



**Aseguramiento de la última milla para la entrega de productos cerámicos en la ciudad
de Bogotá y el área metropolitana.**

TRABAJO DE GRADO

Presentado por

Mauricio Gonzalez Alvarado

Presentado como requisito parcial para optar al título de

MAGISTER EN LOGÍSTICA INTEGRAL

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN LOGÍSTICA INTEGRAL

Bogotá D.C., Colombia

(Octubre / 2022)

Aseguramiento de la última milla para la entrega de productos cerámicos en la ciudad de Bogotá y el área metropolitana.

Mauricio Gonzalez Alvarado

APROBADO:

PEDRO JOSE SANCHEZ CAIMAN -

Tutor

Nombres del primer jurado

Firma

Nombres del segundo jurado

Firma

Bogotá D.C. 24 de octubre de 2022

NOTA DE ADVERTENCIA

“La universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus estudiantes en sus proyectos de trabajo de grado, sólo velará por la calidad académica de los mismos, en procura de garantizar su desarrollo de acuerdo con la actualidad del área disciplinar respectiva. En el caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, el estudiante – autor asumirá toda la responsabilidad y saldrá en defensa de los derechos. Para todos los derechos la universidad actúa como un tercero de buena fe”. (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995)

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la universidad Militar nueva granada por tan excelente programa que brinda actualmente, a todo el cuerpo docente quienes me aportaron en mi formación profesional, a los compañeros del programa quienes con sus vivencias académicas y laborales que me brindaron una mejor perspectiva al mundo real y laboral, a los ingenieros Pedro Sanchez y Daniel Sanchez, y especialmente a Dios por darme salud en tiempos de pandemia y poder realizar esta Maestría, igualmente agradezco a mis padres que me acompañaron en todo el proceso del programa y por ultimo muchas gracias a la compañía que me ayudo económicamente para cumplir esta meta propuesta ya varios años.

DEDICATORIA

Principalmente este trabajo es dedicado al esfuerzo propio que tuve durante estos dos años llenos de aprendizajes, valores de responsabilidad, desveladas, y cumplimiento en mis deberes laborales y académicos, también dedico este trabajo a todas aquellas personas que piensan que las cosas se pueden realizar de otra manera, salirnos de lo habitual y con esfuerzo y dedicación podemos llegar hacer grandes cosas, igualmente dedico este logro a mi hija Maria Camila a mis padres Santiago y Marina y una persona muy especial que creyó en mí y en mis capacidades gracias Pablo Alonso Medina.

Tabla de Contenido

Resumen.....	7
Abstract	9
Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Objetivo General	5
1.2 Objetivos Específicos.....	5
1.3 Hipótesis.....	6
Capítulo 2 Estado del Arte	7
Capítulo 3 Marco Teórico	14
3.1 Concepto general de última milla	14
3.2 Modelo logístico para la distribución.....	14
3.3 Impactos de la logística de última milla.....	16
3.4 Soluciones actuales en la última milla	19
3.5 Problema de ruteo de vehiculos	20
Capítulo 4 Desarrollo de la Metodología/Materiales y Métodos/Desarrollo Experimental ..	22
4.1 Diseño Metodológico	22
4.1.1 Tipo o nivel de investigación	24
Capítulo 5 Resultados y Análisis	25
5.1 Revisión literaria de tendencias actuales de entregas de última milla	26
5.1.1 Taxonomía del problema de ruteo de vehiculos	29
5.1.2 Métodos de solución del VRP.....	30
5.1.3 Estadísticas de las bases de datos sobre el problema de ruteo de vehiculos	31
5.1.4 Actualidad en la última milla	33
5.2 Herramientas tecnológicas de seguimiento	36
5.2.1 Internet de las cosas.....	37
5.2.2 Rastreo satelital con GPS.....	37
5.2.3 BigDATA.....	38
5.2.4 Inteligencia artificial	39
5.2.5 RFID.....	39
5.2.6 Blockchain	40
5.3 Normatividad de tránsito vigente de Bogotá para vehiculos de carga	41
5.4 Costo logístico.....	45
5.4.1 Estructura de costos según SICETAC	47

5.4.2 Herramienta tecnológica SICE-TAC	49
5.5 Modelo de distribución de mercancías de última milla.....	51
5.5.1 El VRP Spreadsheet Solver.....	52
5.5.2 Estudio de Caso.....	58
Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones	80
Referencias	84
Apéndices	88
Anexos	89
Resultados de la encuesta.....	89

Lista de tablas

Tabla 1.	Algunas Variaciones del VRP	21
Tabla 2.	Ficha técnica de la encuesta.....	24
Tabla 3.	Variantes del VPR antes del año 2000	27
Tabla 4.	Variantes del VRP después del año 2000	28
Tabla 5.	La taxonomía propuesta (adaptado de Eksioglu et al. (2009))......	29
Tabla 6.	Ventajas y desventajas del LoT	37
Tabla 7.	Restricción del distrito capital Bogota 2022.....	43
Tabla 8.	Parametros Generales del modelo SICE-TAC	47
Tabla 9.	Costos fijos según SICE-TAC	48
Tabla 10.	Costos variables según SICE-TAC	48
Tabla 11.	Clientes actuales.....	58
Tabla 12.	Cifras de distribución de mercancía año 2021	60
Tabla 13.	Proveedores de monitoreo satelital en Colombia.....	61
Tabla 14.	Datos distribución actual.....	64
Tabla 15.	Ruta No. 1 Distribución actual.....	65
Tabla 16.	Ruta No. 2 Distribución actual.....	66
Tabla 17.	Ruta No. 3 Distribución actual.....	67
Tabla 18.	Ruta No. 4 Distribución actual.....	68
Tabla 19.	Costo de la operación situación actual	69
Tabla 20.	Ruta No. 1 Modelo de distribución propuesto	72
Tabla 21.	Ruta No. 2 Modelo de distribución propuesto	73
Tabla 22.	Ruta No. 3 Modelo de distribución propuesto	74
Tabla 23.	Ruta No. 4 Modelo de distribución propuesto	75
Tabla 24.	Indicadores de rutas	76
Tabla 25.	Datos Modelo de distribución propuesta	77
Tabla 26.	Costos de la operación	78
Tabla 27.	Comparativo modelo actual vs propuesto	79

Lista de figuras

Figura 1.	Diagrama causa y efecto	2
Figura 2.	Esquema Estructura general de la Logística Urbana	15
Figura 3.	Costo logístico a nivel país	17
Figura 4.	Tiempos de operación y espera de cargue y descargue	18
Figura 5.	Pedido perfecto	18
Figura 6.	Pasos de la realización de la encuesta.....	23
Figura 7.	Tamaño de la muestra.....	23
Figura 8.	Estructura general transporte y distribución	25
Figura 9.	Proceso sistémico de ruteo.....	26
Figura 10.	Taxonomía de los métodos de solución del VRP	30
Figura 11.	Documentos por año sobre el problema de ruteo de vehiculos.....	31
Figura 12.	Documentos por autor sobre el problema de ruteo de vehiculos	32
Figura 13.	Documentos por país de origen para el problema de ruteo de vehiculos.....	32
Figura 14.	Documento por tipo para el problema de ruteo de vehiculos	33
Figura 15.	Mapa restricción según decreto 077 de 2020.....	44
Figura 16.	Costo logístico a nivel país	45
Figura 17.	Tiempos de operación y espera de cargue y descargue	46
Figura 18.	Pedido perfecto	46
Figura 19.	Información para el cálculo de flete.....	50
Figura 20.	Costo total del viaje.....	50
Figura 21.	Modelo de distribución de mercancías de última milla	52
Figura 22.	Estructura de hoja de cálculo de VRP Spreadsheet Solver.....	53
Figura 23.	Geolocalización de clientes.....	59
Figura 24.	Participación de cantidad de clientes x solicitud de transporte.....	60
Figura 25.	Plataforma de seguimiento por medio de GPS	63
Figura 26.	Ruta No. 1 Distribución actual.....	65
Figura 27.	Ruta No. 2 Distribución actual.....	66
Figura 28.	Ruta No. 3 Distribución actual.....	67
Figura 29.	Ruta No. 4 Distribución actual.....	68
Figura 30.	Distancias	70
Figura 31.	Tiempos de desplazamiento	71
Figura 32.	Ruta No. 1 Modelo de distribución propuesto	72
Figura 33.	Ruta No. 2 Modelo de distribución propuesto	73

Figura 34.	Ruta No. 3 Modelo de distribución propuesto	74
Figura 35.	Ruta No. 4 Modelo de distribución propuesto	75

Lista de Abreviaturas

LMD: Last mile delivery – Entrega de última milla

CD: Centro de distribución

VRP: Vehicle Routing Problem – Problema de ruteo de vehiculos

TDP: Truck Dispatching Problem – Problema de despacho de camiones

AECOC: La Asociación de fabricantes y Distribuidores de España

LoT: Internet de los datos

GPS: Global Positioning System – Sistema de posicionamiento global

M2M: Machine to Machine – Maquina a maquina

Fedetec: Federación Colombiana de empresas de localización y tecnología afines

POT: Plan de ordenamiento territorial

SICE-TAC: Costos eficientes para el transporte automotor de carga

Resumen

La logística urbana es uno de los principales asuntos que debe solucionar los departamentos de logística de cada compañía (Adarme Jaimes et al., 2014), debido a que actualmente sus centros de distribución están ubicados en las zonas periféricas de las grandes ciudades. Debido a este fenómeno las compañías han tenido que innovar en nuevos modelos de distribución con el fin de dar cumplimiento a las entregas a clientes o consumidores finales, igualmente han implementado nuevas estrategias en la planeación de rutas, teniendo en cuenta los posibles obstáculos que se puedan presentar en la vía y dar cumplimiento sin impactar sus costos (Amaral & Cunha, 2020).

Por otro lado hay varios estudios que se centran en temas como el transporte tradicional, explicando variables como el costo del transportes o su oferta, en lugar de validar la demanda de los clientes (Adarme Jaimes et al., 2014). Igualmente hay varios modelos que pueden resolver problemas de transporte. Es por ello que la siguiente propuesta busca diseñar un modelo de distribución para las entregas en la última milla de una compañía de cerámica, en la ciudad de Bogotá y zona metropolitana; estableciendo principalmente el cumplimiento de las entregas de mercancía a clientes, tomando como base una revisión de literatura con respecto a modelos de distribución. También se realizara diseños de rutas, tiempos y movimientos para realizar las entregas y la minimización de costos de transportes por medio de modelos de programación lineal.

Por otra parte, partiendo del cumplimiento de la última milla se pueden analizar los factores internos de la compañía tales como la planeación de la ruta, tiempos de cargue y seguimiento de vehículos en etapas de precargue, cargue, ruta y entrega. Como factores externos se pueden

identificar oferta de vehículos, restricciones viales, congestión vehicular, tiempos de descargue y difícil ubicación de personal para el descargue de mercancía..

Palabras clave: Logística Urbana, última milla, entregas urbanas, transporte de carga, planeación de ruta.

Abstract

Urban is one of the main issues to be solved by the logistics departments of each company (Adarme Jaimes et al., 2014), because currently their distribution centers are located in the peripheral areas of large cities. Due to this phenomenon, companies have had to innovate in new distribution models in order to comply with deliveries to customers or end consumers, they have also implemented new strategies in route planning, taking into account the possible obstacles that may arise, present on the road and comply without impacting your costs.

On the other hand, there are several studies that focus on topics such as traditional transport, explaining variables such as the cost of transport or its supply, instead of validating customer demand (Adarme Jaimes et al., 2014). There are also several models that can solve transportation problems. That is why the following proposal seeks to design a distribution model for deliveries in the last mile of a ceramic company, in the city of Bogotá and the metropolitan area; establishing mainly the fulfillment of merchandise deliveries to clients, based on a literature review regarding distribution models. Route, time and movement designs are also carried out to make deliveries and the minimization of transport costs through linear programming models.

On the other hand, starting from the fulfillment of the last mile, it is possible to analyze the internal factors of the company such as the planning of the route, loading times and tracking of vehicles in pre-loading, loading, route and delivery stages. As external factors can be identified the supply of vehicles, road restrictions, traffic congestion, unloading times and difficult location of personnel to unload merchandise.

Key Works: Urban logistics, last mile, urban deliveries, cargo transportation, route planning.

Capítulo 1 Introducción

Actualmente la entrega de mercancía en la ciudad de Bogotá y zona metropolitana ha presentado dificultades en el cumplimiento de la oferta de entrega, esto puede obedecer a los largos trayectos que hay entre la empresa generadoras de carga, las cuales están migrando a las zonas metropolitanas de la ciudad (Peña & Pérez, 2019), dificultades en los desplazamientos por temas en la movilidad, restricciones de horarios en diferentes zonas de la ciudad, etc. Según cifras de movilidad a Bogotá ingresan en promedio más de 20 mil vehículos de carga y salen en promedio 19 mil vehículos de carga, las vías más congestionadas son: la calle 13, seguida de la autopista norte, en tercer lugar la calle 80, en cuarto lugar la autopista sur y en un quinto lugar la avenida Villavicencio.

