]:= {{CCDDGYE, -2.14302, -79.9134, 0., 20., 480., 1080.},
{C1000297, -2.13645, -79.9034, 30., 20., 540., 1020.},
{C1000501, -2.19419, -79.8863, 29., 20., 600., 900.},
{C1052675, -3.26168, -79.9551, 28., 20., 480., 1080.},
{C1052675, -3.26168, -79.9551, 30., 20., 480., 1080.},
{C1052675, -3.26168, -79.9551, 14., 20., 480., 1080.},
{C1088022, -3.25981, -79.9563, 11., 20., 420., 1020.},
{C1088022, -3.25981, -79.9563, 3.9, 20., 420., 1020.}}
```

out[ ]//TableForm=

Nodo	Coordenada x <sub>i</sub>	Coordenada y <sub>i</sub>	Tamaño del pedido a <sub>i</sub>	Tiempo de Operacion
CCDDGYE	-2.14302	-79.9134	0.	20.
C1000297	-2.13645	-79.9034	30.	20.
C1000501	-2.19419	-79.8863	29.	20.
C1052675	-3.26168	-79.9551	28.	20.
C1052675	-3.26168	-79.9551	30.	20.
C1052675	-3.26168	-79.9551	14.	20.
C1088022	-3.25981	-79.9563	11.	20.
C1088022	-3.25981	-79.9563	3.9	20.

out[ ]//TableForm=

	CCDDGYE	C1000297	C1000501	C1052675	C1052675	C1052675	C1088022
CCDDGYE	0.	0.120148	0.579241	11.1943	11.1943	11.1943	11.1761
C1000297	0.120148	0.	0.602145	11.2641	11.2641	11.2641	11.1761
C1000501	0.579241	0.602145	0.	10.697	10.697	10.697	11.1761
C1052675	11.1943	11.2641	10.697	0.	0.	0.	11.1761
C1052675	11.1943	11.2641	10.697	0.	0.	0.	11.1761
C1052675	11.1943	11.2641	10.697	0.	0.	0.	11.1761
C1088022	11.1761	11.246	10.6792	0.0225581	0.0225581	0.0225581	0.
C1088022	11.1761	11.246	10.6792	0.0225581	0.0225581	0.0225581	0.

Tabla de ahorros (savings)							
	C1000297	C1000501	C1052675	C1052675	C1052675	C1088022	C1088022
C1000297							
C1000501	0.0972437						
C1052675	0.0503053	1.07648					
C1052675	0.0503053	1.07648	22.3886				
C1052675	0.0503053	1.07648	22.3886	22.3886			
C1088022	0.0501887	1.07612	22.3478	22.3478	22.3478		
C1088022	0.0501887	1.07612	22.3478	22.3478	22.3478	22.3521	

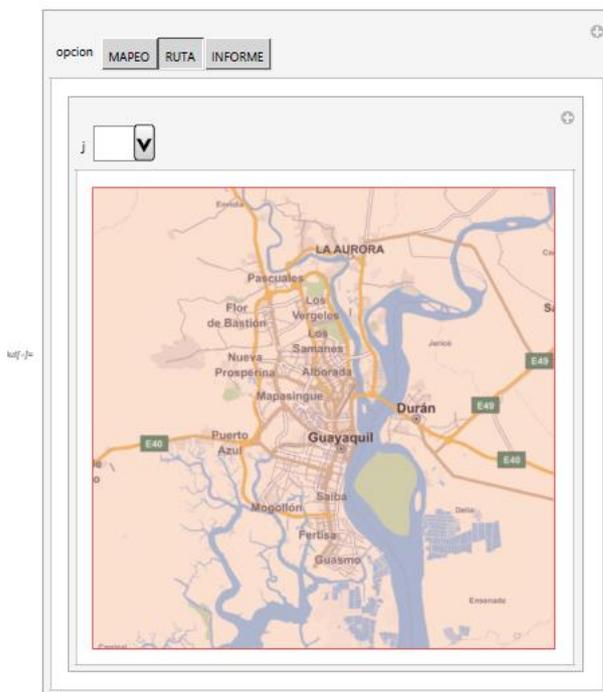
```

In[ ]:= Manipulate[
  |manipula
  which[
    |cuál
    opcion == "MAPEO",

    Graph[nodoA, VertexShapeFunction -> "Diamond",
    |grafo |función de forma de vértice |diamante
    VertexSize -> Medium, VertexShapeFunction -> "Diamond",
    |tamaño de vért... |tamaño... |función de forma de vértice |diamante
    VertexLabels -> "Name", VertexCoordinates -> datos[{{All, 2 ;; 3}}]
    |etiquetas de vértices |coordenadas de vértices |todo
    ],

    opcion == "RUTA",
    Manipulate[GeoGraphics[Style[Line[TravelDirections[ww[[j]]]], Thick, Blue]],
    |manipula |mapa geográf... |estilo |línea |instrucciones de viaje |grueso |azul
    {j, Range[Length[ww]]}],
    |rango |longitud
    ],
    opcion == "INFORME",
    Show[MatrixForm[Reporte, TableHeadings -> {None, {"Iter", "Ruta", "Peso",
    |mue... |forma de matriz |cabeceras de tabla |ninguno
    "Tiempo", "Diferencia", "Observacion", "KM", "Costo_Ruta"}]}],
    {opcion, {"MAPEO", "RUTA", "INFORME"}}]

```



```

In[ ]:= Export["Reporte.xlsx", Reporte]
|exporta

```

Out[ ]:= Reporte.xlsx

