

Evaluación de la relación entre la flota vehicular requerida para distribución de última milla y la promesa de tiempo de entrega.

Erika Carmona Agudelo – Cód. 1733512

Carolina Conu Castillo – Cód. 1733666

Universidad del Valle, Sede Cali
Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial

Director de trabajo de grado:

Juan José Bravo, Ph.D.

Cali – Valle del Cauca

2022

Tabla de contenido

1. Introducción	7
2. Planteamiento del problema:	8
3. Objetivos	10
3.1. Objetivo general	10
3.2. Objetivos específicos	11
4. Marco teórico	11
4.1. Logística	11
4.2. Logística de última milla	12
4.3. VRP (Vehicle Routing Problem)	12
4.3.1. Limitación básica de capacidad (Constrained Vehicle Routing Problems, CVRP):	13
4.3.2. Limitación por ventanas de tiempo (Vehicle Routing Problem with Time Windows, VRPTW):	13
4.3.3. VRP con viajes de regreso (Vehicle Routing Problem with Backhauls, VRPB):	13
4.3.4. VRP con recogida y entrega (Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery, VRPPD):	14
4.3.5. VRP con ruteo vehicular estocástico (Stochastic Vehicle Routing Problem, SVRP):	14
5. Factores asociados a la distribución de última milla	15
5.1. Crecimiento de la población:	15
5.2. Congestión vehicular:	15
5.3. Flota vehicular utilizada:	15
5.4. Uso de plataformas virtuales:	16
5.5. Centros de distribución:	16
5.6. Tipos de ventana de tiempo	16
5.7. Costos asociados a la distribución:	17
6. VRP Spreadsheet Solver	17
6.1. Estructura de la hoja de cálculo	18
6.1.1. VRP Solver Console	19
6.1.2. Localización	20
6.1.3. Distancia	20
6.1.4. Vehículo	20

6.1.5.	Solución	21
6.1.6.	Visualización	22
7.	Caso de estudio	22
7.1.	Demanda	22
7.2.	Flota vehicular	23
7.3.	Costos	25
7.3.1.	Costos fijos	25
7.3.2.	Costos variables	26
7.4.	Ventanas de tiempo	27
7.5.	Restricciones asociadas	28
8.	Proceso metodológico	28
8.1.	Simulación de escenarios	28
8.2.	Indicadores	29
8.3.	Rendimiento de indicadores	30
8.4.	Herramienta de visualización de resultados	33
9.	Resultados	33
9.1.	Caso 1: Ventanas de tiempo de 4 horas	34
9.1.1.	Resultados VRP Spreadsheet Solver	34
9.1.2.	Indicadores	35
9.1.3.	Resultados de normalización Caso 1	35
9.1.3.1.	Escala permisiva	36
9.1.3.2.	Escala estricta	37
9.2.	Caso 2: Ventanas de tiempo de 2 horas	38
9.2.1.	Resultados VRP Spreadsheet Solver	38
9.2.2.	Indicadores	39
9.2.3.	Resultados de normalización	40
9.2.3.1.	Escala permisiva	40
9.2.3.2.	Escala estricta	41
9.3.	Caso 3: Ventanas de tiempo de 1 horas	43
9.3.1.	Resultados VRP Spreadsheet Solver	43
9.3.2.	Indicadores	44
9.3.3.	Resultado de normalización	44
9.3.3.1.	Escala permisiva	45

9.3.3.2. Escala estricta	45
9.4. Análisis de los casos	47
10. Conclusiones y recomendaciones	48

Tabla de figuras

Figura 1. Flujo de Información de hojas	19
Figura 2. Hoja de trabajo VRP Solver Console	20
Figura 3. Hoja de trabajo Solución 1.	21
Figura 4. Dimensiones de cajas. Fuente: cajadecartón.es	24
Figura 5. Herramienta de visualización de resultados (Elaboración propia)	33
Figura 6: Ruta vehicular E3 caso 1.	38
Figura 7. Ruta vehicular E9 caso 2.	41
Figura 8. Ruta vehicular E1 caso 2.	42
Figura 9. Ruta vehicular E15 caso 3.	47

Lista de tablas

Tabla 1. Demanda del caso estudio (Elaboración propia)	22
Tabla 2. Capacidad de camión de 2 ejes. Decreto No. 004100.	23
Tabla 3. Ventanas de tiempo. (Elaboración propia)	27
Tabla 4. Casos propuestos. (Elaboración propia)	28
Tabla 5. Límites estrictos y permisivos del caso de estudio. (Elaboración propia)	31
Tabla 6. Resultados obtenidos del Caso 1. (Elaboración propia)	34
Tabla 7. Indicadores Caso 1. (Elaboración propia)	35
Tabla 8. Calificación con escala permisiva. (Elaboración propia)	36
Tabla 9. Calificación con escala estricta (Elaboración propia)	37
Tabla 10. Resultados obtenidos del Caso 2. (Elaboración propia)	38
Tabla 11. Indicadores Caso 2. (Elaboración propia)	39
Tabla 12. Calificación con escala permisiva (Elaboración propia)	40
Tabla 13. Calificación con escala estricta. (Elaboración propia)	41
Tabla 14. Resultados obtenidos del Caso 3. (Elaboración propia)	43
Tabla 15. Indicadores Caso 3. (Elaboración propia)	43
Tabla 16. Calificación con escala permisiva. (Elaboración propia)	44
Tabla 17. Calificación con escala estricta. (Elaboración propia)	45
Tabla 18. Calificación con escala permisiva. (Elaboración propia)	46
Tabla 19. Calificación con escala estricta. (Elaboración propia)	47

Resumen

Se presenta en el siguiente trabajo de grado el estudio del análisis de un caso de estudio hipotético de una empresa manufacturera y distribuidora de productos de confitería no perecederos en la ciudad de Cali, con un problema de ruteo VRPTW (Problemas de ruteo con ventana de tiempo) en donde se evaluó el impacto que tiene el establecimiento de ventanas de tiempo en la definición de la flota vehicular a emplear. Se utilizó el programa VRP Spreadsheet solver 3.4 para el análisis de 3 casos con 5 escenarios cada uno, realizando una normalización de los indicadores (Nivel de servicio, Ganancias obtenidas y Utilización de carga) con dos escalas asociadas al riesgo, obteniendo como resultado una relación inversamente proporcional entre la promesa de entrega y la cantidad de flota vehicular.

Palabras claves: Distribución de última milla, ventana de tiempo, promesa de entrega, problema de ruteo de vehículos (VRP), VRP Spreadsheet Solver, flota vehicular, normalización, nivel de servicio, utilidad, gestión de transporte, simulación.

Evaluación de la relación entre la flota vehicular requerida para distribución de última milla y la promesa de tiempo de entrega.

1. Introducción

La presente propuesta está motivada por las acciones que han realizado las empresas en su logística de distribución en épocas de pandemia, muchas de ellas, pequeñas y medianas empresas (PYMES), les ha correspondido explorar diferentes canales y estrategias de distribución para el cumplimiento de sus promesas de entrega.

Las PYMES en Colombia “representan el 96% del tejido empresarial del país, aportan un 40% al PIB, generan cerca de 17 millones de empleos y representan el 9.8% de las exportaciones que realiza el país” (Monterrosa, 2019). Lo que genera que el estudio de las decisiones y estrategias logísticas de las PYMES sea de gran importancia para la economía y sostenibilidad del país.

En el año 2018, el 8% de Mipymes realizaban ventas por internet, el 36% tenían presencia en la Web y solo el 38% usaban redes sociales, según el Ministerio de las TIC (2018). En una consulta que se realizó para el periódico La República, durante la pandemia mundial, siete de cada diez ventas realizadas en formato digital eran de las PYMES.

En consecuencia de las restricciones sociales, surge la necesidad repentina de usar el e-commerce de manera masiva. Muchas de las PYMES, e incluso grandes empresas, no contaban con una formación empresarial compatible con este auge y desarrollo tecnológico, y tuvieron que ir adaptándose y capacitándose en el uso de las nuevas tecnologías y en el manejo de las nuevas plataformas, equipos y softwares digitales, que permitieran la conquista de este nuevo mercado. Esto impulsó a las empresas al desarrollo de nuevas estrategias comerciales y a mejorar sus estándares de servicio y calidad, utilizando plataformas virtuales que les permitieran facilitar su proceso de distribución de última milla.

Más allá del contexto mencionado anteriormente, la distribución de última milla se define como el tramo final que recorre la mercancía transportada hasta llegar a su último punto de destino, y es un problema general de muchas empresas. Esto significa que es el proceso que sucede desde que el producto final sale del despacho o centro de distribución, hacia el lugar de entrega al cliente final (B2C). En este tipo de distribución existe lo que se llama “la promesa de entrega”, la cual es el tiempo máximo que se promete al cliente cumplir para el despacho de su

mercancía. Esta promesa permite desarrollar una estrategia de servicio que puede ser un factor diferenciador de las empresas con su competencia.

Entendiendo la importancia de garantizar el buen funcionamiento de la cadena de suministro y la logística de distribución de última milla, para la continuidad de las actividades económicas de las Pymes, esta tesis propone un análisis de este contexto comercial, enfocado en estudiar el impacto que tienen las promesas de entrega en la gestión de distribución, particularmente en la flota de vehículos. El propósito central será diseñar una estrategia metodológica para poder estudiar estos impactos en el contexto de un caso de estudio hipotético urbano, evaluando además los costos logísticos en la distribución de última milla como parte de la experimentación.

2. Planteamiento del problema:

Se ha mencionado el E-commerce como un motivador importante en las empresas para el desarrollo de nuevas estrategias de distribución de última milla. En este trabajo de grado se busca analizar este contexto enfocándose en la relación de dos factores cruciales como lo son la flota vehicular y los tiempos de entrega, permitiendo obtener el impacto que tienen sobre los costos de transporte. Lo que conlleva a que la problemática cobre gran sentido no solo a nivel práctico sino también en la literatura científica. Una encuesta realizada por la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) aplicada a 161 empresas afiliadas del sector Manufacturero, Comercio, Profesionales Científico- Técnicos en donde se evidenció que: el 68,2% de los encuestados considera que para su empresa se justifica la implementación del E-commerce por las condiciones de la pandemia mundial, el 21,6% aún no considera que se justifique el uso de estas plataformas y el 10,1% no tiene clara su posición. Además, con respecto a las dificultades que las empresas enfrentan al realizar el cambio de formato, según la encuesta “El 21,0% aseguró que se encuentra en la seguridad digital, 17,7% en el diseño y la carga del catálogo, el 16,9% en el desconocimiento de requisitos legales en torno al E-commerce y el **33,1%** aseguró que estas se han presentado en la logística de despacho y distribución”. (ANDI, 2020)

Con relación a la logística de despacho, los obstáculos se basan principalmente en la oferta de transporte de las Pymes, la cual puede verse limitada, dada la capacidad de distribución de cada una, por lo que muchas tuvieron que evaluar el ampliar su canal de distribución propio al uso

de aplicaciones virtuales de domicilios, o la colaboración con proveedores de transporte, que les permitiera extender su capacidad de despacho de última milla a más zonas y más personas.

La distribución de última milla afecta significativamente los márgenes operativos de las Pymes, según una investigación realizada por Deloitte en el año 2020, empresa de servicios profesionales más grande del mundo, estos costos representan hasta un 40% del costo del producto, lo que genera que sea un aspecto muy importante en las decisiones logísticas. (Deloitte, 2020) Asimismo, al incrementar el número de usuarios en el comercio electrónico, los fallos y retrasos en este proceso impactan directamente en la percepción y satisfacción de los clientes, que buscan una buena experiencia de distribución.