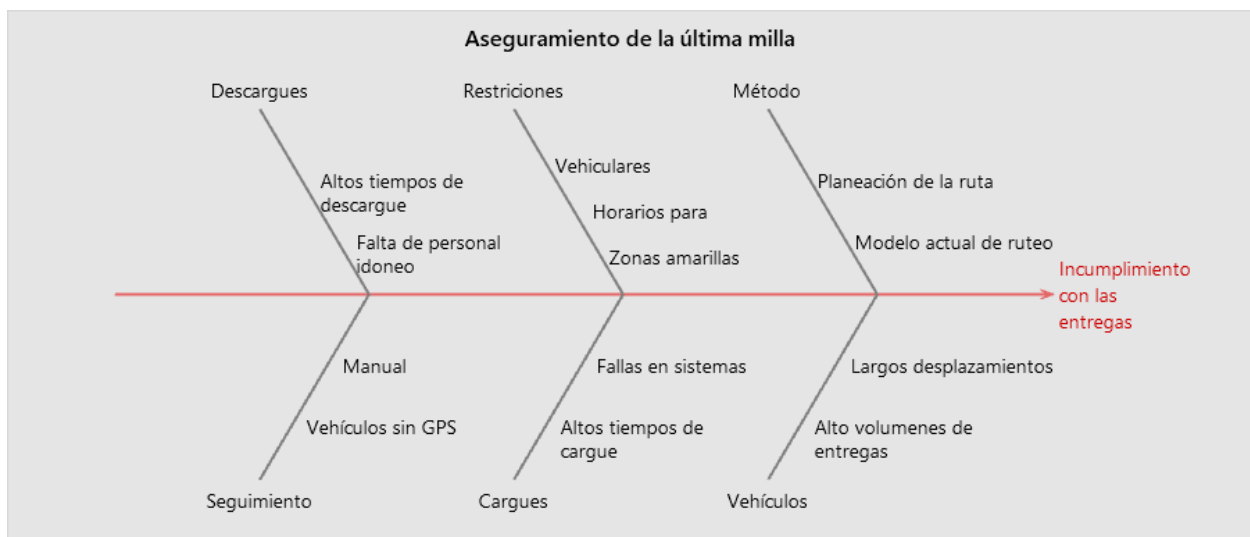
Basados en la información anterior el caso de estudio se estará guiando a una empresa generadora de carga de productos cerámicos, ubicada en el municipio de Madrid - Cundinamarca, la cual desea mejorar el cumplimiento de sus entregas a nivel urbano (Bogotá y la zona metropolitana), todo esto con el aseguramiento de la última milla, ya que sus clientes se ven afectados por los retrasos en horas o en días para la entrega de la misma, requiriendo información en línea de su llegada, para poder cumplir con uso propio o para una sub-distribución.

Según definición la entrega de última milla o también llamada la distribución capilar, es el reparto de mercancía en una ciudad al consumidor final, estas entregas se pueden hacer de diferentes puntos de origen según la estrategia de cada empresa, en conclusión la última milla es la entrega de productos B2C (Lluís Goñalons, 2019).

Como premisas para el cumplimiento de la última milla se pueden evidenciar factores internos como la planeación de la ruta, tiempos de cargue y seguimiento de vehículos en etapas de precargue, cargue, ruta y entrega. Como factores externos se identifican la oferta de vehículos, restricciones viales, congestión vehicular, tiempos de descargue y difícil ubicación de personal para descargue, incrementando así los costos logísticos de la compañía.

De acuerdo a lo anterior, surge la pregunta ¿Cómo la compañía de cerámica puede asegurar las entregas de mercancía en la última milla?

Figura 1. Diagrama causa y efecto



Fuente: Propia

La entrega de mercancía en la última milla, es el reto que tienen las áreas de logística de cada organización cumpliendo los tiempos establecidos, los cuales tienden a ser más reducidos y con gran cantidad de variables que pueden afectar la entrega (Pronello et al., 2017). Debido a esta exigencia de los clientes por el cumplimiento en la oferta de entrega y tener más rápido su

mercancía, esta investigación se tratara cada una de las variables que puedan afectar la entrega de los productos.

Con el aumento del mercado y la gran demanda de productos y servicios, los clientes son más estrictos con el cumplimiento y seguimiento a la entrega de mercancías, generando así una gran competencia entre compañías, mejorando el nivel de servicio de entrega (Reyes et al., 2017); esto ha causado una gran exigencia en la logística al momento de realizar los repartos en la última milla, buscando entregar la mercancía en el tiempo de la oferta en entrega (beetrack, 2019).

Según la asociación de fabricantes y Distribuidores de España, el sector logístico está pasando por un gran momento, el cual lo impulsa las ventas por internet y es liderado por Amazon quien cambio el modelo tradicional de la distribución. Según el modelo tradicional las compañías cargan vehículos óptimos para estos casos tractomulas y visitan pocos puntos de entrega descargando grandes cantidades de mercancía (Orjuela-Castro et al., 2019). Según el concepto estratégico de la última milla es que en vehículos tipo turbo o camión sencillo tienen una mayor cantidad de clientes a visitar, con baja cantidad de mercancía a entregar y una mayor frecuencia de visita a los clientes. Igualmente los consumidores han pasado de esperar un producto por tres días a que llegue el mismo día (Lluís Goñalons, 2019).

Igualmente con el crecimiento en los servicios de paquetería, la movilización en las megaciudades y la congestión del tráfico rodeados en las zonas urbanas (Mangano & Zenezini, 2019), traen aspectos negativos como contaminación, ruidos y accidentes de tráfico, estos son aspectos que las compañías deben trabajar para prestar un servicio rápido y flexible, con procesos de compra más

sencillos y una logística sostenible (De et al., 2020). De acuerdo a lo anterior la empresa debe empezar a investigar nuevos modelos de entrega como la utilización de vehículos eléctricos.

Por otro lado, los clientes requieren tener información de su compra, realizando preguntas como: ¿Dónde está la mercancía?, ¿Cuándo me la entregan?, ¿A qué horas me la entregan?, ¿Me entregarán lo que solicite? ¿Por qué no tengo información del pedido que realice?, ¿Quién me traerá la mercancía?, ¿Llegará en óptimas condiciones?. Dadas estas preguntas conducen a las compañías a dar importancia a la entrega de mercancía en la última milla (LMD), proceso de alta categoría en la cadena de abastecimiento, con el fin de que los clientes tengan experiencias memorables de compra.

Para el desarrollo de la investigación se puede encontrar variables como planeación de la ruta o consolidación de mercancía, proceso importante dentro de la logística de salida donde se identifica información del despacho como día de cargue, cantidad de puntos geográficos o clientes, ruta que tomara el vehículo y día de entrega de la mercancía. Depende de esta planeación se dará éxito para el cumplimiento de la última milla (LDM), este aseguramiento es un proceso sincronizado con las áreas almacenamiento y distribución con actividades de alistamiento y cargue de vehículos, área de transportes con la confirmación, colocación y seguimiento de vehículos. También se debe tener en cuenta los requerimientos del cliente como día de entrega, horarios de recibo, restricciones viales y otros requerimientos. Por lo tanto, el cumplimiento de la última milla en cadenas de suministro tiene desafíos y oportunidades sustanciales con respecto a productividad, precisión, calidad, costos y sustituciones (Boyer et al., 2004).

1.1 Objetivo General

Realizar una propuesta de un modelo de distribución de última milla para productos cerámicos, que optimice costo, tiempo y recorridos en la ciudad de Bogotá y zona metropolitana, mediante la geolocalización y planeación de pedidos, para asegurar y dar cumplimiento a las entregas.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar una revisión de literatura para descubrir tendencias que se han adoptado a través del tiempo, partiendo de casos de éxito en otras ciudades, con el fin de adaptarlas al modelo.
- Validar herramientas tecnológicas que se encuentren en el mercado, para analizar su funcionamiento con respecto al seguimiento de vehículos.
- Evaluar la normatividad vigente de tránsito de Bogotá con relación de restricciones de movilidad para vehículos de carga, con el fin de incluir restricción al modelo.
- Diseñar un modelo con respecto a la planeación y consolidación de las entregas, para facilitar los procesos de carga, transporte y entrega.

1.3 Hipótesis

Para el cumplimiento de las entregas en la última milla, se debe tener en cuenta cada detalle, desde el momento que se planea el envío de mercancía, hasta su llegada a la puerta del cliente. Igualmente es necesario realizar un seguimiento, control y supervisión a la flota de vehículos, identificando posibles dificultades en la ruta, llegando a obtener tasas de entregas efectivas (beetrack, 2019).

Con base en estos argumentos se plantea las siguientes hipótesis.

Hipótesis 1: La falta de planeación y conocimiento de las rutas, induce a un incumplimiento en la oferta de entrega estipulada por la compañía.

Hipótesis 2: Los largos desplazamientos entre el centro de distribución (CD) y el punto de entrega, afecta el cumplimiento de los demás puntos.

Hipótesis 3: Para cumplir con la entrega de mercancía es necesario establecer un modelo de distribución a nivel urbano, teniendo en cuenta la planeación y ruta.

Capítulo 2 Estado del Arte

La logística de última milla o también conocida como distribución urbana de mercancías (DUM) (Peñaloza et al., 2019), parte de metodologías para la optimización de transportes de carga y de pasajeros (Holguín-veras & Thorson, n.d.). Varios autores expresan que hay variedad de oportunidades para la investigación de la logística urbana ya que estas se encuentran en la fase de crecimiento (Ricciardi & Storchi, n.d.).

Según las investigaciones más recientes, el termino de última milla se tomó de las redes de telecomunicaciones, hace referencia que se puede comparar con un árbol, a medida que la red avanza al cliente final, es probable que se tengan ineficiencias y posibles cuellos de botella (Cardenas et al., 2017), igualmente cuando se habla de última milla, es el tramo final del transporte en el que las mercancías llegan a su punto de consumo.

La logística urbana tiene varias referencias en diferentes libros, como lo describen Larzon (1981) sobre logística operativa urbana o también como lo describe Daganzo (1994) sobre logista de distribución. Pero la logística de última milla se ha colocado otros retos para salir de lo tradicional, ahora las empresas deben cambiar los servicios y operaciones de la distribución en las ciudades, esto también llamado innovación en los servicio urbanos (Galván et al., 2003).

Según cronología podemos indicar que la logistica urbana se acerca a los problemas de generación de rutas (VRP) y las decisiones que se deben tomar como: asignación de clientes a los vehiculos y la secuencia de los clientes asignados. El VRP como campo de estudio y práctica se define de

manera bastante amplia. Se considera que abarca todos los aspectos gerenciales, consideraciones físicas, geográficas e informativas, así como las disciplinas teóricas y abarca varias disciplinas académicas y profesionales que van desde el diseño de algoritmos hasta la gestión del tráfico (Eksioglu et al., 2009).

Durante el año 1959 Dantzig & Ramser fueron los primeros en introducir un modelo para el despacho de camiones de gasolina que tuvieran que visitar varias estaciones de servicio desde un origen, haciendo el menor recorrido posible, a este modelo se le llamo el problema de despacho de camiones (TDP), años más tarde en 1964 Clarke y Wright introducen un problema de optimización lineal cuyo objetivo es atender una serie de clientes, con diferentes camiones y diferentes capacidades desde un punto de origen central, este problema fue llamado problema de enrutamiento de vehículos “Vehicle Routing Problem”(VRP) (Braekers et al., 2016)

Hacia la década de los 70 y 80 las investigaciones fueron mínimas acerca del tema, esto por dificultades computacionales y la falta de microcomputadoras, dentro de las investigaciones de la época tenemos: en el año 1970 el ruteo de vehículos de servicio público, por Marcos y Stricker; Diseño de redes de transporte por O'Connor & De Wald; recolección de residuos sólidos por Liebmann, en el año 1971 la gestión de la distribución por Eilon; Watson-Gandy y Christofides; Enrutamiento de flota por Levin; Marcar un sistema de bus por Wilson y Sussman, en el año 1972 Ruteo de vehiculos por Golden, Magnanti y Nguyan y el año 1983 restricciones de ventana de tiempo al VRP clásico por Salomon (Eksioglu et al., 2009).

Durante de la década de los 90 se facilitó a un más las investigación de estos modelos de VRP, debido a la disponibilidad de macrocomputadoras, los investigadores podían desarrollar algoritmos más complejos, igualmente durante este época se introdujo el termino meta-heurística, cuyo objetivo era nombrar una serie algoritmos para resolver problemas de enrutamiento de vehiculos, así como otros problemas de optimización, según M Gendreau en el año 1998 realizo estudios basados en meta-heurísticas en problemas VRP tales como: Recocido simulado, recocido determinista, búsqueda tabú, algoritmos genéticos, sistemas de hormigas y redes neuronales (Osman & Laporte, 1996).

Con el gran aporte de la década de las 90 y hacia el año 2009 la literatura de este tema ha crecido en un 6% por año (Eksioglu et al., 2009), donde es muy difícil de realizar seguimiento de los desarrollos alcanzados durante estas dos últimas décadas y tener claras las variantes o métodos de los VRP, a continuación presentaremos las más conocidas durante los últimos años son: en el año 2005 VRP con ventanas de tiempo por Bräysy & Gendreau; año 2007 Problemas de recogida y entrega, por Berbeglia, Cordeau, Gribkovskaia y Laporte; año 2009 VRP capacitado por Laporte; año 2012 Enrutamiento con entregas divididas por Archetti & Speranza; año 2013 VRP dinámicos por Pillac, Gendreau, Guéret, & Medaglia; año 2014 VRP periódicos por Campbell & Wilson; año 2015 Enrutamiento de vehículos ecológicos por C. Lin, Choy, Ho, Chung, & Lam y Enrutamiento de vehículos con múltiples depósitos por Montoya-Torres, Lopez France, Nieto Isaza, Felizzola Jimenez y Herazo-Padilla (Braekers et al., 2016).

Por otra parte y realizando un empalme al termino de entregas de última milla, ha tenido auge a partir del año 2015, partiendo de los modelos tradicionales de optimización, surgen nuevas

maneras de realizar las entregas, una vez asegurando la ruta, las visitas a clientes, los tiempos en recorridos, la compañías se deben enfocar de como entregar los productos de manera más eficiente, cuyos experimentos o alternativas para la entrega de mercancía, siendo un éxito las entregas nocturnas con la disminución de costos operativos para tener una logística nocturna (Board et al., 2015).

Realizando una estadística por medio de la base de datos Scopus, se obtuvo como resultado que en los últimos 5 años se han publicado 1.088 documentos de entregas en la última milla, de los cuales 350 se ha publicado en el año 2021 y un incremento del 30% comparando con el año 2020, igualmente se puede indicar que los Estados Unidos es el país que más publicaciones tiene sobre el tema, seguido de China y en un tercer lugar Italia. Igualmente tenemos los autores más reconocidos como Matthias Winkenbach, quien es el director del MIT Megaciudades logísticas e investigador asociado en el MIT Centro para el transportes y logística y en un segundo lugar tenemos a Allen Julian quien es investigador de la universidad de Westminster en Londres Reino Unido.

Entrando en más detalle se validaron 50 artículos relacionados con las entregas de última milla durante los últimos 5 años, para el año 2017 se describe Enrutamiento de vehículos con ubicaciones de entrega itinerantes, se describe un enrutamiento de vehículos con diferentes ubicaciones, donde se desarrollan heurísticas y modelos matemáticos para la optimización costos, distancias y beneficios medioambientales (Reyes et al., 2017). Para el año 2018 aparece enfoque de crowdsourcing para la entrega sostenible en la última milla, el cual propone un enfoque inteligente sustentable para las entregas en la última milla, tratando de eliminar movimientos innecesarios

cuando se esté entregando la mercancía. Igualmente se utiliza el término “Intelligent Transport Systems” son tecnologías de control y procesamiento de la información para el transporte, optimizando tiempo, consumo de recursos, dinero y mejora en el medio ambiente (Giret et al., 2018).

Para el año 2019 la Logística de Última Milla en Megaciudades, donde se propone un modelo de distribución de frutas en las grandes ciudades, teniendo en cuenta el problema de la movilización en estas ciudades. También se basan en dos modelos, el primero flujo vehicular por Golden en 1984 y ventanas de tiempo por Cordeau en 1999 (Orjuela-Castro et al., 2019), igualmente para este mismo año aparece un término de red neuronal con el enrutamiento de vehículos en línea con optimización combinatoria neuronal y aprendizaje de refuerzo profundo cuyo problema del enrutamiento online a un problema de generación de recorridos en vehículos, también propone una estructura gráfica de la red para desarrollar recorridos de forma iterativa. Propone validar algoritmos por medio de las redes neuronales. Igualmente brinda información de la distribución sostenible por medio de vehículos eléctricos (J. J. Q. Yu et al., 2019).

Para el año 2020, podemos encontrar el valor de la flexibilidad de la distribución física para atender mercados urbanos densos e inciertos, este propone un modelo lineal mixto estocástico, por medio de programación que incorpora medidas de distribución física y que tenga flexibilidad en las capacidades de transporte, Igualmente el modelo respalda un diseño de redes para optimizar el número, tipo y capacidad de las instalaciones de distribución. Describe un estudio de caso realizando un modelo matemático implementado para Coca-Cola Femsa en Bogotá y Cali, donde

tuvieron 3 variables de decision, una demanda determinística, un espacio limitado y una flota vehiculos determinada (Snoeck & Winkenbach, 2020).

Por otra parte y el auge por pandemia del comercio electrónico podemos encontrar la optimización de rutas para distribución de última milla de logística de comercio electrónico rural basada en la optimización de colonias de hormigas, el cual describe un modelo de distribución de mercancía en la última milla para el comercio electrónico, teniendo en cuenta la cadena de transportes, se utiliza la heurística de colonia de hormigas modificando la información de las feromonas con el fin de optimizar costos para la empresa transportadora por medio de las rutas y orientación de los vehiculos (Liu, 2020).

Ya para el año 2021 podemos encontrar modelos para las entregas de última milla en la población rural de China, basándose en un modelo de crowdsourcing, el cual significa realizar las entregas en motocicleta, vehiculos, autobuses y bicicletas, donde se utilizaron algoritmos heurísticos para resolver modelos de redes (Zhang et al., 2021), también encontramos un nuevo sistema de entregas de última milla en las ciudades con vehiculos eléctricos, los cuales, por temas de recorridos en la ciudad, ayudaran a reducir la contaminación atmosférica o ruido. Igualmente propone una formulación de optimización inversa para obtener la verdadera matriz de costos que representa la preferencia de los expertos sobre la red (Chen et al., 2021).

También para este mismo año, encontramos técnicas híbridas y complementarias en la toma de decisiones de última milla, igualmente tienen un enfoque de megaciudades, diversidad sociodemográfica, congestion vehicular, donde proponen modelos de optimización los cuales

buscan incrementar la productividad y disminuir los costos e impactos ambientales (Gutierrez-Franco et al., 2021) y por ultimo las soluciones alternativas para las entregas de última milla, donde se pueden armonizar la eficiencia de red con la sostenibilidad medioambiental, igualmente se evidencia como se podría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; por otro lado describen un algoritmo matemático para determinar las ubicaciones optimas de consolidación urbana, esto permitió una mejora ambiental y ganancias de eficiencia que se obtendrán a través de la consolidación y la capacidad de entregar "la última milla" a través de bicicletas E-cargo (Johnson & Chaniotakis, 2021).

Capítulo 3 Marco Teórico

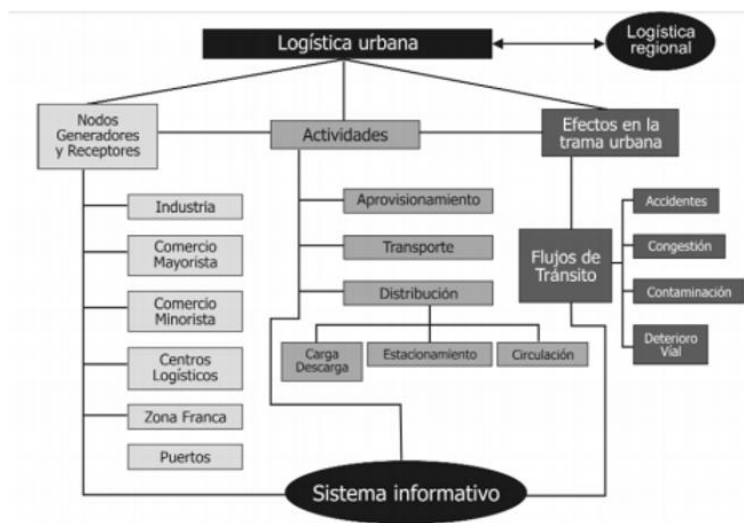
3.1 Concepto general de última milla

Según la asociación de fabricantes y distribuidores de España, se define última milla o distribución capilar como la entrega de productos desde un lugar de origen según la estrategia de cada empresa, al interior de las ciudades para el consumidor final, también llamado B2C (bussiness to consumer) (Lluís Goñalons, 2019). Igualmente, una de las empresas consultoras de servicio profesionales con presencia en varios países Deiloitte, define como distribución urbana o entregas de última milla, como el tramo final que recorre la mercancía hasta llegar a su punto de destino, también la definen como el reparto de mercancía desde el lugar de la empresa o negocio hasta el consumidor final, para este caso se refiere a entregas B2C (bussiness to consumer), pero también se puede hacer la entrega a otras empresas, negocios o puntos de venta y se conoce como entregas B2B (bussiness to bussiness) (*Logística de Última Milla Retos y Soluciones En España*, 2020).

3.2 Modelo logístico para la distribución

Según (Menoyo, 2006); “la logística urbana tiene 3 aspectos importantes, nodos, generadores y receptores”, el cual se refiere a los puntos físicos que tienen las organizaciones o puntos estratégicos donde mueven su operación. El segundo aspecto importante son las actividades que enmarcan las funciones de la cadena de abastecimiento y un tercer aspecto que comprende los efectos en la trama urbana y describe cada una de las restricciones que tiene las ciudades con respecto a la movilidad para vehículos de carga, esto hace una creciente competencia por el uso de infraestructura urbana (Kairuz, 2014).

Figura 2. Esquema Estructura general de la Logística Urbana



Fuente: (Menoyo, 2006)

Además, las ciudades cuentan con un número elevado de nodos dentro de una red logística, que hace adoptar un tratamiento diferente entre las empresas para abordar algunos principios logísticos de gran complejidad en la distribución urbana, caso contrario pasa en una logística regional, que se pueden adoptar varios modelos logísticos, teniendo un menor impacto dentro de la red regional y hacer varias actividades en conjunto para un mejor desarrollo de la distribución, adoptando tareas industriales, comerciales y de servicios (Kairuz, 2014).

Igualmente con el crecimiento de la población a nivel mundial y especialmente en las grandes ciudades (V. F. Yu et al., 2020), las compañías tendrán que adoptar nuevas maneras de hacer la distribución en las ciudades, es por ello que se habla de una logística escalonada (Ramírez-villamil & Montoya-torres, 2020), este modelo trata de tener plataformas satélites dentro de las grandes ciudades, las empresas cuentan con grandes centros de distribución hacia las afueras de la ciudad,

donde envían un vehículo tipo tractomula a una plataforma satélite y desde este se realiza la distribución para las diferentes zonas de la ciudad.

Ya varios autores opinan que las grandes empresas deben tener satélites urbanos (Alfieri et al., 2019), donde se puede hacer operaciones de descargar mercancía de vehículos grandes y después ser cargada en otros modelos de transportes, como vehículos particulares, motos o bicicletas (Zhang et al., 2021), garantizando la disponibilidad de productos en plazos muy cortos de entrega; estos satélites por la general son proveedores que tienen plataformas adecuadas para prestar el servicio de una distribución urbana.

3.3 Impactos de la logística de última milla

Sin duda uno de los principales retos de los empresarios y de la sociedad, que viven y operan dentro de las grandes ciudades, es tratar de disminuir el impacto que tiene su logística de distribución en los siguientes aspectos:

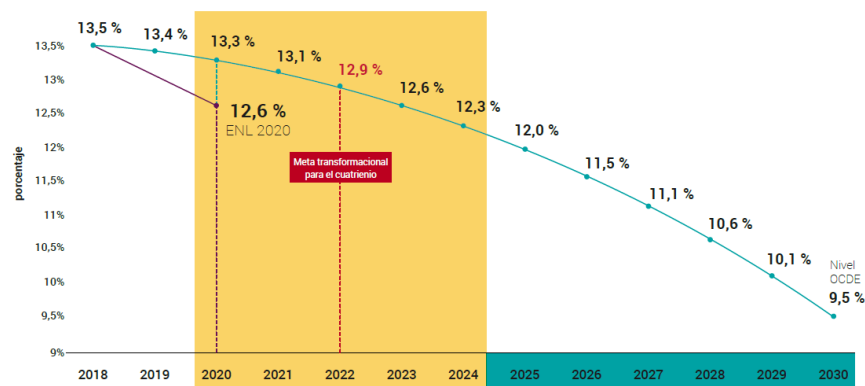
➤ **Sostenibilidad medioambiental:** Según el estudio de Deloitte el 25% de las emisiones totales de gases contaminantes, proceden del transporte de mercancía, dando así el empeoramiento del aire, donde el 80% de las personas pueden comprometer su salud, lo que provoca la mortalidad que puede ser 20 veces superior a las víctimas en un accidente de tráfico (*Logística de Última Milla Retos y Soluciones En España*, 2020).

➤ **Congestión urbana:** Según el estudio de Deloitte, el 20% del tráfico en las grandes ciudades, son generados por los vehículos de carga de mercancías, es decir un transportador entregando mercancías con una conducción de 10 horas, puede durar 2 horas en tráfico (*Logística de Última Milla Retos y Soluciones En España*, 2020), esto debido al incremento per cápita de

transporte de mercancía, debido a una concentración poblacional de las áreas urbanas. Se describe como ejemplo el incremento a nivel mundial el negocio del e-commerce, lo cual implicaría el reparto de miles de paquetes diarios en zonas urbanas (Muñoz & Barrera, 2020).

➤ **La eficiencia logística y los costos asociados:** Según estudio de Deloitte, es llevar a la compañía a tener una mayor rentabilidad, llevando a las empresas de transportes a niveles marginales, haciendo más eficientes en sus modelos de distribución (*Logística de Última Milla Retos y Soluciones En España*, 2020). Por otro podemos validar que El Departamento nacional de planeación y la encuesta nacional de logística, desde el año 2008 realizan una encuesta cada 2 años, donde su objetivo general es tener información del desempeño logístico a nivel Colombia, igualmente el instrumento recopila 5 módulos de análisis, los cuales son: Desempeño Logístico, Logística nacional, prospectiva en logística, comercio exterior y tercerización en logística, la última versión de esta encuesta se llevó a cabo en el año 2020, con la participación de 3.383 encuestas en 14 regiones logísticas (Gaviria, 2020); a continuación compartimos cifras que nos sirven para nuestro trabajo de investigación:

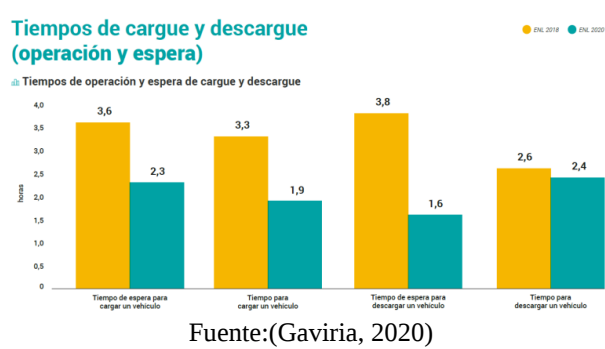
Figura 3. Costo logístico a nivel país



Fuente: (Gaviria, 2020)

Como observamos en la figura 14, en el año 2020 se tuvo un costo logístico del 13.3% sobre las ventas y se estima que durante el año 2022 este sobre 12.9%, y para el año 2030 se estima que este sobre 9.5%, principalmente por los costos de transportes. También como se muestra en la figura 15 se observa un comparativo de la evolución del año 2018 al 2020 con respecto a los tiempos de ejecución en cargues y descargue de vehiculos.