Se realizó una revisión bibliográfica usando la plataforma Scopus, con el fin de encontrar literatura e investigación científica acerca de la estrategia de distribución de última milla en las pequeñas y medianas empresas (PYMES), utilizando el tópico "*Last-mile delivery*". Allí se encontró que entre los años 2015 y 2021 se han realizado 499 publicaciones. Los países que son más activos en la investigación de este tópico son: Estados Unidos, China, Alemania, Italia y Reino Unido, respectivamente.

Entre los artículos encontrados se destacan principalmente las palabras claves: "*Vehicle Routing*" que cuenta con 69 publicaciones, seguida de "*Logistics*" que tiene 60 publicaciones y "*Drone*" 51 publicaciones. De los documentos encontrados se resaltan cuatro similares al tema de interés, que incluyen el e-commerce como contexto comercial relevante: "*The Impact of E-Commerce-Related Last-Mile Logistics on Cities: A Systematic Literature Review*" (Viu-Roig, Alvarez, 2020) y "*Last-Mile delivery for E-Commerce in Vietnam*" (Hoang, 2019) en donde se hace una revisión literaria del impacto del comercio electrónico en la distribución de última milla; "*Understanding the Impact of E-commerce on Last-Mile Light Goods Vehicle Activity in Urban Areas: The Case of London*" (Allen et Hal 2017) en donde se evalúan la actividad vehicular de última milla en un caso de estudio y "*How to Choose 'Last Mile' Delivery Modes for E-Fulfillment*" (Wang et Hal, 2014) que analiza la competitividad de tres modos de entrega de la última milla en tres escenarios diferentes.

En la literatura científica la promesa de entrega no se ha estudiado mayormente, esto a pesar de ser una práctica muy relevante e incluso común en las pequeñas y medianas empresas que buscan establecer una estrategia de distribución competitiva en el mercado. En el año 2009,

Boyer y Prud'homme desarrollaron una investigación donde estudiaban la relación entre los tiempos máximos de entrega prometidos al cliente (promesa de entrega) versus la densidad de clientes en una zona, sin hacer un análisis de la flota vehicular implicada, ni la congestión vehicular en el momento de la entrega. Más adelante, Gevaers et al (2014) realizaron un estudio donde se proponen métricas operativas y de costos, estudiando escenarios de promesas de entrega. Este último artículo no consideró la flota vehicular como parte de su análisis, mientras que sí considera la densidad poblacional de la zona para aproximar el factor de congestión vehicular. Desde el punto de vista de modelos de optimización de ruteo de vehículos, algunos de esos modelos incluyen lo que se denominan “ventanas de tiempo”. En relación con los envíos de última milla, se destaca el artículo de Han et al (2017) en donde estudian las ventanas de tiempo de clientes (promesas de entrega) con un solo vehículo con un modelo matemático que no incluye análisis de densidad de clientes, ni densidad de tráfico.

Más allá de estos estudios observados, no se han hecho otros aportes adicionales de acuerdo con los artículos consultados.

Por todo lo expuesto anteriormente, se evidencia que el análisis de la distribución de última milla y la promesa de entrega son muy importantes para las Pymes, y actualmente no existe literatura que incluya en su investigación, los factores de análisis de densidad de cliente, densidad de tráfico, y el tipo de vehículo. Por lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

Pregunta: ¿Cómo se puede establecer el impacto que tiene la promesa de entrega al cliente sobre la flota vehicular, en un contexto de distribución de última milla, considerando elementos de densidad de clientes, y densidad de tráfico?

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Evaluar el impacto que tiene el establecimiento del tiempo prometido de entrega al cliente, sobre la flota vehicular usada, en el proceso de distribución de última milla.

3.2. Objetivos específicos

- 3.2.1.** Investigar los factores asociados a la definición de promesas de entrega en procesos de distribución de última milla, identificando variables y costos relevantes.
- 3.2.2.** Diseñar una estrategia de experimentación que permita determinar la relación básica existente entre la flota vehicular y la promesa de entrega, en un contexto de última milla.
- 3.2.3.** Probar la herramienta con un caso de estudio hipotético, buscando conclusiones prácticas.

4. Marco teórico

4.1. Logística

La logística hace referencia a los procesos de preparación, planificación, coordinación, gestión y distribución de los bienes comerciales (tangibles e intangibles) desde su inicio de fabricación hasta la entrega al consumidor final. Se refiere entonces al almacenamiento, transporte, entrega y/o devolución de un producto.

Según Ballou (1997) “La logística trata sobre la creación de valor en tiempo y lugar para los proveedores y clientes de la organización y para los accionistas de la misma. Las actividades logísticas deben adicionar valor en la medida en que los consumidores estén de acuerdo en pagar más por un producto o servicio que el costo de llevarlo a sus manos.”

Es importante entonces que las estrategias de logística en una compañía se centren en ser flexibles con el fin de poder adaptarse a las necesidades de sus clientes y responder ante los cambios repentinos de la sociedad, como costos, ambiente, transporte, entre otros.

Un buen manejo de la estrategia de logística permite que el producto llegue a los clientes en el momento indicado, con las mejores condiciones de calidad y a un costo asequible.

4.2. Logística de última milla

La cuarentena derivada del Covid19 influyó en gran medida en la economía mundial y en todos los procesos de comercialización de bienes y servicios, esto debido a que las restricciones de movilidad generaron una disminución en las ventas físicas y un aumento de la demanda en el comercio electrónico. Las empresas para poder ofrecer la mejor experiencia posible al cliente, han identificado formas de disminuir los tiempos de entrega y la calidad del servicio a través de la logística de última milla.

La logística de última milla se entiende como todas las actividades o procesos que realiza una empresa en su último tramo de distribución, en el momento en el que entrega su mercancía al cliente final. Este trayecto es de suma importancia para las empresas ya que corresponde a un factor de valor para los clientes.

La promesa de entrega hace referencia a la fecha de compromiso en donde el servicio logístico hará la entrega del artículo comprado por medio de la plataforma.

Actualmente la globalización y el avance de la cultura ha creado clientes más exigentes en los tiempos de entrega de sus pedidos, las personas están teniendo una continua necesidad de lograr hacer más cosas en el menor tiempo posible, por lo que no van a esperar mucho tiempo por la entrega de un producto o servicio que han comprado, convirtiendo este proceso en un factor diferenciador con respecto a la competencia por la variedad de tipos de distribución, rapidez y calidad. Por consecuencia, se convierte en algo necesario el realizar de parte de las empresas un análisis de las estrategias implementadas en su distribución, y un enfoque de recursos e investigación que permitan suplir todos los deseos y necesidades de sus clientes directos. (Muñoz. Barrera, 2020)

4.3. VRP (Vehicle Routing Problem)

El problema de ruteo vehicular (VRP) es un modelo clásico que describe el diseño de rutas que debe recorrer un vehículo al momento de salir de un depósito y regresar a él

después de visitar una sola vez cada cliente y satisfacer la demanda, teniendo en cuenta, entre otras cosas, las restricciones de capacidad de carga de los vehículos, la distancia máxima recorrida y respetando los horarios de trabajo, con el objetivo de disminuir los costos y mejorar la perspectiva de la promesa de entrega de los proveedores.

Los componentes fundamentales del VRP, son la red de carreteras (rutas posibles), los clientes, los depósitos, los vehículos y los conductores. Para realizar diferentes análisis al VRP se puede interrelacionar diferentes restricciones y situaciones con objetivos particulares (Arboleda, López & Lozano, 2016). Las versiones más comunes del VRP, según Mediorreal, A. son:

4.3.1. Limitación básica de capacidad (Constrained Vehicle Routing Problems, CVRP):

En este problema se cuenta con n clientes, un depósito único y se conoce las distancias del cliente al depósito, y de los clientes entre sí. Además, el vehículo tiene una restricción de capacidad que no puede ser violada.

4.3.2. Limitación por ventanas de tiempo (Vehicle Routing Problem with Time Windows, VRPTW):

En este tipo de problemas se deben cumplir con tiempos establecidos para cada entrega, el objetivo es minimizar los tiempos de espera y los costos de viaje. Las ventanas de tiempo pueden ser duras (hard) o suaves (soft). En el caso hard, si un vehículo llega antes del inicio de la ventana de tiempo está permitido esperar hasta que el cliente esté listo para recibir el servicio. Sin embargo, no está permitido llegar después del final de la ventana de tiempo. En el caso soft las ventanas de tiempo pueden ser no cumplidas a un costo.

4.3.3. VRP con viajes de regreso (Vehicle Routing Problem with Backhauls, VRPB):

En este tipo de problemas los clientes pueden recibir o entregar productos con los vehículos. Los clientes que reciben productos desde el camión se le conoce como

Linehauls y los clientes que envían productos de vuelta a la bodega, usando el camión, se le conoce como backhauls. El supuesto crítico más común de este tipo de problemas consiste en que primero se deben realizar las entregas a los clientes y después se debe recoger las devoluciones.

4.3.4. VRP con recogida y entrega (Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery, VRPPD):

Es un tipo de VRP que busca crear un modelo de rutas óptimas en el cual se contempla la posibilidad de que un mismo cliente reciba y entregue mercancía a los vehículos. Una de las principales restricciones de este tipo de problemas es que los productos que se despachan deben ser provenientes de la bodega y los productos que los clientes devuelven deben ir directamente a la bodega, lo que significa que no se pueden intercambiar entre clientes.

4.3.5. VRP con ruteo vehicular estocástico (Stochastic Vehicle Routing Problem, SVRP):

Es un tipo de VRP que se caracteriza porque cuenta con variables aleatorias que varían en el tiempo, ejemplo de estas pueden ser: Tiempos de viaje del vehículo, costos, demanda de los clientes etc. Por su alta complejidad este problema de ruteo es modelado a través de programación estocástica entera.

Podemos encontrar que los tipos más comunes de este VRP son

- Cuando las demandas de cada cliente siguen una distribución de probabilidad dada (VRPSD).
- Cuando el tiempo de viaje es estocástico.
- Cuando no se conoce con certeza la presencia de cada cliente y pueden ser aleatorios.
- Cuando el tiempo de servicio de un camión es estocástico en el proceso de entrega o en el de recogida, o ambos.

Los tipos de ruteo vehicular representan un papel importante para el análisis del caso de estudio, porque permite evaluar escenarios que definen la relación entre el tipo de flota vehicular y las limitaciones relacionadas con ventanas de tiempo

de los clientes. En este trabajo de grado se analizará los problemas de ruteo asociados a la limitación por ventanas de tiempo y por capacidad.

5. Factores asociados a la distribución de última milla

Las estrategias de distribución de última milla se ven afectadas por diferentes factores, principalmente por las características dinámicas de la ciudad y del tráfico, que presentan un alto grado de incertidumbre, afectando así la efectividad del proceso y como resultado un aumento significativo en el incumplimiento de la promesa de entrega. (Ulloa, 2015)

5.1. Crecimiento de la población:

La sociedad en la actualidad crece rápidamente, trayendo consigo problemas en las decisiones logísticas de última milla, ya que será más difícil poder atender y cumplir con las necesidades y expectativas de todos los clientes, al obtener un mayor número de consumidores.