Figura 4. Tiempos de operación y espera de cargue y descargue



Igualmente, esta encuesta mide la calidad de logística y el indicador más relevante de pedido perfecto, como se muestra en la figura 16, según encuesta del 2020 el indicador general se encuentra en el 74.6% y cuenta con 4 subindicadores como: Pedidos sin daños, Pedidos completos en cantidad, pedidos a tiempo y entregas con documentación perfecta.

Figura 5. Pedido perfecto



➤ Destinatario y/o Consumidor: Con el aumento del mercado y la gran demanda de productos y servicios, los clientes son más estrictos con el cumplimiento y seguimiento a la entrega de mercancías, generando así una gran competencia entre compañías, mejorando el nivel de servicio de entrega (Reyes et al., 2017); esto ha causado una gran exigencia en la logística al momento de realizar los repartos en la última milla, buscando entregar la mercancía en el tiempo de la oferta de entrega (beetrack, 2019). Igualmente en los últimos años se han presentado una serie de exigencias en las actividades de entrega de última milla, las cuales se destacan: incremento en volúmenes de mercancías transportadas, por el crecimiento del e-commerce; aumento en los niveles de servicio (envíos urgentes, flexibilidad en las entregas, seguimientos y trazabilidad) y por último el consumidor está dispuesto a pagar menos o nada por los servicios ofrecidos de entregas de última milla (*Logística de Última Milla Retos y Soluciones En España*, 2020).

3.4 Soluciones actuales en la última milla

Según estudio realizado por de Deloitte y artículo de Miebach la distribución urbana de mercancías propone nuevos modelos y soluciones en las entregas de última milla, los cuales tenemos:

✓ Vehículos Eléctricos: Cambio del modelo para movilizar mercancías en vehículos eléctricos, el cual puede ayudar a disminuir la contaminación ambiental (Bedaux & Schreppers, 2018), dado según acuerdo de París por el cambio climático, al reducir emisiones de efecto invernadero, ya que según estudios el transporte de mercancías emite el 10% de emisiones de CO₂ a nivel global (*Logística de Última Milla Retos y Soluciones En España*, 2020).

✓ Almacenes urbanos: Con el fin de estar lo más cerca del cliente (Bedaux & Schreppers, 2018), igualmente cambiar el modelo logístico con el fin de realizar operaciones de cross docking en pocos vehículos de gran tamaño, para realizar las entregas urbanas en vehículos más eficientes y de menor tamaño (vehículos eléctricos, motocicletas, bicicletas, etc.), agilizando procesos de suministro y satisfaciendo altos niveles de servicio (*Logística de Última Milla Retos y Soluciones En España*, 2020).

✓ Zonas de cargue y descargue: Establecer zonas para realizar las operaciones de cargue y descargue, esto con el fin de evitar congestión vehicular, el modelo propone digitalizar las zonas por medio de georreferenciación y una plataforma de interés del sector transportes (*Logística de Última Milla Retos y Soluciones En España*, 2020).

✓ Distribución nocturna: Se basa en realizar las entregas de mercancía en horarios nocturnos con el fin de aprovechar la disminución de tráfico y su costo asociado, este modelo mejora los niveles ambientales, congestión vehicular y eficiencia logística (*Logística de Última Milla Retos y Soluciones En España*, 2020).

3.5 Problema de ruteo de vehículos

El problema de ruteo de vehículo, más conocido como VRP, cuyo objetivo principal es determinar una serie de rutas optimas que realiza uno o varios vehículos, desde un punto de origen a uno o varios puntos de destino, igualmente es la optimización más frecuente en las operaciones logísticas, buscando así la cantidad de vehículos necesarios para entregar productos, midiendo capacidades, tiempos de desplazamiento y varias restricciones existentes en las operaciones de reparto o distribución (Echeverria & C, n.d.).

Tabla 1. Algunas Variaciones del VRP

CVRP	Problema de ruteo con restricciones de capacidad
MDVRP	Problema de ruteo considerando múltiples depósitos y restricciones de capacidad
CLRP	Problema de localización y ruteo considerando restricciones de capacidad
OVRP	Problema de ruteo sin retorno al deposito
MDOVRP	Problema de ruteo considerando múltiples depósitos sin retorno al deposito
OLRP	Problema de localización y ruteo sin retorno al deposito
VRPPC	Problema de ruteo con flota propia y subcontratada
MDVRPPC	Problema Multi-deposito con flota propia y flota subcontratada
CLRPPC	Problema de localización y ruteo con flota propia y subcontratada

Fuente: (Ocampo, 2016)

Igualmente, el VRP tiene varios métodos de solución, los más frecuentes son: Los métodos exactos, los cuales son modelos de programación lineal y llegan a una solución posible entera. También tenemos las heurísticas que tienen una exploración limitada, con soluciones de buena calidad, por otro lado tenemos las Meta-heurísticas cuyo modelo son más avanzados para encontrar soluciones de óptima calidad y por último tenemos Algoritmos híbridos que es la mezcla de varias heurísticas y meta-heurísticas, con el fin de encontrar la mejor solución posible de varios escenarios (Muñoz & Barrera, 2020).

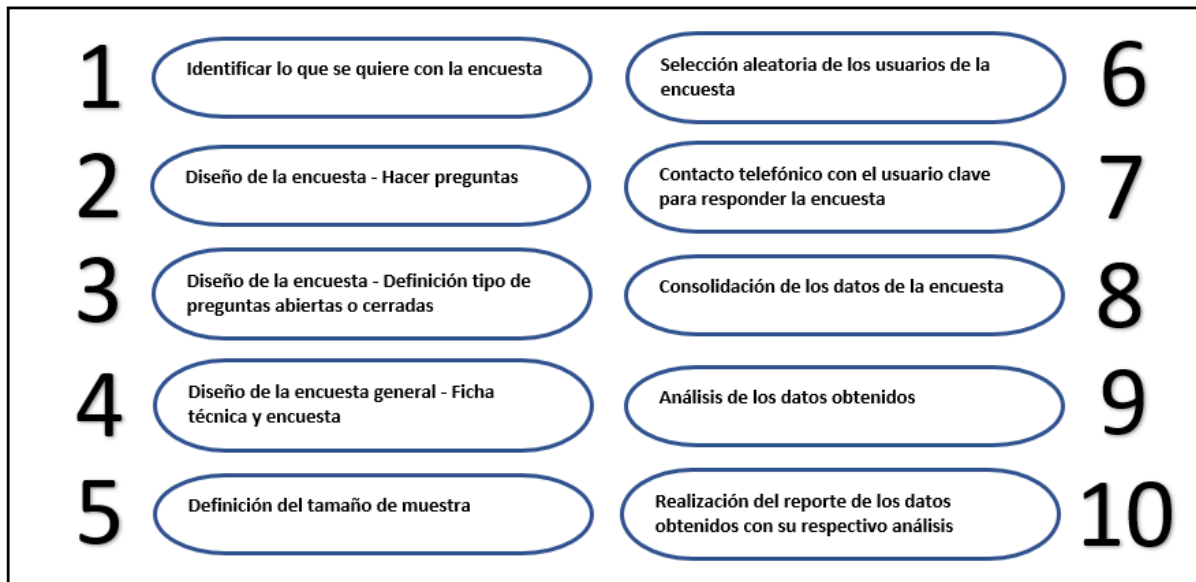
Capítulo 4 Desarrollo de la Metodología/Materiales y Métodos/Desarrollo Experimental

4.1 Diseño Metodológico

Se realiza un estudio de caso a las entregas de mercancía de una empresa del sector de la construcción, que origina productos cerámicos. Esta compañía tiene presencia en Colombia, Centro América y México. Igualmente cuenta con más de 10 mil empleados y unas ventas anuales cercanas a los 6 billones de pesos. Por otra parte, la investigación se centrará en los procesos de distribución en la logística urbana de Bogotá y zona metropolitana. Por otro lado, este estudio de caso explora un sistema limitado y una recopilación de datos detallada, donde se tomaron los datos históricos de los despachos y entregas realizadas durante el último año.

También se llevará a cabo un muestro probabilístico, donde la muestra serán los clientes ubicados en las diferentes zonas de Bogotá y zona metropolitana, igualmente se validarán los vehículos que han cargado para estos clientes. Se tendrán en cuenta documentos, materiales y artefactos diversos como bases de datos de clientes, direcciones de clientes, bases de despachos e información satelital de los vehículos. También se tomará como técnica la realización de encuesta a los clientes para percibir el servicio de la entrega de mercancía en la última milla. Por otra parte, para el procesamiento de datos, se utilizarán herramientas como EXCEL y MINITAB.

Figura 6. Pasos de la realización de la encuesta



Fuente: Elaboración propia

El cálculo de la muestra se toma de manera probabilística, ya que todos los clientes de la población tienen la misma probabilidad de ser seleccionados, para determinar el tamaño de la muestra se calcula por medio de la siguiente formula.

Figura 7. Tamaño de la muestra

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Fuente: Universidad militar catedra investigación

N = Tamaño de la población de 84

Z_{α} = Nivel de confianza, de 1,96 para un 95% de confianza

p = Proporción esperada (en este caso 5% = 0,5

$q = 1 - p$ (en este caso $1 - 0.05 = 0.95$)

e = Precisión (para este caso es del 10% = 0.10)

Tabla 2. Ficha técnica de la encuesta

Ficha técnica de la encuesta	
Nombre de la encuesta	Satisfacción de las entregas de mercancía.
Objetivo	Identificar posibles variables de mejora con respecto a la entrega de mercancía de la última milla en la ciudad de Bogotá y zona metropolitana.
Persona que realiza la encuesta	Mauricio Gonzalez Alvarado
Fecha de realización de la encuesta	Del 1 al 20 de febrero de 2022
Ciudad donde se realiza	Bogota y zona de metropolitana
Población	Clientes de la organización ubicados en Bogota y zona metropolitana.
Muestreo	No probabilístico, donde la muestra serán los clientes ubicados en las diferentes zonas de Bogotá y zona metropolitana
Tamaño de la muestra	16 clientes
Técnica de realización de la encuesta	Llamada telefónica
Nivel de confianza	95%
Preguntas de la encuesta	1. Con que frecuencia semanal recibe productos cerámicos en su punto de venta o bodegas. 2. En que franja de horario prefiere recibir productos cerámicos en su punto de venta o bodegas. 3. Midiendo la capacidad de recibo en cada una de las entregas, aproximadamente que cantidad de mercancía recibe en cada entrega. (Datos en Kilogramos) 4. Con respecto a la oferta logística o tiempos de entrega de mercancía, como califica el cumplimiento de las entregas. 5. ¿Una vez que puede observar que su mercancía fue despachada y facturada, cuantos días transcurrió para recibir la mercancía? 6. Una vez que puede observar que su mercancía fue despachada y facturada, y usted no la ha recibido en los tiempos acordados de la oferta logística, ¿algún colaborador de compañía le informa del retraso de la entrega? 7. Con respecto a las entregas de mercancía, que tiempo promedio considera usted que transcurre recibiendo la mercancía. 8. Con respecto a la mercancía recibida, con qué frecuencia tiene novedades con el producto en temas de roturas, faltantes y trocados. 9. Como califica usted la atención del transportador al momento de entregar la mercancía. 10. ¿Qué recomendación realizaría a la empresa para mejorar el servicio?

Fuente: Elaboración propia

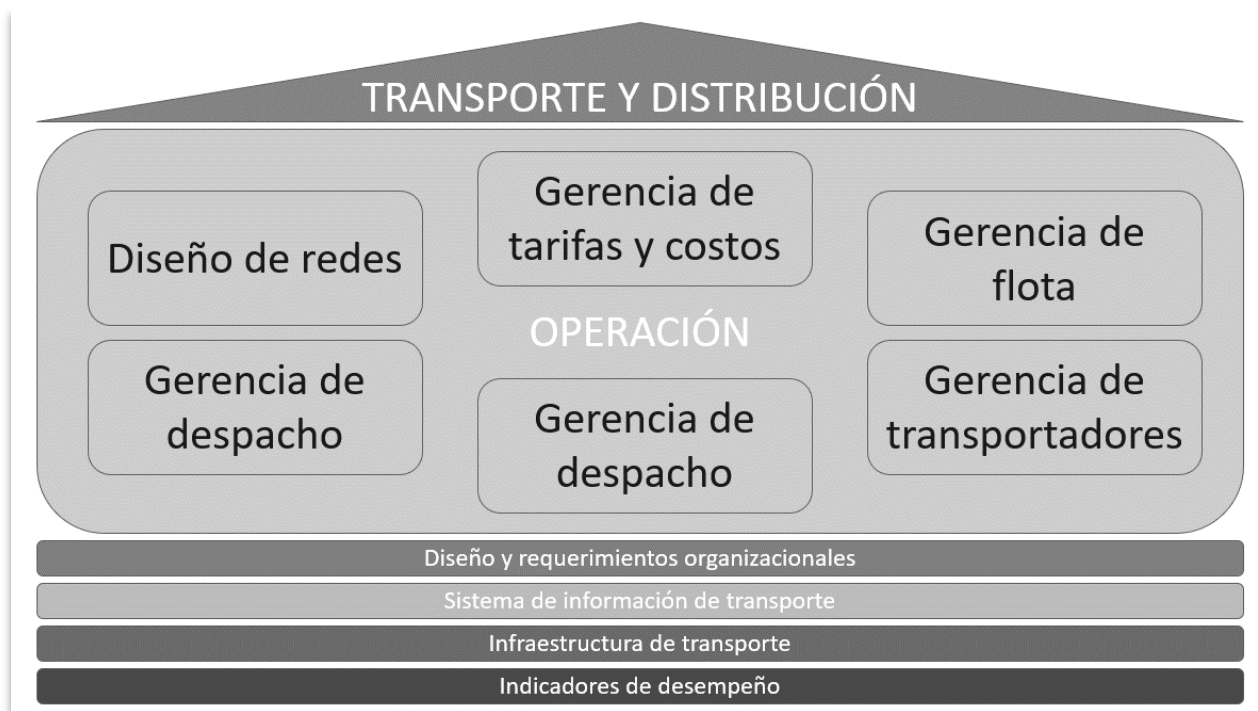
4.1.1 Tipo o nivel de investigación

Es de tipo explicativa y tiene como objetivo explicar los fenómenos ocurridos en la entrega de mercancía en la última milla y posibles causas de incumplimiento.