5.2. Congestión vehicular:

El crecimiento de las grandes ciudades y por ende el crecimiento de la demanda del transporte y del tráfico han aumentado significativamente la congestión vehicular, entendiéndose congestión vehicular cuando el tráfico no es fluido y los vehículos no pueden transitar sin interferencia entre sí. Generalmente se considera un problema de ajuste entre la oferta (infraestructuras) y la demanda de desplazamientos y puede medirse en pérdidas de tiempo. (IHOBE, 2004)

5.3. Flota vehicular utilizada:

La flota vehicular es el conjunto de vehículos que dispone una empresa para transportar mercancía o personas. Según las necesidades de la empresa existen varios tipos de flota vehicular que varían según las especificaciones del vehículo que se utilizará en el proceso de distribución. La selección del tipo de flota vehicular es uno de los aspectos

más importantes del proceso de distribución de última milla, ya que determina el buen funcionamiento de la estrategia de distribución y determina la satisfacción de los clientes.

5.4. Uso de plataformas virtuales:

El aumento significativo del uso de plataformas virtuales para compras en línea significó un cambio en la mentalidad de los usuarios, la facilidad y la rapidez con la que puede realizar un pedido en internet los indujo a esperar igual rapidez en la distribución de su mercancía, rechazando entregas con retraso o que no cumplan con sus estándares de calidad.

5.5. Centros de distribución:

Los centros de distribución tienen como función el almacenamiento y transferencia de la materia prima o producto terminado, de tal forma que puedan ser entregados a su destino final por medio de la distribución de última milla. La cantidad de estos centros de distribución y el nivel de servicio de estos determinan la rapidez de entrega de la mercancía a su cliente final.

5.6. Tipos de ventana de tiempo

La ventana de tiempo es el período entre una hora de inicio y una hora de finalización en el que una ruta debería visitar una ubicación. Adicional a esto se puede incluir el tiempo en que el conductor tiene para entregar el pedido, esto depende de las condiciones que se hubieran fijado. Existen dos tipos de ventanas de tiempo que son:

- Ventanas de tiempo duras o hard: son aquellas en las que el vehículo no puede esperar ni tampoco realizar una entrega tardía.
- Ventas de tiempo suaves o soft: En estas se puede violar los tiempos de entrega, pero a cambio de esto se debe realizar una contraprestación por este incumplimiento.

Desde el punto de vista práctico, la ventana de tiempo que se defina entre proveedor y cliente, se le suele llamar promesa de entrega, o tiempo prometido de entrega.

5.7. Costos asociados a la distribución:

Los costos relacionados a la distribución son los que van directamente afectados por el tipo de transporte que realiza la empresa para que su mercancía llegue a su fase final y se entregue al consumidor. Según el Dane, estos costos corresponden hasta un 40% de los costos del producto o servicio, estos pueden ser:

- Combustible utilizado.
- Insumos (Servicio de estación, parqueaderos, lubricantes, filtros, llantas)
- Impuestos.
- Seguros de transporte.
- Mano de obra requerida.
- Servicios de mantenimiento.

El querer cumplir con un tiempo estimado de entrega puede conllevar a un sobre costo de distribución, tal como un descuento al cliente y procesos para tener un transporte más eficiente, lo que puede traducirse en una menor utilidad.

Debido a todo lo anterior, las empresas deben crear estrategias que permitan reducir los factores negativos u obstáculos relacionados a la distribución de última milla, procurando satisfacer las necesidades del cliente, otorgándoles un servicio rápido, en buen estado, manteniendo una cantidad de costos reducida y la mayor eficiencia posible.

6. VRP Spreadsheet Solver

Se eligió la herramienta VRP Spreadsheet Solver para realizar la experimentación del caso de estudio, debido a que en ella se pueden realizar análisis con respecto a varios tipos de ruteo, como lo son el CVRP, VRPEW, VRPB, VRPED y SVRP.

VRP Spreadsheet Solver es una herramienta gratuita y de código abierto en excel para representar, resolver y visualizar los resultados de problemas de generación de rutas para vehículos, desarrollado por el Dr. Güney Erdoğan en el año 2013.

La herramienta VRP Spreadsheet Solver tiene como principales características las visitas selectivas a los clientes, las recogidas y entregas simultáneas, las ventanas de tiempo, la composición de la flota, la restricción de distancia y el destino final de los vehículos, para la solución de problemas de VRP. Lo que indica que permite realizar un análisis y experimentación de diferentes casos en la distribución de última milla, objeto de este trabajo de grado.

El VRP Solver es una herramienta desarrollada en excel bajo el lenguaje de programación de visual basic (VBA), tiene funciones integradas para consultar un servicio web GIS (Sistema de información geográfica), desde el cual se pueden recuperar las distancias, los tiempos de conducción y los mapas.

El VRP Spreadsheet Solver se ha utilizado en múltiples sectores a nivel mundial. Algunas de estas organizaciones que presentaron retroalimentación incluyen dos empresas de Estados Unidos en la industria petrolera, una empresa de Argentina en la industria agrícola, una empresa finlandesa en el sector del turismo y dos cadenas de entrega de alimentos refrigerados en Taiwán y Turquía. Todas estas aplicaciones representan ahorros en costos de transporte asociados a la optimización de los recursos (Flotas y mano de obra) por el ruteo de vehículos, lo que conlleva a una mayor utilidad en las empresas. (Erdoğan, 2017)

6.1. Estructura de la hoja de cálculo

La estructura del VRP solver está conformada por la hoja de cálculo VRP Solver Console que suministra la información a 5 hojas de trabajo: localización (I), distancias (II), vehículos (III), solución (IV) y visualización (V). Cada una de estas dimensiones se relacionan entre sí, la figura 1 representa el flujo de información entre las 6 hojas de trabajo.

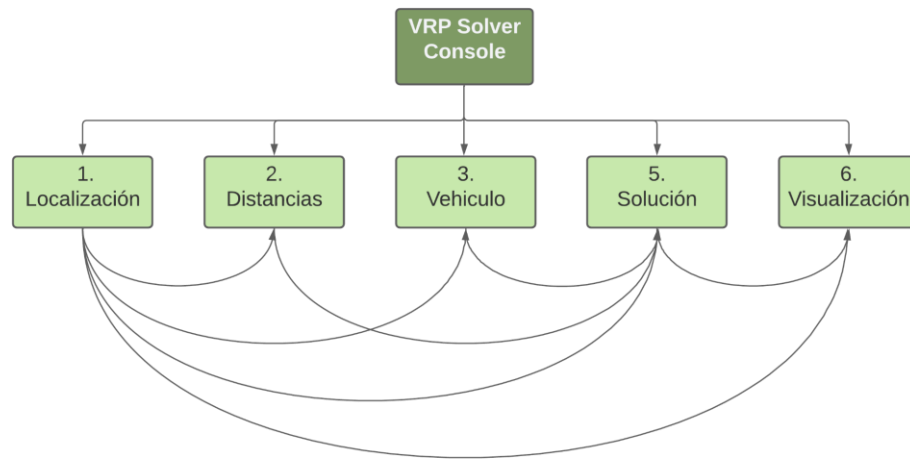


Figura 1. Flujo de Información de hojas

La herramienta trabaja con el siguiente esquema de color en cada una de sus hojas de trabajo: Las celdas con fondo negro están definidas por las hojas de trabajo y no deben modificarse. Las celdas con fondo verde son parámetros o decisiones para configurar por el usuario. Las celdas con un fondo amarillo deben ser calculadas por las hojas de trabajo, pero el usuario puede editarlas para un análisis hipotético. Las celdas con fondo naranja señalan una advertencia, por ejemplo, un vehículo que llega antes del comienzo de la ventana de tiempo de un cliente. Las celdas con fondo rojo señalan un error, por ejemplo, un vehículo que viola la restricción de velocidad.

6.1.1. VRP Solver Console

En esta hoja de trabajo se proporciona la información que será suministrada al resto de hojas. Los parámetros que se deben proveer son: Número de depósitos, cantidad de clientes, método de cálculo de distancia, método de cálculo de duración, tipo de ruta, velocidad media del vehículo, número de tipos de vehículo, tipos de ventana de tiempo, backhauls, fondo de visualización, etiquetas de ubicación, entre otros. La hoja de trabajo se puede observar en la figura 2.

Sequence	Parameter	Value
0.Optional - GIS License	Bing Maps Key	Aq2Mdm3JJDBavw6wDP7gFFwnBT7WP5iSTODV_fgjS3YLji7vUewRW8RkeiE2xL
1.Locations	Number of depots	1
	Number of customers	13
2.Distances	Distance computation method	Bing Maps driving distances (km)
	Duration computation method	Bing Maps driving durations
	Bing Maps route type	Fastest
	Average vehicle speed	70
3.Vehicles	Number of vehicle types	1
4.Solution	Do the vehicles return to their depot(s)?	Yes - only once at the end
	Time window type	Soft
	Backhauls?	No
5.Optional - Visualization	Visualization background	Bing Maps
	Location labels	Location IDs
6.Solver	Warm start?	Yes
	Show progress on the status bar?	Yes
	CPU time limit (seconds)	60

VRP Solver Console
1.Locations
2.Distances
3.Vehicles
4.Solution
5.Visualization
+

Figura 2. Hoja de trabajo VRP Solver Console

6.1.2. Localización

En esta hoja se proporciona la información detallada de los clientes acerca de sus nombres, direcciones, coordenadas, intervalos de tiempo y requisitos de servicio de recogida y entrega. Las coordenadas se pueden ingresar manualmente o complementarse mediante el servicio de web GIS en función de las direcciones ingresadas por el usuario.

6.1.3. Distancia

Esta hoja de cálculo contiene las distancias y la duración de los viajes entre cada dos puntos que se especifican en la hoja de cálculo 1. Localización. El número de ubicaciones para las que se puede calcular la matriz de distancia está limitado por el servicio web GIS y el tipo de acceso que tiene el usuario.

También es posible recuperar la duración de la conducción en tiempo real en función del tráfico, que el servicio web GIS calcula y proporciona.

6.1.4. Vehículo

En esta hoja de trabajo se proporciona y almacena la información sobre los tipos de vehículos utilizados y guardados en cada depósito. Los parámetros para proveer son capacidad (La cual puede estar representada como peso, volumen,

cantidad de pasajeros, o lo que sea relevante para el caso), parámetros de costos, como el costo por unidad de distancia y el costo por viaje, así como parámetros operativos, el depósito, el límite de tiempo de conducción y el límite de distancia del vehículo..

6.1.5. Solución

En esta hoja se genera la lista de paradas de cada vehículo especificado en la hoja 3. Vehículos, y utiliza la información de 1. Localización para con respecto a los tiempos de servicio y los montos de recogida/entrega, así como la distancia y la duración en 2. Distancias para calcular los tiempos de salida/ llegada y el costo de viajar entre los clientes.

La hoja de trabajo calcula las ganancias netas en lugar del costo, para adaptarse a las variantes del VRP que acumulan ganancias cuando se visitan selectivamente a los clientes. Esta hoja de trabajo contiene una serie de funciones de formato condicional que están diseñadas para identificar visualmente soluciones inviables y facilitar la construcción manual de soluciones.

La hoja de trabajo Solución se puede visualizar en la figura 3.

Total net profit:		-2415,94							
Warning: The data has changed since the last solver run / feasibility check.									
Vehicle:		V1		Stops:		3		Net profit:	
								-138,12	
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot	0,00	0:00		07:00	0:00	0	327	
1	Customer 6	2,26	0:04	07:04	07:24	0:24	0	237	
2	Customer 10	3,94	0:08	07:28	07:48	0:48	0	0	
3	Depot	6,01	0:12	07:52		0:52	0	0	
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
Detected reasons of infeasibility									

Figura 3. Hoja de trabajo Solución 1.

6.1.6. Visualización

Esta hoja de trabajo es opcional y es en donde se puede visualizar las ubicaciones y las rutas del caso, que fueron suministrados de 1. Localización, 2. Distancias, en un mapa de la región recuperado del servicio web GIS. Cuenta con la opción de formatear el gráfico, como, por ejemplo, hacerlo más pequeño o grande, o mostrar ejes, para las necesidades del usuario como cualquier otro objeto gráfico de Excel.

7. Caso de estudio

Con el objetivo de verificar la relación entre la flota vehicular y las ventanas de tiempo (promesa de entrega) en una distribución de última milla, se realiza la creación de un caso de estudio que permita utilizar la herramienta de optimización-simulación VRP SpreadSheet Solver como una fuente de toma de decisión. El tipo de problema de ruteo a utilizar en el caso de estudio son los de Limitación básica de capacidad (CVRP) y los de Limitación por ventanas de tiempo (VRPTW)

Se supondrá una compañía que fabrica y distribuye productos de confitería no perecederos para la venta en la ciudad de Cali. La compañía cuenta con clientes distribuidos en el norte y el sur de la ciudad, y tiene una demanda aproximada de 15 clientes diarios. Cuenta con un solo centro de distribución ubicado en el barrio San Nicolás de la ciudad de Cali y atiende a sus clientes desde las 8 am hasta el mediodía.

7.1. Demanda

Para la demanda se trabajará la mercancía por estibas para simplicidad del problema. Se realizó un supuesto de 15 clientes distribuidos en el sur y norte de la Ciudad de Cali, con demandas definidas aleatoriamente entre 1 y 5 estibas, para un total de 36 estibas, como se muestra en la tabla 1.

Nombre	Dirección	Demanda (Estibas)
Cliente 1	Cra. 3 #36a-80, Cali Valle del cauca	2
Cliente 2	Cl. 52 #3 -29, Cali Valle del cauca	3
Cliente 3	Cra. 1a #69-15, Cali Valle del cauca	1
Cliente 4	Cra. 3b Norte #70N-2, Cali Valle del cauca	3
Cliente 5	Av. 5N #37-136, Cali Valle del cauca	2
Cliente 6	Cl. 56N #3a-2, Cali Valle del cauca	5
Cliente 7	Cl. 50N #4-75, Cali Valle del cauca	2
Cliente 8	Cra. 85 #14a-189, Cali Valle del cauca	1
Cliente 9	Cl. 11b # 101a-2, Cali Valle del cauca	3
Cliente 10	Cra. 85 #4c-2, Cali Valle del cauca	4
Cliente 11	Cl. 2a #74-2, Cali Valle del cauca	2
Cliente 12	Cra. 73 #20-152, Cali Valle del cauca	3
Cliente 13	Cra. 67 #2a-69, Cali Valle del cauca	1
Cliente 14	Cl. 5C #43a-2, Cali Valle del cauca	3
Cliente 15	Cra.41 #16-105, Cali Valle del cauca	1

Tabla 1. Demanda del caso estudio (Elaboración propia)

Debido a que el programa VRP SPREADSHEET SOLVER tiene como objetivo la maximización de ganancias, en este trabajo de grado se asumió un profit (o ganancia bruta) por cada estiba entregada de \$100.000 COP.

7.2. Flota vehicular

Se asume que la empresa cuenta con la capacidad de distribuir su mercancía mediante una cantidad finita de camiones de dos ejes, por lo tanto, para el análisis de este trabajo de grado no se tendrá en cuenta el costo de inversión de los camiones. Se asumen de dos ejes puesto que en una investigación realizada al parque automotor de carga por parte del UPME (2020) se visualizó que el 94% de los camiones del estudio para el transporte urbano son camiones de dos ejes. Por lo que son más comunes en el transporte de mercancía.

Teniendo en cuenta el Decreto No. 004100 del Ministerio de transporte (2004). Los camiones de dos ejes tienen las siguientes capacidades de carga:

Designación	Dimensiones			Capacidad de carga	
	Ancho	Altura Máximo (m)	Longitud Máximo (m)	Máximo PBV, Kg	Tolerancia positiva de medición
Camión de 2 ejes	2,6	4,4	10,8	17500	+ ₋ 400

Tabla 2. Capacidad de camión de 2 ejes. Decreto No. 004100.

Para realizar el cálculo de la capacidad de estiba en un camión, y con el ánimo de plantear un caso hipotético de cierta manera compatible con una situación real, se realizaron los siguientes supuestos:

1. Las dimensiones de las cajas que se emplearán para almacenar los productos terminados, y que se organizarán en estibas, son 0,5 m x 0,6 m x 0,3 m, tal como se muestra en la figura 4.

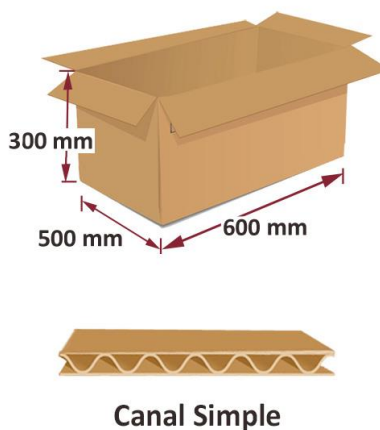


Figura 4. Dimensiones de cajas. Fuente: cajadecartón.es

2. El peso de las cajas se estima aproximadamente en 8 kg
3. Se pueden apilar 4 cajas por estiba
4. Los productos se van a distribuir en el camión en estibas de 1,20 m x 1,0 m, con un peso aproximado de 25 kg sin carga.
5. Se supone una distancia de seguridad entre cada estiba de 30 cm a lo ancho y 15 cm a lo largo.

Partiendo de los supuestos anteriormente mencionados se procede con el cálculo de capacidad de cajas en cada estiba:

$$N^{\circ} \text{ de cajas en el ancho} = \frac{\text{Ancho de la estiba}}{\text{Ancho de la caja}} = \frac{1 \text{ m}}{0,5 \text{ m}} = 2 \text{ cajas}$$

$$N^{\circ} \text{ de cajas en el largo} = \frac{\text{Largo de la estiba}}{\text{Largo de la caja}} = \frac{1,2 \text{ m}}{0,6 \text{ m}} = 2 \text{ cajas}$$

Para un total de 16 cajas por cada estiba, lo que representa un peso de 153 Kg.

Para el cálculo de la capacidad de estiba en cada camión se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$N^{\circ} \text{ de estibas en el ancho} = \frac{\text{Ancho del camión}}{\text{Ancho de la estiba}} = \frac{2,6 \text{ m}}{1 \text{ m}} \simeq 2 \text{ estibas}$$

$$N^{\circ} \text{ de estibas en el largo} = \frac{\text{Largo del camión}}{\text{Largo de la estiba}} = \frac{10,8 \text{ m}}{1,2 \text{ m}} \simeq 8 \text{ estibas}$$

Lo que conlleva un total de capacidad de 16 estibas por cada camión, lo que representa un peso de 2448 kg, permitido para la capacidad de carga de un camión de dos ejes.

7.3. Costos

Como se mencionó en el punto 5.1.1.7 un factor importante a la hora de realizar un análisis de ruteo vehicular es el asociado a los costos de distribución de última milla, para el presente caso de estudio se obtuvieron de la siguiente forma:

7.3.1. Costos fijos

Se asumieron costos extraídos de fuentes recientes. Los costos fijos que se tuvieron en cuenta son los relacionados al costo de mano de obra y el costo del seguro SOAT para cada camión.

El costo de mano de obra se obtuvo teniendo en cuenta el Decreto 1724 de 2021 por el ministerio de trabajo el cual dicta un salario mínimo legal vigente (SMMLV) de \$1.000.000 COP mensuales. Este salario mínimo más las presentaciones legales (Salud, pensión, cesantías y vacaciones) representan un costo para la empresa de \$1.605.534 COP como se calcula en un artículo publicado por el periódico La Republica el 14 de diciembre del 2021. Lo que representa un costo de \$53.571 COP diarios para la empresa.

El costo del seguro SOAT se obtuvo según las tarifas publicadas el 30 de diciembre de 2021 por la Superintendencia Financiera de Colombia donde se estableció que el precio del seguro para camiones de dos ejes con peso de más de 15 toneladas está en \$1,337,000 anuales. Lo que representa para la empresa un costo de \$5,571 diarios, asumiendo que los días laborales en el año son 240 días.

Teniendo en cuenta los costos de mano de obra y el costo del seguro SOAT, los costos fijos que se emplearán para el análisis del caso de estudio son de \$59,142 diarios.

7.3.2. Costos variables

Se utilizó como referencia el informe del Instituto Nacional de vías sobre los costos de operación de un Camión de 2 ejes en Pavimento Económico en 2016 el cual indica un valor de \$1.297 COP x cada kilómetro recorrido.

Para mayor efectividad del análisis se realizó el cálculo del valor presente en el 2022 del costo x km así:

1. Se tuvo en cuenta el promedio de variación del IPC de los últimos 6 años según el DANE (2022), teniendo como resultado una inflación de aproximadamente 4,49%.
2. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$Valor_{hoy} = V_i \times (1 + i)^n = \$1.297 \times (1 + 0.0449)^6 \simeq \$1.687,76$$

Obteniendo como resultado un valor presente de \$1.687 por kilómetro recorrido para el año 2022.

7.4. Ventanas de tiempo

Las ventanas de tiempo o promesas de entrega se definen como el intervalo de tiempo en el que una empresa puede entregar la mercancía a cada uno de sus clientes. Estas ventanas de tiempo pueden ser estipuladas por cada uno de los clientes o por la misma compañía.

Para este caso de estudio se supone inicialmente que la compañía define las ventanas de tiempo de 4 horas para cada uno de los clientes como se muestra en la tabla 3. Se definió esta ventana de tiempo después de realizar diferentes simulaciones con ventanas de tiempo de 8, 6 y 3 horas. Se observó que el supuesto de demanda de 15 clientes no permitía obtener conclusiones interesantes para el trabajo de grado, ya que al ser una demanda pequeña podía atender a todos los clientes en un lapso de 4 a 5 horas, donde se concluyó que para establecer los análisis de un tipo de ventana de tiempo dura debería tener una promesa de entrega menor a 4 horas.

Nombre	Inicio de Ventana de tiempo	Final de Ventana de tiempo
Depósito	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 1	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 2	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 3	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 4	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 5	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 6	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 7	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 8	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 9	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 10	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 11	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 12	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 13	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 14	8:00a. m.	12:00p. m.
Cliente 15	8:00a. m.	12:00p. m.

Tabla 3. Ventanas de tiempo. (Elaboración propia)

7.5. Restricciones asociadas

El caso de estudio cuenta con las siguientes restricciones:

1. Las ventanas de tiempo son tipo hard (duras).
2. El tiempo de servicio asociado a la entrega de la mercancía es de 15 minutos.
3. Solo se realiza el despacho de producto y no hay procesos de recogida.

4. El vehículo debe retornar únicamente al depósito al finalizar la jornada.

8. Proceso metodológico

8.1. Simulación de escenarios

Se propone realizar diferentes escenarios de ventanas de tiempo que permitan realizar el análisis de la relación que tienen las flotas vehiculares propuestas para la distribución de última milla y la promesa de entrega (ventanas de tiempo).

Para llevar a cabo la simulación de los diferentes escenarios se manejan las condiciones básicas del caso de estudio, es decir, la demanda, las direcciones de los clientes, el profit, los costos variables y fijos, y las condiciones de capacidad de los camiones. Los únicos parámetros que se cambiarían en cada uno de los escenarios son la flota vehicular (número de vehículos disponibles para la operación) y las restricciones de ventanas de tiempo, como se puede observar en la tabla 4.