Capítulo 5 Resultados y Análisis

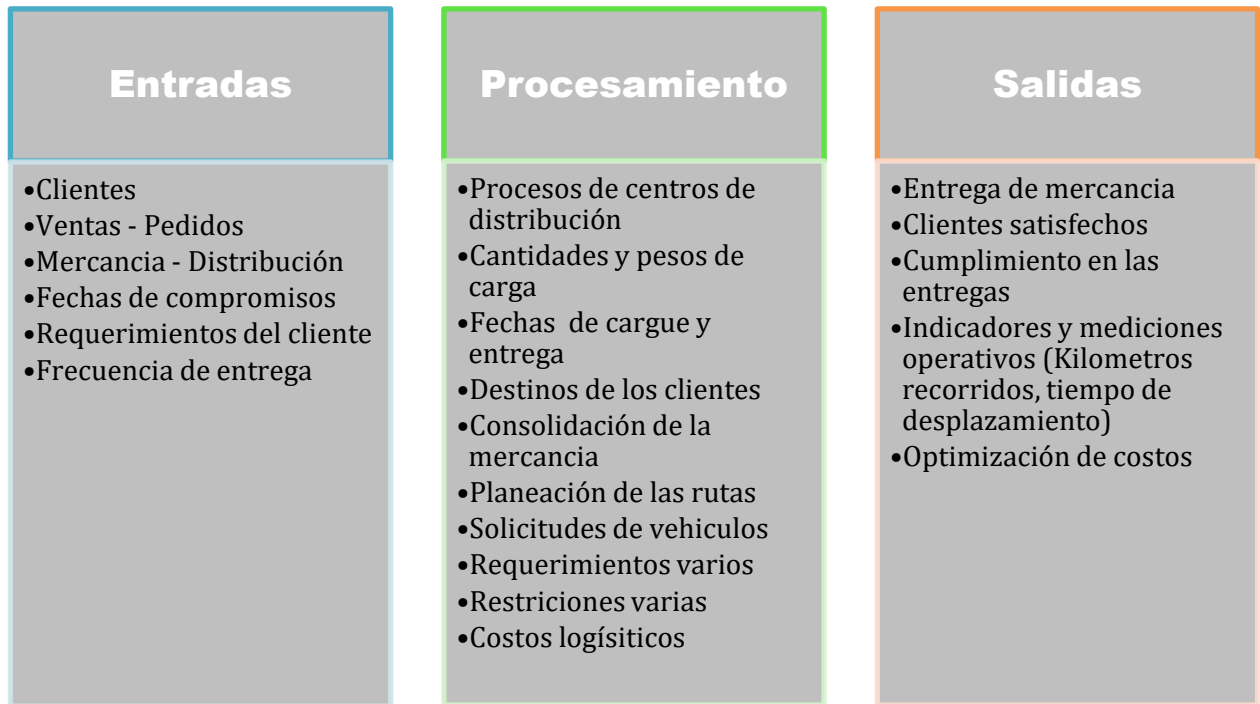
Este capítulo presentara un análisis a nuestra pregunta de investigación y desarrollo de cada uno de los objetivos propuestos al inicio de este trabajo, igualmente abundaremos en el problema de ruteo de vehiculos, ya que es de suma importancia para los resultados del mismo, en la figura 6 presentamos una estructura general de transporte y distribución en una organización y es de este proceso que depende el ruteo y la optimización logística, en la figura 7, presentamos una estructura con información que se debe considerar al momento de diseñar un modelo de ruteo, este fue diseñado como un proceso sistémico, cuya información de entrada, procesamiento y salida es necesaria para el diseño de un modelo.

Figura 8. Estructura general transporte y distribución



Fuente: Ing. Pedro Sanchez

Figura 9. Proceso sistémico de ruteo



Fuente: Propia

5.1 Revisión literaria de tendencias actuales de entregas de última milla

Cuando hablamos de entrega de mercancía en la última milla, podemos acercarnos a los problemas de generación de rutas (VRP) y las decisiones que se deben tomar como: asignación de clientes a los vehiculos y la secuencia de los clientes asignados. El VRP como campo de estudio y práctica se define de manera bastante amplia. Se considera que abarca todos los aspectos gerenciales, consideraciones físicas, geográficas e informativas, así como las disciplinas teóricas y abarca varias disciplinas académicas y profesionales que van desde el diseño de algoritmos hasta la gestión del tráfico (Eksioglu et al., 2009).

Durante el año 1959 Dantzig & Ramser fueron los primeros en introducir un modelo para el despacho de camiones de gasolina que tuvieran que visitar varias estaciones de servicio desde un origen, haciendo el menor recorrido posible, a este modelo se le llamo el problema de despacho de camiones (TDP), años más tarde en 1964 Clarke y Wright introducen un problema de optimización lineal cuyo objetivo es atender una serie de clientes, con diferentes camiones y diferentes capacidades desde un punto de origen central, este problema fue llamado problema de enrutamiento de vehículos “Vehicle Routing Problem”(VRP) (Braekers et al., 2016)

Hacia la década de los 70 y 80 las investigaciones fueron mínimas acerca del tema, esto por dificultades computacionales y la falta de microcomputadoras, dentro de las investigaciones de la época tenemos:

Tabla 3. Variantes del VPR antes del año 2000

Año	Modelo	Autor
1970	Ruteo de vehículos de servicio público	Marcas y Stricker
1970	Diseño de redes de transporte	O'Connor & De Wald
1970	Recolección de residuos sólidos	Liebmann
1971	Gestión de la distribución	Eilon, Watson-Gandy y Christofides,
1971	Enrutamiento de flota	Levin
1971	Marcar un sistema de bus	Wilson y Sussman
1972	Ruteo de vehiculos	Golden, Magnanti y Nguyan
1983	Restricciones de ventana de tiempo al VRP clásico	Salomon

Fuente: (Eksioglu et al., 2009)

Durante de la década de los 90 se facilitó a un más las investigación de estos modelos de VRP, debido a la disponibilidad de macrocomputadoras, los investigadores podían desarrollar

algoritmos más complejos, igualmente para durante este época se introdujo el termino meta-heurística cuyo objetivo era nombrar una serie algoritmos para resolver problemas de enrutamiento de vehiculos, así como otros problemas de optimización, según M Gendreau en el año 1998 realizo estudios basados en meta-heurísticas en problemas VRP tales como: Recocido simulado, recocido determinista, búsqueda tabú, algoritmos genéticos, sistemas de hormigas y redes neuronales (Osman & Laporte, 1996).

Con el gran aporte de la década de las 90 y hacia el año 2009 la literatura de este tema ha crecido según (Eksioglu et al., 2009) en un 6% por año, donde es muy difícil de realizar seguimiento de los desarrollos alcanzados durante estas dos últimas décadas y tener claras las variantes o métodos de los VRP, a continuación presentaremos las más conocidas durante los últimos años:

Tabla 4. Variantes del VRP después del año 2000

Año	Variante	Autor
2005	VRP con ventanas de tiempo	Bräysy & Gendreau,
2007	Problemas de recogida y entrega	Berbeglia, Cordeau, Gribkovskaia y Laporte,
2009	VRP capacitado	Laporte,
2012	Enrutamiento con entregas divididas	Archetti & Speranza
2012	Aspectos de sincronización en el enrutamiento de vehículos	Drexl
2013	VRP dinámicos	Pillac, Gendreau, Guéret, & Medaglia, 2013
2014	VRP periódicos	Campbell & Wilson
2015	Enrutamiento de vehículos ecológicos	C. Lin, Choy, Ho, Chung, & Lam,
2015	Enrutamiento de vehículos con múltiples depósitos	Montoya-Torres, Lopez France, Nieto Isaza, Felizzola Jimenez y Herazo-Padilla

Fuente: (Braekers et al., 2016)

5.1.1 Taxonomía del problema de ruteo de vehiculos

Cuando hablamos de taxonomía del VRP, nos acercamos a las características que se deben tener en cuenta para realizar un modelos de ruteo de vehiculos, en la propuesta de Eksioglu et al. (2009), se distingue cinco caracterizas principales como: 1. Tipo de estudio, 2. Características del escenario, 3. Características físicas del problema, 4. Características de la información y 5. Características de los datos, esta caracterización presenta sus categorías y subcategorías, revisando la literatura esta es la taxonomía más citada en varios documentos de investigación del VRP (Eksioglu et al., 2009) (Braekers et al., 2016).

Tabla 5. La taxonomía propuesta (adaptado de Eksioglu et al. (2009)

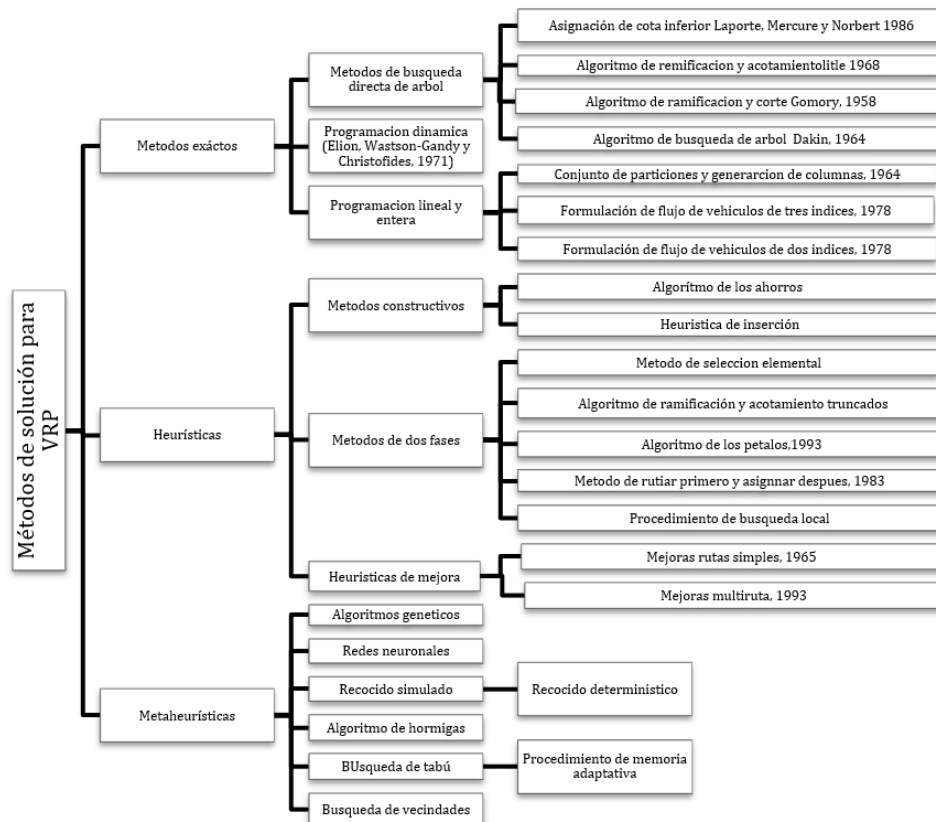
1. Tipo de estudio.	2.8.2 Nodos separados entrega y recogida.	3.10 Tiempo de viaje
1.1 Teoría	2.9 Condición de cubrimiento Nodos/Arcos	3.10.1 Determinístico.
1.2 Métodos aplicados	2.9.1 Precedencia y restricciones acopladas.	3.10.2 Función dependiente del tiempo
1.2.1. Métodos Exactos	2.9.2 Cubrimiento de subconjuntos	3.10.3 Estocástico
1.2.2 Heurísticas y Metaheurísticas	2.9.3 Redireccionamiento permitido	3.10.4 Desconocido
1.2.3 Matheurísticas	2.10 Efectos ambientales	3.11 Costos de transporte
1.2.4 Simulación	2.10.1 Función Mono-objetivo penalizada	3.11.1 Con base al tiempo de viaje
1.2.4 Métodos de solución en Tiempo real	2.10.2 Frentes multi-objetivo eco-eficientes	3.11.2 Basado en la distancia
1.3 Resumen o meta-búsqueda	3. Características físicas del problema	3.11.3 Dependiendo del vehículo ⁴
2. Características del Escenario	3.1 Diseño de la red de transporte	3.11.4 Basado en la operación
2.1 número de paradas en la ruta	3.1.1 Red dirigida	3.11.5 Función de tardanza
2.1.1 Determinístico	3.1.2 Red bidireccional	3.11.6 Implica riesgos
2.1.2 Parcialmente conocida-probabilística	3.2 Localización de los clientes	3.11.7 Emisiones ambientales
2.2 Restricción de partición de la carga	3.2.1 Clientes sobre los nodos	3.11.8 Costos de mantenimiento
2.2.1 Partición permitida	3.2.2 Ruteo de arcos	3.12 Elementos a transportar
2.2.2 Partición no permitida	3.3 Localización geográfica-Clientes	3.12.1 Personas
2.3 Cantidad demandada por el cliente	3.3.1 Urbana dispersa mediante un patrón	3.12.2 mercancías
2.3.1 Determinístico	3.3.2 Rural (aleatoriamente dispersa)	3.12.3 Personal para prestar servicios
2.3.2 Estocástico	3.3.3 Mixto	4. Características de la información
2.3.3 Desconocido ¹	3.4 número de puntos Carga/Descarga	4.1 Evolución de la información
2.4 Tiempos de los nuevos clientes	3.4.1 Único depósito	4.1.1 estático
2.4.1 Determinísticos	3.4.2 múltiples depósitos	4.1.2 Parcialmente dinámico
2.4.2 Estocásticos	3.6 Tipo de ventanas de tiempo	4.2 Calidad de la información
2.4.3 Desconocido	3.6.1 Sobre los clientes	4.2.1 Conocida (Determinística)
2.5 Sitio del servicio/ tiempo de espera	3.6.2 Sobre las vías	4.2.2 Estocástica
2.5.1 Determinístico	3.6.3 Sobre los depósitos	4.2.3 Pronosticada
2.5.2 Dependiente del tiempo	3.6.4 Sobre los conductores	4.2.4 Desconocida (Tiempo-real)
2.5.3 Congestión vehicular	3.7 número de vehículos	4.3 Disponibilidad de la información
2.5.4 Estocástico	3.7.1 único	4.3.1 Local
2.5.5 Desconocido	3.7.2 Exactamente (n) vehículos	4.3.2 Global
2.6 Estructura de la ventana de tiempo	3.7.3 Flota ilimitada	4.4 Procesamiento de la información
2.6.1 Ventana de tiempo suave	3.8 Restricciones de capacidad	4.4.1 Centralizada
2.6.2 Ventana de tiempo estricta	3.8.1 vehículos capacitados	4.4.2 Descentralizada
2.6.3 Mixta o ambas	3.8.2 vehículos de capacidad ilimitada	5. Características de los datos
2.7 Horizonte de tiempo	3.9 Homogeneidad de los vehículos	5.1 Datos usados
2.7.1 único periodo	3.9.1 vehículos similares	5.1.1 Datos reales
2.7.2 Periodo múltiple	3.9.2 vehículos de carga específica ²	5.1.2 Datos artificiales
2.8 Backhauls	3.9.3 vehículos heterogéneos.	5.1.3 Ambos reales y artificiales
2.8.1 Entrega y recogida simultánea.	3.9.4 Adaptación al cliente ³	5.2 No se usan datos