Casos	Escenarios de número de vehículos
Caso 1: Ventana de tiempo de 4 horas	5 escenarios que van de 1 a 5 vehículos
Caso 2: Ventana de tiempo de 2 horas	5 escenarios que van de 1 a 5 vehículos
Caso 3: Ventana de tiempo de 1 hora	5 escenarios que van de 3 a 7 vehículos
Total de escenarios a evaluar:	15

Tabla 4. Casos propuestos. (Elaboración propia)

- En el primer caso se realiza la simulación de 5 escenarios, cada uno con distinta disponibilidad de vehículos, con una restricción de ventana de tiempo de 4 horas (caso base) para cada cliente.
- En el segundo caso se realiza la simulación también de 5 escenarios, pero con una restricción de ventana de tiempo de 2 horas (contracción de la promesa de entrega) para cada cliente.

- En el tercer caso se realiza igualmente la simulación de 5 escenarios, pero esta vez con una restricción de ventana de tiempo de 1 hora (contracción extrema de la promesa de entrega) para cada cliente.

Para el caso 3 como se presenta una ventana de tiempo más estricta de 1 hora, se realiza la simulación de cada escenario con un mayor número de vehículos, es decir, que en el escenario 1 en dicho caso se cuenta con 3 vehículos y se aumenta en uno hasta llegar al escenario 5 con 7 vehículos.

Adicionalmente, a los casos y escenarios propuestos, también se llevarán a cabo análisis referentes a la decisión de reducir las ventanas de tiempo tanto por el límite inferior como por el límite superior de la ventana establecida, con el objetivo de evaluar el impacto que tienen estas decisiones en la calificación y resultado de los indicadores.

En este trabajo de grado se busca que estos sencillos escenarios muestran los impactos entre la flota vehicular y promesas de entrega, metodología posible de replicar en escenarios de mayor cantidad de clientes y productos en trabajos futuros.

8.2. Indicadores

Los indicadores permiten a las empresas realizar mediciones de su desempeño en el cumplimiento de sus objetivos que pueden verse afectados por factores tanto internos como externos. Con ellos se representa la información necesaria para mostrar cuantitativamente el rendimiento de las decisiones y evaluar su eficiencia y eficacia.

Para realizar la definición de los indicadores se realiza un sondeo en el centro de distribución de una importante empresa de la industria papelera de la ciudad de Cali, en la cual se visualizó algunos de los KPI's logístico usados, como lo son indicadores de Nivel de servicio asociados al cumplimiento de entregas, la variación en el costo de los fletes, la utilización de la capacidad de carga de los camiones empleados y los costo asociados al almacenamiento. Teniendo en cuenta esta investigación, se definieron los siguientes tres indicadores para evaluar el impacto de la estrategia de distribución tanto en sus KPI's logísticos como en la percepción de sus clientes:

1. **Nivel de servicio:** representa el cumplimiento de la empresa con respecto a la cantidad de clientes atendidos en cada día laborado.

$$\text{Nivel de servicio} = \frac{\text{Clientes atendidos}}{\text{Total de clientes}} * 100\%$$

2. **Utilidad:** se refiere a la cantidad de ganancias en COP que recibe la empresa al realizar la entrega de la mercancía en un día de trabajo, restando los costos asociados a la distribución.

$$\text{Utilidad} = \text{Ganancia por entrega de PT} - \text{Costos de distribución}$$

3. **Gestión del transporte:** se refiere al desempeño de la empresa con respecto a sus decisiones logísticas de distribución. Para este caso se realizó el siguiente indicador.

- a. **% de utilización de capacidad de carga del camión:**

Este indicador hace referencia al uso eficiente de la capacidad de cada camión.

$$\% \text{ de utilización de capacidad} = \frac{\text{Capacidad real del camión}}{\text{Capacidad total del camión}} * 100\%$$

Teniendo en cuenta los indicadores mencionados anteriormente y su importancia en la toma de decisiones para una compañía, se plantea utilizar el criterio de Laplace el cual busca equilibrar la toma de decisiones de una forma neutral, es decir, permitir el desarrollo del análisis esperando una mejor alternativa, definiendo una misma ponderación a cada uno de los indicadores propuestos para la toma de decisiones.

8.3. Rendimiento de indicadores

Para poder realizar el análisis comparativo de resultados de los indicadores en este tipo de problemas donde se busca determinar la mejor configuración de flota, es necesario realizar una normalización que permita categorizar cada indicador en una misma unidad de medida. Esto requiere que cada compañía deba realizar una escala de medición para

calcular el rendimiento de cada indicador dependiendo de sus estrategias y políticas corporativas.

El rendimiento se refiere al cálculo del cumplimiento de cada indicador para el logro de los objetivos fijados por la empresa (metas), permiten medir y comprender la eficacia de las decisiones estratégicas.

La fórmula utilizada para realizar la normalización de los resultados cuando se está calculando un indicador con tendencia positiva es:

$$Rendimiento(\%) = \frac{Valor - Min}{Max - Min} * 100\%$$

Cuando esta tendencia es negativa se utiliza la siguiente fórmula:

$$Rendimiento(\%) = \frac{Max - Valor}{Max - Min} * 100\%$$

En el caso de estudio en mención, se debe realizar una normalización que permita categorizar cada indicador en una misma unidad de medida definida por una misma escala. Dado que la escala de medición (mínimos y máximos permitidos) para cada indicador es muchas veces subjetiva, o depende principalmente de las políticas y los objetivos de cada compañía, se definió para el análisis de este trabajo de grado utilizar dos tipos escalas asociado al riesgo de cada empresa:

1. Una escala de medición en donde las políticas y objetivos de la empresa son estrictas, de modo que los máximos y mínimos de cada indicador van asociados a estrategias que permitan cumplir por lo menos con un 90% de la capacidad máxima (meta) de cada indicador. Este tipo de escala se utiliza en empresas que son rigurosas en el cumplimiento de sus indicadores.
2. Una escala de medición de políticas y estrategias permisivas, en donde se deba cumplir por lo menos con un 80% de la capacidad máxima (meta) de cada indicador.

Los límites asociados a cada indicador se pueden observar en la Tabla 5.

Indicadores	Escala estricta		Escala permisiva	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Nivel de servicio	100%	90%	100%	80%
% de utilización de carga	100%	90%	100%	80%

Tabla 5. Límites estrictos y permisivos del caso de estudio. (Elaboración propia)

1. **Nivel de servicio:** En este indicador se tuvo en cuenta como límite superior la cantidad máxima de clientes que se pueden atender en el caso de estudio, la cual es 15 clientes diarios. En la escala permisiva, como límite inferior para una empresa es importante mantener una buena reputación con sus clientes siendo capaz de entregar a tiempo como mínimo al 80% de ellos, para el caso de la escala estricta el límite inferior es del 90%, asumiendo que los clientes no atendidos se tratarán como backorders en la compañía y serán despachados al siguiente día.
2. **% de utilización del camión:** En este indicador se toma como límite superior la utilización del 100% de la capacidad del camión, es decir, que puede transportar 16 estibas por cada camión. En la escala permisiva, como mínimo se tuvo en cuenta un 80% de la capacidad del camión y para la escala estricta se definió como mínimo un 90% de la capacidad del camión. Esto teniendo en cuenta el grado de importancia de la utilización de la capacidad máxima para la empresa, ya que al no aprovechar la capacidad total del camión se incurre en costos mayores de transporte por unidad de carga, en consecuencia, puede generar que el precio total del producto aumente.
3. **Utilidades:** El límite superior de este indicador se refiere a la ganancia obtenida por atender a la máxima cantidad de clientes posibles con su demanda asociada (15 clientes con 36 estibas) lo cual da como resultado una ganancia de \$3.600.000 COP. El límite inferior tanto en la escala permisiva como en la escala estricta están asociados con el nivel de servicio y una atención al cliente del 80% y 90% respectivamente.

8.4. Herramienta de visualización de resultados

Para la correcta y fácil visualización de los resultados obtenidos en el caso de estudio, se diseñó por medio del programa Microsoft Excel una hoja de cálculo que permitiera adjuntar los resultados obtenidos en el programa VRP Spreadsheet Solver 3.4, y automáticamente calcular los indicadores mencionado para mostrar la normalización y ponderación final de cada uno de los escenarios propuestos.

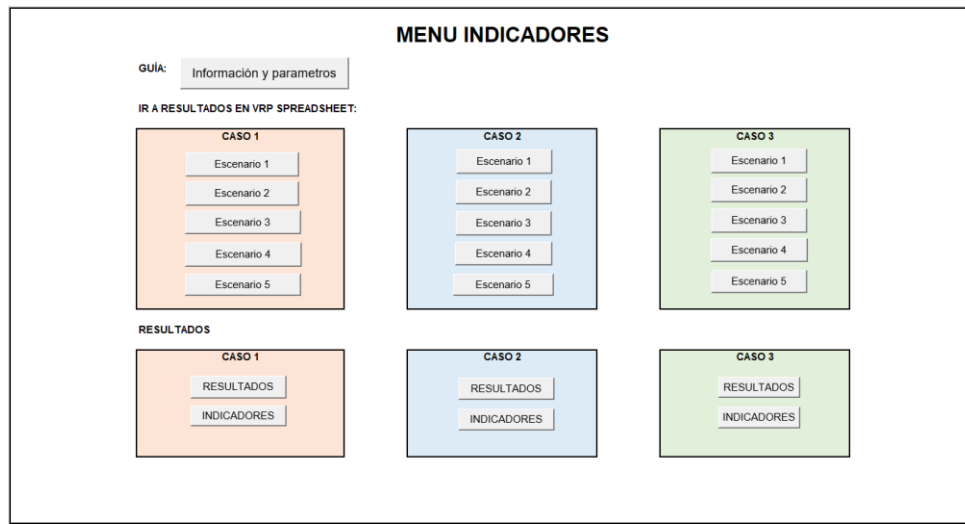


Figura 5. Herramienta de visualización de resultados (Elaboración propia)

Esta herramienta permite realizar análisis de los resultados e indicadores, modificando los parámetros de los escenarios propuestos, ponderación de indicadores y límites asociados a la escala de normalización.

En el Anexo 1 “Indicadores” se encuentra la hoja de cálculo con los resultados obtenidos del caso de estudio y la información obtenida en cada uno de los escenarios.

9. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los casos, con sus respectivos indicadores, los resultados de la normalización y el análisis de la elección del mejor escenario. Por último, se presenta el análisis con respecto al mejor caso según la rigurosidad de sus políticas internas que pudiera tener una empresa, tal como antes se

mencionó. Se aclara que de los 15 escenarios estudiados, los 5 primeros corresponden al caso 1, los siguientes 5 al caso 2, y los restantes 5 al caso 3.

Las simulaciones realizadas en el programa VRP Spreadsheet Solver fueron hechas el domingo 31 de Julio de las 10:30 am a las 11:30 am, esto teniendo en cuenta que el simulador trabaja con un análisis de tráfico a tiempo real (Bing Maps). Es claro que el momento que se elija para hacer las corridas es relevante para la definición de los tiempos de transporte por el efecto que conlleva la cantidad de tráfico al momento de realizar la simulación.

9.1. Caso 1: Ventanas de tiempo de 4 horas

9.1.1. Resultados VRP Spreadsheet Solver

Los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones que se realizaron en el caso 1 se muestran en la tabla 6.

Escenarios	Núm. de vehículos	Clientes atendidos	Clientes atendidos					Carga (Estibas)					Carga total	Utilidad
			V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5		
E1	1	5	5	-	-	-	-	16	-	-	-	-	16	\$ 1.495.616
E2	2	13	7	6	-	-	-	16	16	-	-	-	32	\$ 2.991.747
E3	3	15	3	4	8	-	-	8	12	16	-	-	36	\$ 3.307.364
E4	4	15	3	4	8	0	-	8	12	16	0	-	36	\$ 3.307.364
E5	5	15	3	4	8	0	0	8	12	16	0	0	36	\$ 3.307.364

Tabla 6. Resultados obtenidos del Caso 1. (Elaboración propia)

En esta tabla se observa por ejemplo que en el escenario 2 (E2) con dos vehículos, el vehículo V1 atendió 7 clientes e iba cargado con 16 estibas mientras que el vehículo V2 atendió 6 clientes e iba cargado con 16 estibas también. Se observa que en este caso el número de vehículos necesarios para atender a todos los 15 clientes de la empresa es 3. En el escenario 4 y 5, el cual utilizaba 4 y 5 camiones respectivamente, se obtiene como resultado una no

utilización de los camiones adicionales, por lo que, la utilidad asociada a estos dos escenarios se mantiene estable desde el escenario 3.

9.1.2. Indicadores

En la tabla 7 se presentan los indicadores obtenidos en el caso 1 para cada uno de los escenarios propuestos.

Escenarios	Núm. de vehículos	Clientes atendidos	Nivel de servicio	% de utilización (Carga)	Utilidad
E1	1	5	33%	100%	\$ 1.495.616
E2	2	13	87%	100%	\$ 2.991.747
E3	3	15	100%	75%	\$ 3.307.364
E4	4	15	100%	56%	\$ 3.307.364
E5	5	15	100%	45%	\$ 3.307.364

Tabla 7. Indicadores Caso 1. (Elaboración propia)

Se puede observar que al ir aumentando el número de vehículos se obtiene un resultado de nivel de servicio mayor y por ende una utilidad superior, debido a que la empresa tendrá la capacidad de atender a más clientes, pero con la implicación de arriesgar una disminución en su porcentaje de utilización de carga, puesto que no se utilizará el total de capacidad de carga al aumentar la cantidad de vehículos a 3.

9.1.3. Resultados de normalización Caso 1

Partiendo de los indicadores obtenidos y de las escalas de medición anteriormente mencionadas, se realiza una normalización con límites permisivos y estrictos.

Se tuvo en cuenta la escala propuesta en la tabla 5, con el fin de calcular el rendimiento de cada uno de los indicadores y así obtener una calificación de

cada escenario siguiendo el criterio de Laplace. Estas calificaciones se muestran en las tablas 8 y 9.

9.1.3.1. Escala permisiva

Escenarios	Nivel de servicio	% de utilización (Carga)	Utilidad	Calificación
E1	0%	100%	0%	33.3%
E2	33%	100%	16%	49.6%
E3	100%	0%	59%	53.1%
E4	100%	0%	59%	53.1%
E5	100%	0%	59%	53.1%

Tabla 8. Calificación con escala permisiva. (Elaboración propia)

En el resultado de esta escala se puede observar que el escenario con mejor calificación es el número 3, el cual tiene 3 vehículos. Esto debido a que el escenario atiende a todos los clientes de la empresa, dando como resultado un nivel de servicio y un profit mayor. Sin embargo, el escenario 2, según la tabla 8, es el único que cumple todos los criterios en algún grado.

Si la empresa está buscando mejorar su gestión de transporte, este escenario no es el adecuado ya que solo utiliza un 75% de su capacidad de carga (tabla 7), por lo que no alcanza el límite inferior de la escala permisiva el cual es 80%. Se recomienda a la empresa que si sus estrategias van encaminadas a mejorar sus indicadores de gestión de transporte se escoja el escenario 2, ya que, aunque se arriesga la no atención de 2 clientes en esa jornada laboral, el porcentaje de utilización de carga llega al límite superior, es decir, el 100% de su capacidad. Como se puede observar, todo depende de la flexibilidad en la definición de las metas.

9.1.3.2. Escala estricta

Escenarios	Nivel de servicio	% de utilización (Carga)	Utilidad	Calificación
E1	0%	100%	0%	33.3%
E2	0%	100%	0%	33.3%
E3	100%	0%	19%	39.6%
E4	100%	0%	19%	39.6%
E5	100%	0%	19%	39.6%

Tabla 9. Calificación con escala estricta (Elaboración propia)

En la tabla 9, se puede observar los resultados de la escala estricta, donde los escenarios 1 y 2 no cumplen con los límites inferiores de nivel de servicio y utilidad. El escenario con mayor calificación es el número 3, también con un nivel de servicio del 100% de sus clientes.

En esta escala se puede observar que una empresa que tiene como objetivo mejorar su gestión de transporte debe arriesgar su calificación de nivel de servicio y utilidad, debido a que sus límites estrictos, ninguna de las dos alcanza a tener una calificación mayor que cero al obtener un porcentaje de utilización de carga del 100%. Esta decisión de escogencia de escenario va arraigada a las políticas y objetivos de cada empresa.

La ruta que se propone tanto para la escala permisiva como para la escala estricta del escenario 3 se observa en la figura 6.

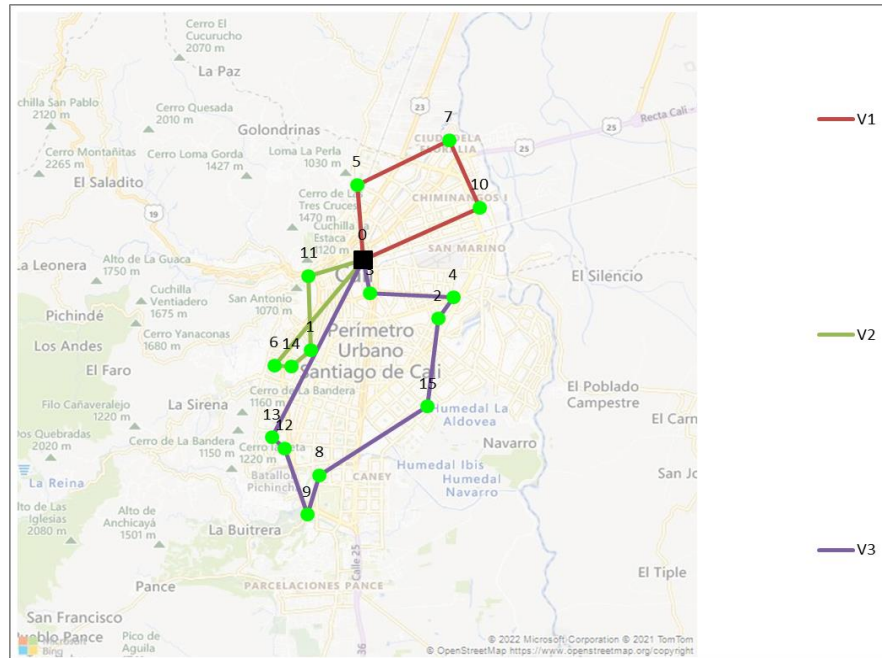


Figura 6: Ruta vehicular E3 caso 1.

9.2. Caso 2: Ventanas de tiempo de 2 horas

Para el caso número 2 se manejaron ventanas de tiempo de 2 horas para cada uno de los clientes, las cuales se realizaron de las 8:00 am a las 10:00 am.

9.2.1. Resultados VRP Spreadsheet Solver

Los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones que se realizaron en el caso 2 se muestran en la tabla 10.

Escenarios	Núm. de vehículos	Clientes atendidos	Clientes atendidos					Carga (Estibas)					Carga total	Utilidad
			V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5		
E6	1	5	5	-	-	-	-	16	-	-	-	-	16	\$ 1,495,891
E7	2	9	4	5	-	-	-	11	16	-	-	-	27	\$ 2,496,848
E8	3	14	4	5	5	-	-	12	13	10	-	-	35	\$ 3,207,399
E9	4	15	3	4	5	3	-	7	8	13	8	-	36	\$ 3,230,782
E10	5	15	4	3	5	3	0	8	7	13	8	0	36	\$ 3,230,782

Tabla 10. Resultados obtenidos del Caso 2. (Elaboración propia)

Se puede observar que para este caso el número de vehículos necesarios para atender a todos los 15 clientes de la empresa es 4, por lo que en el escenario 5, el cual utilizaba 5 camiones, no utiliza el camión adicional, por lo que, la utilidad asociado es igual al del escenario 4.

9.2.2. Indicadores

En la tabla 11, se presentan los indicadores obtenidos en el caso 2 para cada uno de los escenarios propuestos.

Escenarios	Núm. de vehículos	Clientes atendidos	Nivel de servicio	% de utilización (Carga)	Utilidad
E6	1	5	33%	100%	\$ 1,495,891
E7	2	9	60%	84%	\$ 2,496,848
E8	3	14	93%	73%	\$ 3,207,399
E9	4	15	100%	56%	\$ 3,230,782
E10	5	15	100%	45%	\$ 3,230,782

Tabla 11. Indicadores Caso 2. (Elaboración propia)

Se puede observar que al igual que el caso 1, el aumentar la flota vehicular da como resultado un nivel de servicio mayor y por ende una utilidad superior, debido a que la empresa tendrá la capacidad de atender a más clientes.

También se puede evidenciar que al aumentar la flota vehicular significa para la empresa disminuir el porcentaje de utilización de carga.

9.2.3. Resultados de normalización

Los resultados tanto para la escala permisiva como para la escala estricta se pueden observar en la tabla 12 y 13 respectivamente.

9.2.3.1. Escala permisiva

Escenarios	Nivel de servicio	% de utilización (Carga)	Utilidad	Calificación
E6	0%	100%	0%	33.3%
E7	0%	22%	0%	7.3%
E8	67%	0%	45%	37.4%
E9	100%	0%	49%	49.6%
E10	100%	0%	49%	49.6%

Tabla 12. Calificación con escala permisiva (Elaboración propia)

En este caso, la escala permisiva nos da como resultado el escenario 9 como el escenario con mayor calificación. Esto debido a que este escenario atiende a todos los clientes de la empresa, dando como resultado un nivel de servicio y una utilidad mayor.

La ruta que se le propone a la compañía si emplea la escala permisiva y el escenario 9 el cual obtuvo la mayor calificación, se puede observar en la figura 8.