Fuente: (Braekers et al., 2016)

5.1.2 Métodos de solución del VRP

El problema de ruteo de vehículos a generado un gran interés por parte de los investigadores que han desarrollado diferentes métodos de solución, según Medina et al., (2011), se pueden clasificar en métodos exactos, heurísticas y metaheurísticas, igualmente esta es la base para seguir construyendo una taxonomía más amplia de clasificación (Medina et al., 2011).

Figura 10. Taxonomía de los métodos de solución del VRP



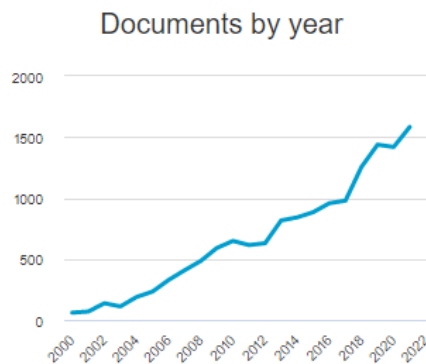
Fuente: Medina al., 2011

5.1.3 Estadísticas de las bases de datos sobre el problema de ruteo de vehiculos

Actualmente por medio de las bases de datos virtuales se pueden validar de manera general todos y cada uno de los documentos escritos por los investigadores a través del tiempo, estos documentos sirven como base de referencia para realizar nuevos escritos como artículos científicos, trabajos de grado, revistas etc., es por ello que se realiza una estadísticas a partir del año 2000 hasta el mes de Diciembre de 2021, en una de las bases de datos más consultada a nivel mundial (Scopus), sobre el problema de ruteo de vehiculos, la cual cubre 14.667 títulos con más de 150 autores a nivel mundial.

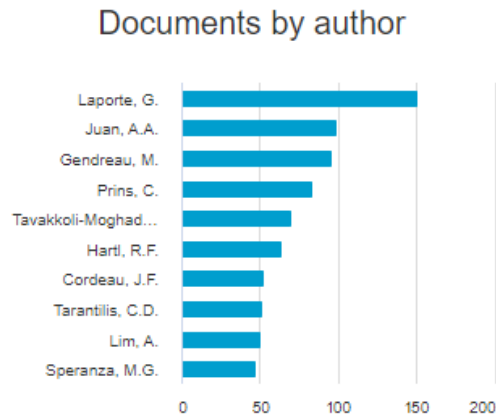
Como se observa en la figura 8, las investigaciones sobre el ruteo de vehiculos en las últimas dos décadas ha sido de manera exponencial, llegando a tener para el año 2021, 1.564 documentos que tratan el tema del VRP, en la figura 9 se observa el top 10 de los autores que más investigan sobre el tema, en primer lugar tenemos a Gilbert Laporte con 150 documentos, Laporte es profesor en investigación de la universidad de HEC de Montreal y tiene a cargo la catedra en investigación de Canadá en la gestión de la distribución.

Figura 11. Documentos por año sobre el problema de ruteo de vehiculos



Fuente: Bases de datos Scopus., 06/03/2022

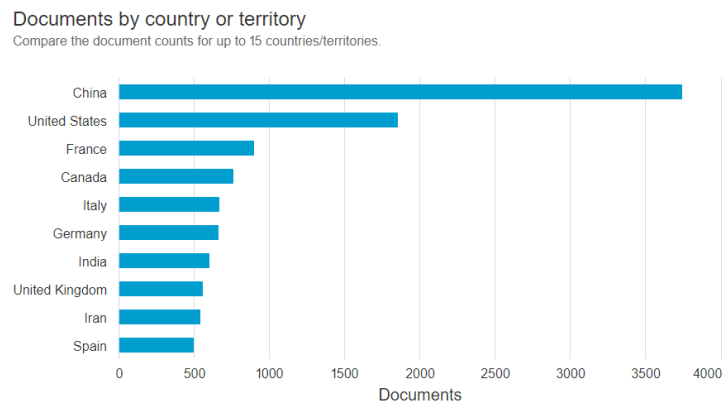
Figura 12. Documentos por autor sobre el problema de ruteo de vehiculos



Fuente: Bases de datos Scopus., 06/03/2022

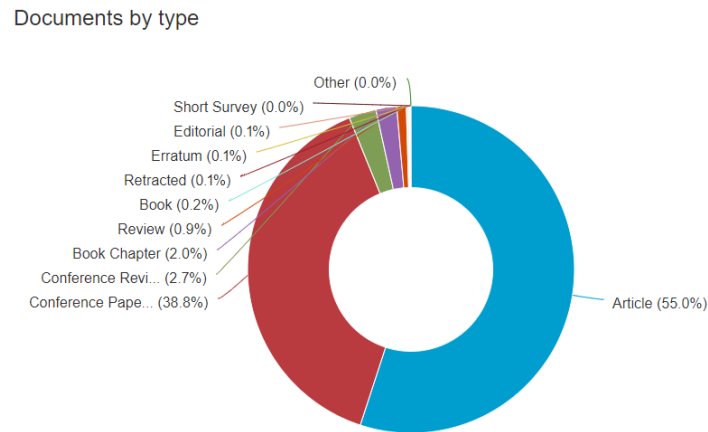
Igualmente, para la figura 10, muestra el país de origen que más escribe en temas de investigación sobre el problema de ruteo de vehiculos, en primer lugar, tenemos a China con 3.742 documentos y estados unidos con 1.853 documentos; para la figura 9 se puede validar la participación por tipo de documento, los cuales están los artículos con un 55% y los documentos de conferencia con un 38.8%.

Figura 13. Documentos por país de origen para el problema de ruteo de vehiculos



Fuente: Bases de datos Scopus., 06/03/2022

Figura 14. Documento por tipo para el problema de ruteo de vehiculos



Fuente: Bases de datos Scopus., 06/03/2022

5.1.4 Actualidad en la última milla

Realizando una estadística por medio de la base de datos Scopus, se obtuvo como resultado que en los últimos 5 años se han publicado 1.088 documentos de entregas en la última milla, de los cuales 350 se ha publicado en el año 2021 y un incremento del 30% comparando con el año 2020, igualmente se puede indicar que los Estados Unidos es el país que más publicaciones tiene sobre el tema, seguido de China y en un tercer lugar Italia. Igualmente tenemos los autores más reconocidos como Matthias Winkenbach, quien es el director del MIT Megaciudades logísticas e investigador asociado en el MIT Centro para el transportes y logística y en un segundo lugar tenemos a Allen Julian quien es investigador de la universidad de Westminster en Londres Reino Unido.

Entrando en más detalle se validaron 50 artículos relacionados con las entregas de última milla durante los últimos 5 años, esta labor se realizó durante el segundo semestre del año 2021, donde se encontraron diferentes modelos, ponencias, objetivos, intenciones etc., dando como resultado un top 10, en relación con el objetivo de este trabajo.

Ítem.	Año	Titulo	Objetivo del articulo	Palabras claves
1	2021	Investigación sobre la entrega en la última milla de la logística rural en el marco del transporte colaborativo en China.	Se describe un modelo para las entregas de última milla en la población rural de China, basándose en un modelo de crowdsourcing, el cual significa realizar las entregas en motocicleta, vehículos, autobuses y bicicletas. Igualmente para el desarrollo del modelo se utilizaron algoritmos heurísticos para resolver modelos de redes (Zhang et al., 2021)	Crowdsourcing, última milla rural o entre pueblos cercanos, ventanas de tiempo, capacidad de los modos, Transporte particular y costos en la logística de última milla. voluntad de entrega de los transportistas particulares.
2	2019	Logística de Última Milla en Megaciudades para Frutas Perecederas	Este articulo propone un modelo de distribución de frutas en las grandes ciudades, teniendo en cuenta el problema de la movilización en estas ciudades. También se basan en dos modelos, el primero flujo vehicular por Golden et al.(1984) y ventanas de tiempo por Cordeau et al. (1999) (Orjuela-Castro et al., 2019)	Movilidad de megaciudades, cantidad de vehículos, congestion y la afectación de la velocidad, Enrutamiento de vehículos por medio de un modelo, VRP ruteo de vehículos y nodos de distribución.
3	2021	Un enfoque de optimización inversa para un problema de enrutamiento de vehículos capacitados	Trata de implementar un nuevo sistema de entregas de última milla en las ciudades con vehículos eléctricos, los cuales, por temas de recorridos en la ciudad, ayudaran a reducir la contaminación atmosférica o ruido. Igualmente propone una formulación de optimización inversa para obtener la verdadera matriz de costos que representa la preferencia de los expertos sobre la red (Chen et al., 2021)	Entregas rápidas para mejorar los niveles de servicio, Comercio electrónico, Generación de rutas optimas, ruta más corta o el tiempo mínimo, Matriz de costos adecuado para un modelo de optimización, comportamiento de toma de decisiones de los expertos.
4	2018	Un enfoque de crowdsourcing para la entrega sostenible en la última milla	Propone un enfoque inteligente sustentable para las entregas en la última milla, tratando de eliminar movimientos innecesarios cuando se esté entregando lo mercancía. Igualmente se utiliza el término "Intelligent Transport Systems" son tecnologías de control y procesamiento de la información, Optimizando tiempo, consumo de recursos, dinero y mejora en el medio ambiente. Problema de la planificación del transporte para la entrega de paquetes al destino final y geolocalización de toda la red de distribución,	"Intelligent Transport Systems" son tecnologías de control y procesamiento de la información, Optimizando tiempo, consumo de recursos, dinero y mejora en el medio ambiente. Problema de la planificación del transporte para la entrega de paquetes al destino final y geolocalización de toda la red de distribución,