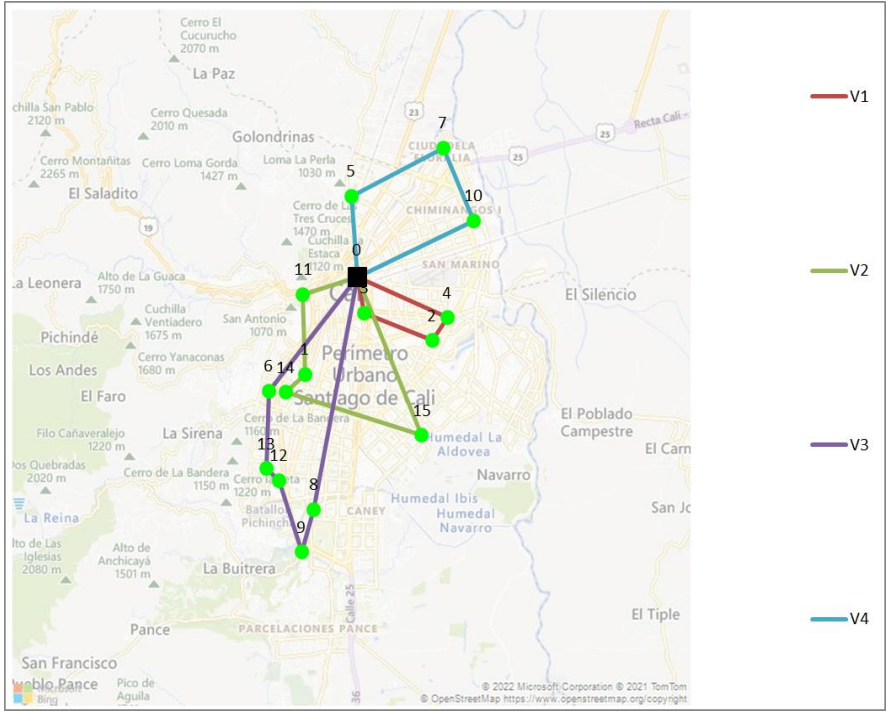


Figura 7. Ruta vehicular E9 caso 2.

9.2.3.2. Escala estricta

Escenarios	Nivel de servicio	% de utilización (Carga)	Utilidad	Calificación
E6	0%	100%	0%	33.3%
E7	0%	0%	0%	0.0%
E8	33%	0%	0%	11.1%
E9	100%	0%	0%	33.3%
E10	100%	0%	0%	33.3%

Tabla 13. Calificación con escala estricta. (Elaboración propia)

En la tabla 15, se puede observar que al emplear una escala estricta del 90% para el nivel de servicio y el porcentaje de utilización, y un mínimo de \$3.240.000 para la utilidad, ninguno de los 5 escenarios cumple con al menos dos de estos criterios.

Para este caso, la escala le permite escoger a la empresa con base en sus estrategias y objetivos el mejor escenario, debido a que se presenta una igualdad entre las calificaciones de los escenarios 6, 9 y 10.

1. El escenario 6 es el adecuado para las empresas que buscan mejorar su gestión de transporte, porque tiene como resultado una utilización del camión del 100%, pero teniendo como consecuencia la solo atención de 5 clientes. La ruta asociada a este escenario se puede visualizar en la figura 9.
2. El escenario 9 es el adecuado para las empresas que buscan mejorar su nivel de servicio, ya que al aumentar a 4 la cantidad de flota vehicular se podrá atender a todos los 15 clientes. La ruta asociada a este escenario se puede visualizar en la figura 8.

3. El escenario 10 no se tiene en cuenta ya que en este escenario solo se utilizan 4 camiones al igual que en el escenario 4, por lo que sus indicadores son iguales.

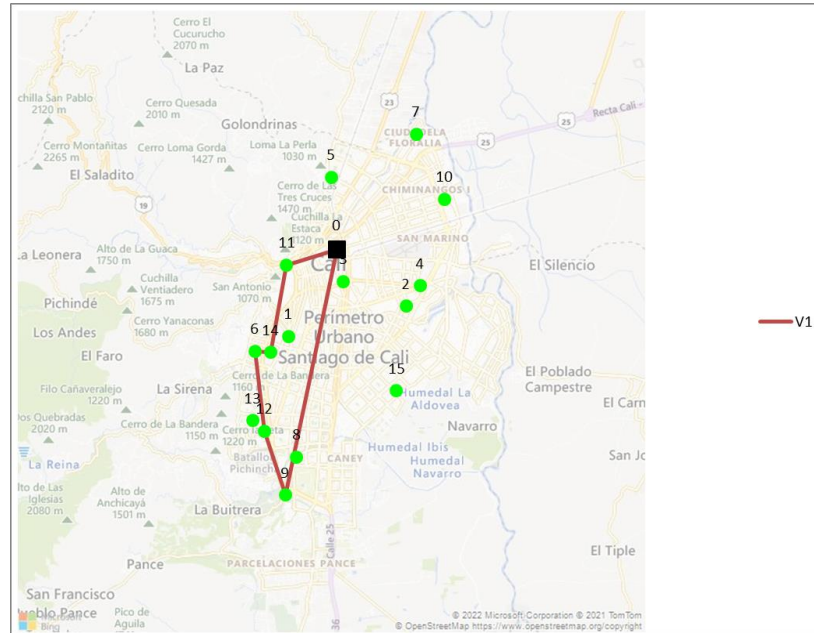


Figura 8. Ruta vehicular E1 caso 2.

9.3. Caso 3: Ventanas de tiempo de 1 horas

Para el caso número 3 se manejaron ventanas de tiempo de 1 hora para cada uno de los clientes, las cuales se realizaron de las 8:00 am a las 9:00 am.

Para los escenarios, al ser una ventana de tiempo estricta se simuló el escenario 1 con 3 camiones y se fue aumentando el número de camiones hasta 7.

9.3.1. Resultados VRP Spreadsheet Solver

Los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones que se realizaron en el caso 3 se muestran en la tabla 14.

Escenarios	Núm. de vehículos	Clientes atendidos	Clientes atendidos							Carga (Estibas)							Carga total	Utilidad
			V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	V 6	V 7	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	V 6	V 7		
E11	3	6	2	2	2	-	-	-	-	8	6	6	-	-	-	-	20	\$ 1,749,122
E12	4	8	2	2	2	2	-	-	-	8	6	6	6	-	-	-	26	\$ 2,250,987
E13	5	10	2	2	2	2	2	-	-	8	6	4	6	6	-	-	30	\$ 2,572,215
E14	6	12	2	2	2	2	2	2	-	8	6	4	6	3	6	-	33	\$ 2,794,207
E15	7	14	2	2	2	2	2	2	2	4	6	4	4	8	6	3	35	\$ 2,902,072

Tabla 14. Resultados obtenidos del Caso 3. (Elaboración propia)

Se puede observar que para este caso los vehículos en cada uno de los escenarios sólo alcanzan a utilizar los vehículos para atender a 2 clientes en cada uno.

El escenario 15, el cual tiene la cantidad de flota vehicular más alta, atiende a 14 clientes, dejando por fuera un cliente de la jornada de despachos de la mañana.

9.3.2. Indicadores

En la tabla 15, se presentan los indicadores obtenidos en el caso 3 para cada uno de los escenarios propuestos.

Escenarios	Núm. de vehículos	Clientes atendidos	Nivel de servicio	% de utilización (Carga)	Utilidad
E11	3	6	40%	18%	\$ 1,749,122
E12	4	8	53%	41%	\$ 2,250,987
E13	5	10	67%	38%	\$ 2,572,215
E14	6	12	80%	34%	\$ 2,794,207
E15	7	14	93%	31%	\$ 2,902,072

Tabla 15. Indicadores Caso 3. (Elaboración propia)

Se puede evidenciar que a partir del escenario 12 existe una relación inversamente proporcional entre el número de vehículos y el porcentaje de utilización de carga.

El nivel de servicio llega a un valor máximo de 93% al atender 14 clientes en el escenario 15.

9.3.3. Resultado de normalización

Los resultados tanto para la escala permisiva como para la escala estricta se pueden observar en la tabla 16 y 17 respectivamente.

9.3.3.1. Escala permisiva

El resultado de la calificación con la escala permisiva del Caso 3 se muestra en la tabla 16.

Escenarios	Nivel de servicio	% de utilización (Carga)	Utilidad	Calificación
E11	0%	0%	0%	0.0%
E12	0%	0%	0%	0.0%
E13	0%	0%	0%	0.0%
E14	0%	0%	0%	0.0%
E15	67%	0%	3%	23.2%

Tabla 16. Calificación con escala permisiva. (Elaboración propia)

En la tabla 16, se puede evidenciar que una compañía al emplear una ventana de tiempo estricta de 1 hora y con unas escalas permisivas, debe emplear un mayor número de camiones. Para esta escala y según las ponderaciones, la mejor calificación es el escenario 15 con 7 vehículos y un promedio de utilización de carga por cada camión de 31%.

Para las compañías que requieran o deseen implementar ventanas de tiempo de 1 hora se recomienda emplear camiones con una menor capacidad de carga, que incurran en menores costos fijos y variables, para mejorar la utilidad y el porcentaje de utilización de carga.

9.3.3.2. Escala estricta

El resultado de la calificación con la escala estricta del Caso 3 se muestra en la tabla 17.

Escenarios	Nivel de servicio	% de utilización (Carga)	Utilidad	Calificación
E11	0%	0%	0%	0.0%
E12	0%	0%	0%	0.0%
E13	0%	0%	0%	0.0%
E14	0%	0%	0%	0.0%
E15	33%	0%	0%	11.1%

Tabla 17. Calificación con escala estricta. (Elaboración propia)

En esta escala se evidencia que el escenario 15 es el único que alcanza a tener una calificación mayor a cero, sin embargo, esta calificación es baja con respecto a los otros casos.

Se recomienda a la empresa no comprometerse con una ventana de tiempo de 1 hora, ya que ninguno de sus indicadores alcanzaría a cumplir el 15% de sus límites de escala.

En este caso, al contar con una ventana de tiempo de 1 hora y emplear una escala estricta, se puede incurrir en que el servicio de transporte se convierta en un servicio más personalizado para cada cliente, es decir, que emplee un camión para atender a cada cliente, situación que por costos y rentabilidad podría no ser fácilmente sostenible para cualquier compañía.

La ruta del escenario escogido por las dos escalas se puede observar en la figura 10.

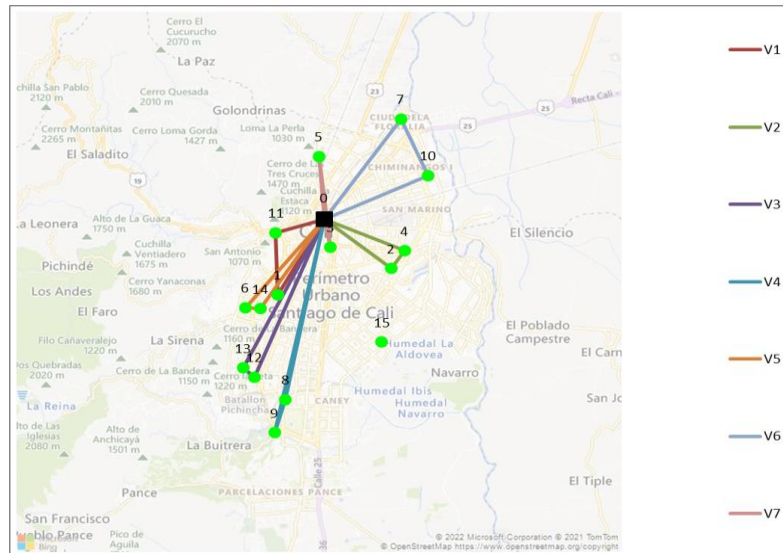


Figura 9. Ruta vehicular E15 caso 3.

9.4. Análisis de los casos

El resumen de los resultados de ponderación de cada uno de los escenarios escogidos en cada caso para las escalas permisivas y estrictas, se muestran en las tablas 18 y 19, respectivamente.

Para la escala permisiva, como se observa en la tabla 18, el mejor caso según la calificación es el caso 1, esto debido a que su utilidad tiene el más alto porcentaje (59%).

Para todos los escenarios la calificación obtenida en el indicador de porcentaje de utilización de carga es 0%, esto debido a que no cumplen con los límites mínimos establecidos para la escala permisiva.