5	2017	Enrutamiento de vehículos con ubicaciones de entrega itinerantes. Investigación de Transporte Parte C	Se describe un enrutamiento de vehículos con diferentes ubicaciones, se desarrollan heurísticas y modelos matemáticos para la optimización costos, distancias y beneficios medioambientales (Reyes et al., 2017).	Ubicación de las entregas, Entregas perdidas, Clientes dispersos geográficamente, Horarios de recibo, Capacidad de carga en los vehículos y holguras de tiempo de entrega.
6	2019	Enrutamiento de vehículos en línea con optimización combinatoria neuronal y aprendizaje de refuerzo profundo.	Describe la optimización combinatoria neuronal basada en el aprendizaje por refuerzo profundo, la cual se transformará el problema del enrutamiento online a un problema de generación de recorridos en vehículos, también propone una estructura grafica la red para desarrollar recorridos de forma iterativa. Propone validar algoritmos por medio de las redes neuronales. Igualmente brinda información de la distribución sostenible por medio de vehículos eléctricos (J. J. Q. Yu et al., 2019)	Modelo de redes neuronales, ITS (Sistema inteligente de transporte), implementación de vehículos eléctricos en las entregas, Entregas a domicilio, Green logistic systems, Problema de enrutamiento y optimización combinatoria.
7	2020	El valor de la flexibilidad de la distribución física para atender mercados urbanos densos e inciertos.	Propone un modelo lineal mixto estocástico, por medio de programación que incorpora medidas de distribución física y que tenga flexibilidad en las capacidades de transporte, Igualmente modelo respalda un diseño de redes para la optimizar el número, tipo y capacidad de las instalaciones de distribución. Describe un estudio de caso realizando un modelo matemático implementado para Coca-Cola femsa en bogota y Cali, donde tuvieron 3 variables de decision, una demanda determinística, un espacio limitado y una flota vehículos determinada (Snoeck & Winkenbach, 2020).	Comercio minorista, Diseño de redes, Componentes de transporte de la red, Estructura de la flota de vehículos, Transbordo a través de instalaciones satelitales, Limitaciones geográficas específicas y las distribuciones de demanda.
8	2020	Optimización de rutas para distribución de última milla de logística de comercio electrónico rural basada en la optimización de colonias de hormigas.	Se describe un modelo de distribución de mercancía en la última milla para el comercio electrónico, teniendo en cuenta la cadena de transportes, se utiliza la heurística de colonia de hormigas modificando la información de las feromonas con el fin de optimizar costos para la empresa transportadora por medio de las rutas y orientación de los vehículos (Liu, 2020)	Compra en línea y recoger en tienda, Entregas en casilleros, Optimización de la ruta de distribución de última milla, Enrutamiento óptimo de un grupo de camiones de reparto, Capacidad del vehículo y las horas de trabajo del conductor.
9	2021	Metodología basada en datos para respaldar la logística duradera y la toma de decisiones para operaciones urbanas de última milla	Se describe diversas técnicas híbridas y complementarias en la toma de decisiones de última milla, igualmente tienen un enfoque de megaciudades, diversidad sociodemográfica, congestión vehicular, igualmente para estas técnicas proponen modelos de optimización los cuales buscan incrementar la productividad y disminuir los costos e impactos ambientales (Gutierrez-Franco et al., 2021)	Logística urbana; Mercados emergentes; Nanopartículas; Cadenas de suministro centradas en el cliente; Analítica prescriptiva; estructura; Gemelo digital, Comportamientos dinámicos, Vehículos en ruta para minimizar visitas fallidas y devoluciones.
10		Conceptos innovadores de entrega en la última milla: Evaluación de la entrega en la última milla	Se describen soluciones alternativas para las entregas de última milla, donde se pueden armonizar la eficiencia de red con la sostenibilidad medioambiental, igualmente se evidencia como se podría	Último tramo del servicio de entrega, Contaminantes de la cadena de suministro, Logística colectiva, Tiempo total del vehículo.

		utilizando un simulador de tráfico	reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; por otro lado describen un algoritmo matemático para determinar las ubicaciones optimas de consolidación urbana, esto permitió una mejora ambiental y ganancias de eficiencia que se obtendrán a través de la consolidación y la capacidad de entregar "la última milla" a través de bicicletas E-cargo (Johnson & Chaniotakis, 2021).	
--	--	------------------------------------	--	--

5.2 Herramientas tecnológicas de seguimiento

Según la AECOC, La Asociación de fabricantes y Distribuidores de España, con el estudio realizado acerca de tendencias en la Supply Chain, en los próximos años la competencia entre compañías estará basada en la puntualidad de las entregas (Digital & Aecoc, n.d.), es por eso donde las empresas deben adoptar nuevas tecnologías con respecto a un rastreo inteligente de vehiculos, donde permita una mejora en las entregas y optimizar la flota de vehiculos (beetrack, n.d.).

Con las nuevas tecnologías aplicadas a la logística relacionadas con IoT (Internet de los datos), es posible realizar seguimiento a los vehiculos, identificando variables como: ubicación del vehículo en tiempo real, tiempos en desplazamiento, temperatura del motor, nivel de gasolina, velocidad del vehículo (Para et al., 2020), etc. y según estudio de beetrack líder latinoamericano en proveer soluciones logísticas para brindar una experiencia memorable en las entregas, existen varias tecnologías para el rastreo o seguimiento a vehiculos, las más conocidas a nivel mundial serian: Monitoreo y rastreo mediante el internet de las cosas (IoT), con GPS tradicionales y con A-GPS de los celulares (beetrack, n.d.).

5.2.1 Internet de las cosas

El IoT, o internet de las cosas, es una tecnología que permite conectar a internet varios objetos (Patel, 2019), igualmente para realizar un monitoreo y rastreo por medio de internet de las cosas, consiste en un conjunto de dispositivos conectados a una red, y son monitoreados por otros dispositivos sin tener un recurso humano detrás de un computador en una plataforma, esto lo llamamos M2M (Machine to Machine), y su objetivo sería intercambiar información en tiempo real de manera automatizada y precisa (beetrack, n.d.).

Tabla 6. Ventajas y desventajas del IoT

Ventajas	Desventajas
Capacidad de conexión a una red	Información no cifrada, es muy fácil acceder a ella, riesgo en seguridad digital
Velocidad e intercambio de datos fácilmente	Inversión para adquirir equipos que puedan acceder
Ahorro energético y procesos contralados al consumo de energía.	Reducción de la intimidad, cámara en cualquier parte, donde el ser humano es vigilado
Comunicación con el entorno directo y fácil acceso a el	Dispositivos con falta de compatibilidad, no conexión entre ellos.

Fuente: Propia

5.2.2 Rastreo satelital con GPS

Monitoreo y rastreo por medio de GPS (Global Positioning System), es un sistema de navegación basado en satélites en órbita terrestre (Dana, 1997), igualmente es uno de los métodos más comunes en temas de seguimiento a nivel mundial, mediante la geolocalización permite planear y monitorizar a vehiculos y productos, esta herramienta la más usada en temas logísticos de

transporte, también permite la planificación de rutas. En la actualidad existen varios tipos de GPS, los más conocidos son: GPS Integrado, portátil y de navegación (beetrack, n.d.).

Igualmente, esta tecnología permite conocer la ubicación exacta de cualquier dispositivo que esté conectado a un sistema. Esta tecnología funciona de varias maneras, la primera por medio de satélites que están alrededor de la tierra en órbita, la segunda por medio de estaciones terrestres y la tercera por medio de receptores GPS ubicados en diferentes puntos (Patel, 2019),

El rastreo satelital es la mejor función logística para realizar seguimiento a vehículos y mercancías, aumentando la productividad de las personas disminuyendo el rechazo de mercancías, por otra parte, la reducción de gastos para las empresas planificando rutas de entrega y cargas de trabajo, también permite tomar buenas decisiones en temas de escoger rutas de distribución antes de ejecutar los despachos.

5.2.3 BigData

Es un sistema de datos que se mide en terabytes o petabytes, igualmente la velocidad y la variedad de datos no puede ser procesados por herramientas tradicionales, este sistema procesa gran cantidad de datos, realizando un análisis previo en la toma de decisiones (Patel, 2019). Por otra parte este sistema de Big Data puede aplicarse en la ingeniería de datos, análisis e intercambio de información generando así grandes beneficios económicos para los procesos y operación a medir (Wang et al., 2020).

Por otra parte, la arquitectura de un sistema BigData toma datos e información de varias fuentes, para después ser recopilados, procesados y analizados, arrojando información para tomar buenas decisiones. Para el internet de las cosas, la recopilación de información en tecnologías de red y datos algorítmicos pueden ser prácticas para un sistema de Bigdata en aplicaciones como internet de los vehiculos, geo localizadores y alertas de anomalías (Wang et al., 2020).

5.2.4 Inteligencia artificial

Según Lasse Rouhiainen, se puede describir la inteligencia artificial IA, como la habilidad que tienen los ordenadores o computadores para realizar cosas que se requiera una inteligencia humana, también se puede describir como la capacidad que tiene las máquinas para usar datos o algoritmos, para ser utilizados como método de aprendizaje y utilizarlos en la toma de decisiones, como lo haría un ser humano (Rouhiainen, 2008).

Según el ingeniero Hiroshi Ishiguro, la inteligencia artificial tiene un potencial de investigación, dando un paso de la robótica a la robótica cognitiva, dando transformaciones que hoy estamos viviendo, igualmente las tendencias del IA darán forma a la logistica del futuro, donde tendrá impacto a las cadenas de suministro autónomos, que permitirán la optimización de grandes procesos empresariales. Los ejemplos más claros para describir el IA, tenemos los drones, camiones autónomos o inteligentes, centros de distribución inteligentes o automatizados, entre otros (Martínez, 2018).

5.2.5 RFID

La identificación por radio frecuencia es un sistema, que permite identificar, almacenar y enviar datos a través de dispositivos inteligentes a una base central que recopilara toda la información

necesaria de un producto, igualmente el funcionamiento se basa una lectura inalámbrica o remota de etiquetas con códigos de barras. Con esta tecnología las compañías puedes realizar una trazabilidad completa a toda la cadena de suministro (Patel, 2019).

5.2.6 Blockchain

En términos generales el Blockchain consiste en un sistema digital de información con altos estándares de seguridad, cuya información es difícil o imposible de hackear, ya que su modelo protege los datos con su propia arquitectura interna (Patel, 2019). El termino de Blockchain surgió en el año de 2008 por Satoshi Nakamoto en su documento “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”, cuyo objetivo era generar una versión digital de efectivo transferido entre dos entidades sin la necesidad de la participación de un tercero que actuara como intermediario (CEPAL, 2021).

El blockchain favorece varias soluciones técnicas que promueven la transparencia, auditabilidad y equidad funcional de las transacciones (Kapidani et al., 2021). Estas oportunidades han estimulado la aparición de desarrollos e iniciativas vinculadas a blockchain especialmente orientadas al sector logístico como son CargoX, Tradelens, CargoSmart, dexFreight, Cadena y otros, que buscan generar soluciones digitales para la gestión de la documentación de la carga, la trazabilidad de los certificados de origen de los productos, facilitar los intercambios financieros, aprovechar las ventajas del Internet de las Cosas, la automatización de contratos, entre otras (CEPAL, 2021).

5.3 Normatividad de tránsito vigente de Bogotá para vehículos de carga

Durante el año 2006, la ciudad de Bogotá adoptó su primer plan maestro de movilidad para la ciudad de Bogotá, durante el año 2018 en la alcaldía de Enrique Peñaloza realizaron un estudio de revisión al plan de movilidad, donde se realizaron cambios necesarios para los próximos 12 años (Secretaría Distrital de Movilidad, 2019), igualmente para el periodo de mandato de la alcaldesa Claudia Lopez y según la página de web de la secretaria de movilidad (<https://www.movilidadbogota.gov.co/web/plan-maestro-movilidad>) el plan maestro de movilidad está en revisión.

Según la cartilla del plan maestro de movilidad en la ciudad de Bogotá, define el plan de movilidad como un instrumento cuyo objetivo es: Primero instaurar directrices y segundo tener lineamientos que permitan la movilización en modos alternativos y sostenibles o medios no contaminantes y que funcionen con combustibles limpios, igualmente este plan debe ir de la mano con el POT, Plan de ordenamiento territorial y otros planes que tenga la ciudad (Secretaría Distrital de Movilidad, 2019).

Por otro lado se definen tres componentes del sistema de movilidad como: subsistema vial, que hace referencia a la red de infraestructura que permite la circulación de los medios de transporte; subsistema de transporte el cual es el conjunto de redes, sistemas y equipos que hacen posible la conectividad y accesibilidad de manera segura y eficiente, en tercer lugar tenemos el subsistema de movilidad inteligente y hace referencia a la implementación de sistemas de comunicación y tecnología de la información que permiten solucionar escenarios para el desarrollo del sistema de movilidad (Secretaría Distrital de Movilidad, 2019).

Una de las temáticas más importantes de la actualización del plan es el transporte de carga, donde se considera el transporte y la logística de carga como necesarios para el funcionamiento de la ciudad, por ello se plantea el factor de competitividad por medio de la integración de infraestructura y los actores de las cadenas logísticas en la ciudad-región y se promueven por medio de estrategias, las más relevantes son (Secretaría Distrital de Movilidad, 2019):

- Incorporación de receptores de carga que facilitan el comercio B2C en el manejo de mercancía.
- Promocionar alianzas logísticas regionales.
- Fortalecimiento de la red en los actores de la logística urbana.
- Buenas practica logísticas.
- Modelación y medición de la actividad de carga.

Según última actualización de la página web en la fecha Domingo, 02/01/2022, la secretaria de movilidad dispone las franjas horarias y areas de circulación en la ciudad de Bogota para los vehiculos de carga, basada en el decreto 840 de 2020 e incluyendo el decreto 077 de 2020 y lo ordenado por el artículo 8 del decreto 121 del 26 de abril del 2020. La restricción en la ciudad de Bogotá aplica para los vehículos de transporte de carga, servicio público y particular, conforme con las siguientes categorías, horarios, zona de restricción y sección vial (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022).