Casos	Núm. de camiones	Nivel de servicio	% de utilización (Carga)	Utilidad	Calificación Total
Caso 1	3	100%	0%	59%	53.1%
Caso 2	4	100%	0%	49%	49.6%
Caso 3	7	67%	0%	3%	23.2%

Tabla 18. Calificación con escala permisiva. (Elaboración propia)

En la tabla 19, se presenta los resultados en la escala estricta para cada uno de los casos, el cual teniendo en cuenta la mayor calificación el mejor caso es 1, con un rendimiento en la utilidad del 19%, al contrario de los otros casos, en los cuales no alcanzan a cumplir con los límites mínimos establecidos en la escala estricta. También cuenta con una calificación de nivel de servicio del 100% ya que atiende a 15 clientes.

Casos	Núm. de camiones	Nivel de servicio	% de utilización (Carga)	Utilidad	Calificación Total
Caso 1	3	100%	0%	19%	53.1%
Caso 2	4	100%	0%	0%	33.3%
Caso 3	7	33%	0%	0%	11.1%

Tabla 19. Calificación con escala estricta. (Elaboración propia)

Para las dos escalas se observa que el escenario escogido en todos los casos tiene una ponderación de utilización de carga del cero por ciento, debido a que así se estén atendiendo a la totalidad de clientes como en el caso 1 y 2, o como en el caso 3 que atiende a 14 clientes, no se está empleando la totalidad de capacidad de carga de cada camión.

También se puede evidenciar que, al realizar la disminución de la ventana de tiempo en cada caso, se obtiene como resultado una mayor necesidad de empleabilidad de vehículos, debido a que la empresa incurre en mayores restricciones para el despacho de su mercancía

10. Conclusiones y recomendaciones

En el desarrollo del trabajo de grado se simuló un problema de ruteo de vehículos con restricción de capacidad y ventanas de tiempos (CVRP y VRPTW), que permitió realizar el análisis de la relación entre la flota vehicular y la promesa de entrega, con los principales indicadores de la estrategia de distribución de una compañía. Las estrategias de transporte son importantes para una empresa ya que representan un 40% de los costos asociados a la mercancía y son una de las principales fuentes de fidelización de los clientes.

La herramienta VRP Spreadsheet Solver es una herramienta de fácil acceso y gratuita, que permite a pequeñas y medianas empresas de máximo 200 clientes, resolver problemas de ruteo vehicular para maximizar sus utilidades por medio de la disminución de costos relacionados al transporte de mercancía, el número de flotas, ventanas de tiempo, el tiempo de servicio y la capacidad de carga. Una compañía que quiere establecer las ventanas de tiempo para cada cliente y el número de flotas vehiculares a emplear, debe utilizar una herramienta que le permita realizar la simulación y análisis de escenarios, para determinar la promesa de entrega para cada cliente.

Para la toma de decisiones con base en los resultados de la herramienta, es necesario realizar una combinación entre la herramienta utilizada y la interpretación de los resultados obtenidos con los objetivos y las metas de la empresa.

Los resultados obtenidos de la compañía del caso de estudio, el cual cuenta 15 clientes distribuidos en el norte y sur de la ciudad de Cali, demuestran que la promesa de entrega es un factor importante en las estrategias de distribución de una empresa, ya que influye en la variación de la cantidad de flotas requeridas para la atención de los clientes. Se evidenció que al disminuir las ventanas de tiempo la compañía deberá emplear un mayor número de camiones y por consecuencia aumentará sus costos asociados.

Las escalas utilizadas para el análisis de los indicadores son subjetivas ya que deberán estar guiadas por las políticas y objetivos de cada compañía para la medición de sus indicadores. En el caso de estudio en mención, el mejor caso tanto como para la escala permisiva como la escala estricta, empleadas para el análisis de los indicadores del caso, es el número 1, debido a que tiene la capacidad de atender a cada uno de los 15 clientes en una ventana de tiempo de 4 horas, alcanzando una mayor utilidad. Este resultado teniendo en cuenta que ninguno de los tres casos alcanza la ponderación mínima para la utilización de la carga.

Una empresa que desee disminuir su promesa de entrega tendrá que asumir el aumento de sus costos de transporte, al tener que emplear una mayor cantidad de camiones de entrega, o replantear el tipo de flota vehicular utilizada para que pueda ser aprovechada en un mayor porcentaje de utilización.

Como recomendación para posibles investigaciones futuras se podría investigar el problema de ruteo teniendo en cuenta más factores asociados, como lo son las inversiones de la flota vehicular, aumento del número de depósitos, variaciones en la demanda y la definición de ventanas de tiempo por parte de los clientes. Con el fin de tener unos resultados más precisos y acordes a la realidad de las empresas y las necesidades de los clientes. También se podría realizar el análisis del impacto del tráfico en diferentes horarios del día para establecer los horarios de las ventanas de tiempo óptimas y el número de flotas de vehículos para atenderlos.

Bibliografía

1. ACOSTA, C. (2021) “Aumento del mínimo representaría un costo mensual al empleador de \$1,6 millones”. *Diario La República*. <https://www.larepublica.co/economia/aumento-del-minimo-representaria-un-costo-mensual-al-empleador-de-1-6-millones-3277286>
2. Allen, J. & Piecyk, M. & Piotrowska, M. & McLeod, F. & Cherrett, T. & Ghali, K. & Nguyen, T. & Bektas, T. & Bates, O. & Friday, A. (2018) “*Understanding the Impact of E-commerce on Last-Mile Light Goods Vehicle Activity in Urban Areas: The Case of London*”
3. ANDI, (2020) “Según encuesta de la ANDI, comercio electrónico ha tomado fuerza significativa en la actual coyuntura” Recuperado de: <http://www.andi.com.co/Home/Noticia/15757-segun-encuesta-de-la-andi-comercio-elec>
4. Arboleda., J. López, A. & Lozano, Y. (2016). “El problema de ruteo de vehículos [VRP] y su aplicación en medianas empresas colombianas.” *Ingenium*, 10(27) ,pp 29-36 <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/786/622-12~1%20%281%29.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
5. Ballou R. (1997) “*Business logistics importance and some research opportunities*” v.4, n.2, p. 117-129, ago. 1997
6. Banco de la república. (2022). *Índice de precios al consumidor (IPC)*. <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/indice-precios-consumidor-ipc>.
7. Boyer, K. y Prud’homme, A., (2009). “*The last mile challenge: evaluating the effects of customer density and delivery window patterns*”. *Journal of business logistics*, 30(1), 185-201.
8. DCS. ¿Qué es 1PL, 2PL, 3PL, 4PL y 5PL? Tipos de operadores logísticos, diferencias y ventajas. (s/f). Dsv.com. Recuperado el 17 de febrero de 2022, de <https://www.dsv.com/es-es/ayuda/faq/que-es-1pl-2pl-3pl-4pl-5pl>
9. Erdoğan G. (2017) “*User’s Manual for VRP Spreadsheet Solver, ScienceDirect*” , pp 5-6
10. Erdoğan, G. (2017). “An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems. *Computers & Operations Research*”, 84, 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.02.022>
11. Gevaers, R., Van de Voorde, E. y Vanelander, T., (2014). “*Cost Modelling and Simulation of Last-mile Characteristics in an Innovative B2C Supply Chain*

- Environment with Implications on Urban Areas and Cities*". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 125, 398 – 411.
12. Gil, Y. T. (2020). "*Beneficios del e-commerce en las pymes colombianas durante la Covid-19.*" Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/37014>.
 13. González, D. Gómez, D. (2019). "*Solución al problema de ruteo de vehículos con entregas y recogidas aplicando el algoritmo de pétalos y la heurística del vecino más cercano*" [Trabajo de grado, Universidad distrital Francisco José de Caldas] <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/23505/GonzalezRestrepoDanielAndres2020.PDF..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 14. Gonzalez, X. (2020) "*Las Pyme realizaron siete de cada 10 ventas a través de internet durante la pandemia*" *Revista la República*. Recuperado de: <https://www.larepublica.co/especiales/la-industria-del-e-commerce/las-pyme-realizaron-siete-de-cada-10-ventas-a-traves-de-internet-durante-la-pandemia-3088473>
 15. Han, S., Zhao, L., Chen, K., Luo, Z., y Mishra, D., (2017). "*Appointment scheduling and routing optimization of attended home delivery system with random customer behavior*". *European Journal of Operational Research*, 262 (3), 966-980.
 16. Hoang, T (2019) "*Last-Mile delivery for E-Commerce in Vietnam*" (Tesis Bachelor of Business Administration). LAHTI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES LTD, Vietnam.
 17. Hoyos Pineda, G. H. (2020). *El problema de enrutamiento de vehículos. caso aplicado a la distribución de un producto en un agro avícola del Valle del Cauca*. [Trabajo de grado, Universidad del Valle] <https://bit.ly/3zEzZNx>.
 18. INVIAS. (2004). *Resolución 4100 del 28 de diciembre de 2004*. <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/resoluciones-circulares-otros/10387-resolucion-4100-del-28-de-diciembre-de-2004>
 19. INVIAS. (2017). *Costos de operación vehicular*. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/6608-costos-de-operacion-vehicular>
 20. Laudon, K; Laudon J; (2002). "*Sistemas de información gerencial. Organización y tecnología de la empresa conectada en red*"; Edición sexta; México; Ed. Printice hall
 21. Mediorreal, A. (2014). "*Modelo de ruteo de vehículos para la distribución de las empresas Laboratorios Veterland, Laboratorios Callbest y Cosméticos Marliou Paris*" , [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana],

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16579/MediorrealCarrilloAndresFelipe2014.pdf?sequence=3>

22. Ministerio del trabajo. (2021). Decreto 1724 de 2021. <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%201724%20DEL%2015%20DE%20DICIEMBRE%20DE%202021.pdf>
23. MinTIC, (2018) “*Comportamiento PYMES e-commerce 2018*” Recuperado de: <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Iniciativas/Usuarios/MiPyme-Vive-Digital/>
24. Monterrosa, H. (2019) “*Mipymes representan 96% del tejido empresarial y aportan 40% al PIB*” Revista la República. Recuperado de: <https://www.larepublica.co/economia/mipymes-representan-96-del-tejido-empresarial-y-aportan-40-al-pib-2903247>
25. Muñoz, A. Barrera, V. (2020). “*Problema de Localización y Ruteo en Ambientes de Última Milla*” [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira], <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/c116ac98-38cd-4e0b-a429-6cfe78aeab31/content>
26. Deloitte, Segura, V; Fuster, A; Antolín, F. (2020) “*Logística de última milla: Retos y soluciones en España*” Recuperado de: <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/26209>
27. Suárez, S. (2020). “*El comercio electrónico (e-commerce) un aliado estratégico para las empresas en Colombia*”. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação; Lousada N.º E34, (Sep 2020): 235-251. Recuperado de: <https://search.proquest.com/openview/f098bb520fa2b09c34ea661067855b94/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
28. Ulloa, J. (2015). “*Estado del arte de los modelos de optimización en la logística urbana de mercancía*” [Trabajo de grado, Universidad industrial de Santander], <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/156420.pdf>
29. UPME. (2020). *Realizar un estudio que permita identificar las clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar el ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional*. Steer. https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Informe_final_Ascenso_tecnologico.pdf
30. Viu-Roig, M. & Alvarez-Palau, E (2020) “*The Impact of E-Commerce-Related Last-Mile Logistics on Cities: A Systematic Literature Review*”

31. Wang, X. & Zhan, L. & Ruan, J. & Zhang, J. (2014) *“How to Choose ‘Last Mile’ Delivery Modes for E-Fulfillment”*