Tabla 7. Restricción del distrito capital Bogota 2022

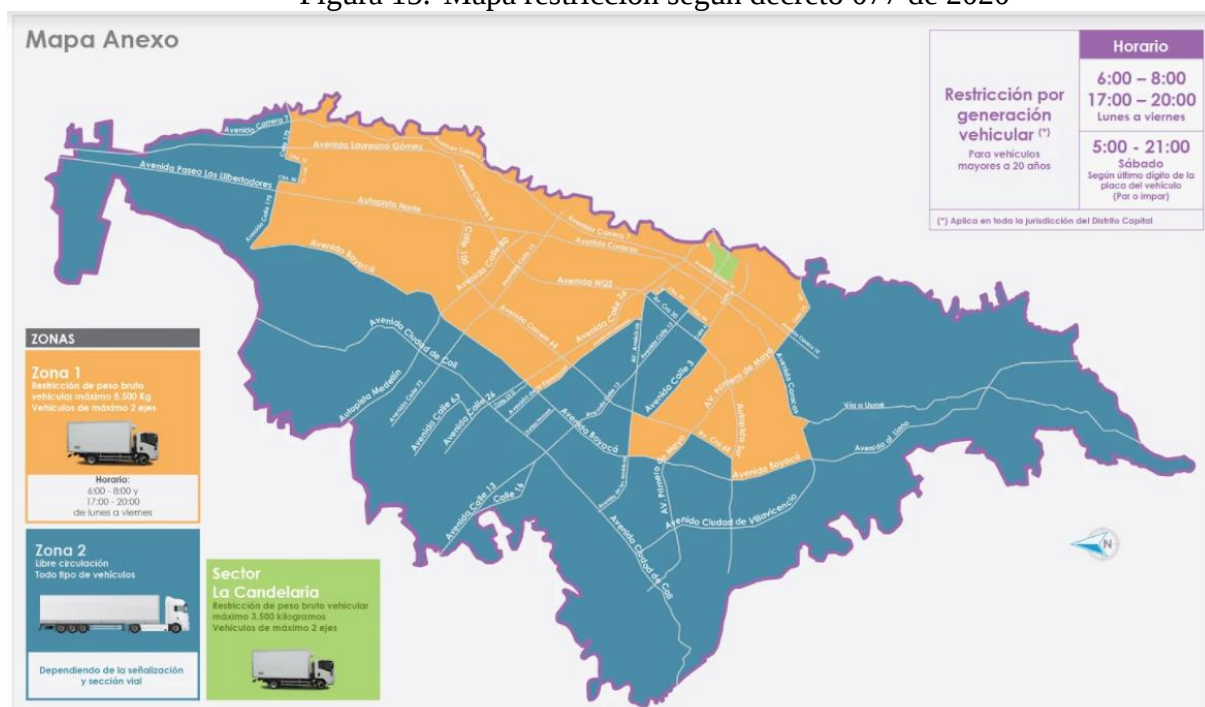
Tipología de vehículo	Zona de restricción	Horario	Soporte normativo	Excepciones
Vehículos que superen los 8.500 Kilogramos	La zona de restricción inicia en el límite oriental de la ciudad con Calle 170-Calle 170Carrera 16- Calle 164-Carrera 20-Calle 170-Avenida Boyacá-Avenida de La Esperanza Avenida de la Américas-Carrera 30-Calle 24 — Carrera 22 — Carrera 24 — Calle 6 — Carrera 30 — Avenida Calle 3 — Carrera 68 — Avenida de las Américas — Avenida Boyacá — Avenida Primero de Mayo — Avenida Carrera 68 — Autopista Sur — Avenida Boyacá — Avenida Villavicencio — Avenida Caracas — Avenida Primero de Mayo Límite oriental.	Lunes a viernes entre las 06:00 y las 08:00 horas y entre las 17:00 y las 20:00 horas	Artículo 3 del Decreto 840 del 27 de diciembre de 2019, modificado por el Art. 1° del Decreto 077 del 4 de marzo de 2020	Existen 12 categorías de vehículos exceptuados de cumplir la restricción establecida en la zona 1, la cual aplica para vehículos que superen los 8.500 Kg y la restricción establecida en todo el Distrito Capital, para los vehículos de carga que superen los 20 años de servicio. Ampliación información Art. 6° del Decreto 840 del 27 de diciembre de 2019 modificado por el Art 3° del Decreto 077 del 4 de marzo de 2020 y Circular 001 de 2020.
Vehículos de carga tanto de servicio público como particular que superen los 20 años de servicio. Incluye camionetas de carga, con tipo de carrocería estacas, furgón, estibas y panel	Todo el perímetro del Distrito Capital	Lunes a viernes sin incluir festivos entre las 06:00 y las 08:00 horas y entre las 17:00 y las 20:00 horas Sábados entre las 05:00 y las 21:00. Ver programación primer semestre 2022	Art. 5° del Decreto 840 del 27 de diciembre de 2019, modificado por el Art 2° del Decreto 077 del 4 de marzo de 2020	Adicional, y en relación con la restricción que aplica a los vehículos de carga de año modelo superior a 20 años, que incluye las camionetas con tipo de carrocería estacas, furgón, estibas y panel, estarán exceptuados aquellos que fueron repotenciados entre los años 2001 y 2020; siempre y cuando, el modelo del motor reemplazado esté debidamente inscrito en el RUNT. Par. 2° Art. 2° del Decreto 077 del 4 de marzo de 2020
los 3.500 Kilogramos	Sector de la Localidad de la Candelaria comprendido entre la Carrera 9 y la Avenida Circunvalar, y de la Avenida Jiménez a la Calle 7 (Se puede circular por las vías límite definidas para la zona)	Durante todo el día	Par. 1° Art. 3° del Decreto 840 del 27 de diciembre de 2019.	En casos excepcionales, la Secretaría Distrital de Movilidad, podrá autorizar la circulación de vehículos de carga que transporten combustibles para realizar actividades de abastecimiento en la ciudad.
Vehículos con designación superior a dos ejes	Malla vial local secundaria en zonas residenciales sección vial V - 7 equivalente a 13 metros en todo el Distrito Capital	Restricción en malla vial en horarios fuera de restricción habitual, es decir, de las 8:00 y las 16:30 y entre las 19:00 y 5:30 horas	Art. 7° del Decreto 840 del 27 de diciembre de 2019	
Vehículos de carga en general	Malla Vial Local Vía V-8 (10 metros pública peatonal y vehicular restringida) y Vía V-9 (8 metros peatonal)	Durante todo el día	Art. 7° del Decreto 840 del 27 de diciembre de 2019	
Maquinaria agrícola, industrial y/o vehículos de construcción	Todo el perímetro del Distrito Capital	Todos los días entre las 6:00 a.m. y las 10:00 p.m.	Art. 8° del Decreto 840 del 27 de diciembre de 2019 modificado por el Art. 5° del Decreto 077 del 4 de marzo de 2020	Transporte de maquinaria destinada a obras públicas siempre y cuando la obra asociada a la actividad cuente con el Plan de Manejo de Tránsito -PMT- aprobado y vigente

Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022)

Las restricciones que pierden vigencia a partir de la expedición del Decreto 840 de 2019 y Decreto 077 de 2020, respectivamente son (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022):

- ✓ Restricción ambiental para vehículos de carga de más de 5 toneladas. Art. 10° del Decreto 174 del 30 de mayo de 2006.
- ✓ Restricción para vehículos de transporte de carga de más de 7 toneladas. Art. 4° del Decreto 520 del 13 de noviembre de 2013 a su vez modificado por el Art 1° del Decreto 690 del 31 de diciembre de 2013 y el Art 2° del Decreto 593 del 17 de octubre de 2018.
- ✓ Restricción para vehículos de transporte de carga con designación de 3 (tres ejes) en adelante. Art. 5° del Decreto 520 del 13 de noviembre de 2013 a su vez modificado por el Art. 2° del Decreto 690 del 31 de diciembre de 2013 y el Art 3° del Decreto 593 del 17 de octubre de 2018.

Figura 15. Mapa restricción según decreto 077 de 2020

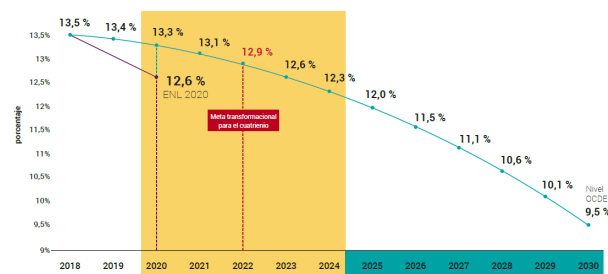


Fuente: Secretaria de movilidad de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2020)

5.4 Costo logístico

El Departamento nacional de planeación y la encuesta nacional de logística, desde el año 2008 realizan una encuesta cada 2 años, donde su objetivo general es tener información del desempeño logístico a nivel Colombia, igualmente el instrumento recopila 5 módulos de análisis, los cuales son: Desempeño Logístico, Logística nacional, prospectiva en logística, comercio exterior y tercerización en logística, la última versión de esta encuesta se llevó a cabo en el año 2020, con la participación de 3.383 encuestas en 14 regiones logísticas (Gaviria, 2020); a continuación compartimos cifras que nos sirven para nuestro trabajo de investigación:

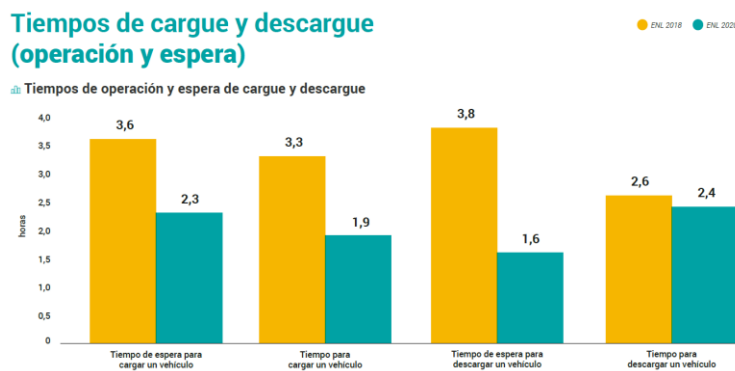
Figura 16. Costo logístico a nivel país



Fuente: (Gaviria, 2020)

Como observamos en la figura 14, en el año 2020 se tuvo un costo logístico del 13.3% sobre las ventas y se estima que durante el año 2022 este sobre 12.9%, y para el año 2030 se estima que este sobre 9.5%, principalmente por los costos de transportes. También como se muestra en la figura 15 se observa un comparativo de la evolución del año 2018 al 2020 con respecto a los tiempos de ejecución en cargues y descargue de vehículos.

Figura 17. Tiempos de operación y espera de cargue y descargue



Fuente: (Gaviria, 2020)

Igualmente, esta encuesta mide la calidad de logística y el indicador más relevante de pedido perfecto, como se muestra en la figura 16, según encuesta del 2020 el indicador general se encuentra en el 74.6% y cuenta con 4 subindicadores como: Pedidos sin daños, Pedidos completos en cantidad, pedidos a tiempo y entregas con documentación perfecta.

Figura 18. Pedido perfecto



Fuente: (Gaviria, 2020)

5.4.1 Estructura de costos según SICETAC

El sistema de información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga SICE-TAC, es una herramienta diseñada por el ministerio de transportes que permite medir y calcular los costos mínimos de una ruta entre un origen a un destino determinado y cuyas características de tipo de vehículo, tipo de carga, horas estimadas de esperas en cargue y descargues, todo esto conforme a al artículo 2.2.1.7.6.2 del decreto único reglamentario del sector transportes 1079 de 2015 y la resolución 757 de 2015 del ministerio de transportes ((3) *Ministerio de Transporte - Resolución No. 20213040034405 Del 6 de Agosto de 2021.Pdf*, n.d.).

Tabla 8. Parametros Generales del modelo SICE-TAC

Parametros Generales del Modelo							
Parámetro	Configuración vehicular						Definiciones
	C2 Sencillo	C3 Dobletroque	C2S2 Minimula	C2S3 Tractocamión	C3S2 Tractocamión	C3S3 Tractocamión	C: Camión S: Semirremolque
Velocidad promedio (KM x Hora)	P: 53,00 O:30,00 M: 15,00	P: 56,59 O: 32,54 M: 18,65	P: 63,04 O:32,95 M: 25,81	P: 63,04 O:32,95 M: 18,65	P: 56,23 O: 33,13 M: 23,57	P: 56,23 O: 33,13 M: 23,57	P: Plano O: Ondulado M: Montañoso
Horas hábiles de operación al mes	Parámetro general de 288 horas que corresponde a 24 días al mes x 12 horas al día						
Tiempo de recuperación del capital	10 años 120 Meses	16 años 192 Meses	16 años 192 Meses	16 años 192 Meses	16 años 192 Meses	16 años 192 Meses	
Distancia	Corresponde a los kilómetros recorridos de un punto de origen a un punto de destino						
Horas Logísticas	Son las horas acordadas en la actividad de cargue y las horas acordadas en la actividad de descargue, si no se coloca este parámetro la herramienta colocara el número de horas logísticas indicadas por la encuesta nacional Logística del DPN						
Rutas Origen - Destino	Corresponde a una ruta o trayecto del territorio colombiano que inicia en un punto de origen y termina en un punto de destino						
Rutas Alternas	Se refiere a la selección de una ruta o trayecto alternativo para realizar el transporte de carga						

Fuente: ((3) *Ministerio de Transporte - Resolución No. 20213040034405 Del 6 de Agosto de 2021.Pdf*, n.d.)

Tabla 9. Costos fijos según SICE-TAC

Costos Fijos		
Son aquellos que se causan independiente si el vehículo opera o no.		
Formula general	CF= Seguros + Salarios + Parqueadero + Impuestos + Comunicaciones + RTM + Capital	
Recuperación del capital	Hace referencia de cuanto le cuesta mensualmente al propietario del vehículo la recuperación del capital invertido de un plazo de 10 a 16 años según su configuración	
	Gasto mensual de capital	$GMC = i * (1+i) * n * f * \text{valor del vehículo} (1 + i) * n - 1$
		i=Interés bancario N= Numero de periodos anuales Valor del vehículo=Valor del vehículo en el mercado según marcas representativas Valor a Recuperar=Proporción del valor de vehículo que se debe recuperar al cabo de 10 a 16 años
Salarios	Fuente de referencia el salario mínimo legal vigente estipulado cada año por el ministerio de transportes	
	Salarios = $(1,5 * \text{salario mínimo} * (1 + \text{factor prestacional})) + \text{gasto por conductor suplente en el mes}$	
	Gasto por conductor suplente en el mes = $(0,5 * \text{salario mínimo} * (1 + \text{factor prestacional})) / 12$	
	Factor 1 = Jornada de 8 horas Factor 0,5 = Jornada de 4 horas	
Seguros	* Seguro de accidentes transito SOAT - determinada anualmente por superintendencia financiera de Colombia * Seguro extracontractual (Todo Riesgo) - El valor de la prima se obtiene a través de fasecolda (Federación de aseguradores colombianos) Cada uno de los seguros se divide en 12 meses	
Impuestos	Es el costo del impuesto por rodamiento del vehículo, La base gravable será definida por el ministerio de transporte	
	Impuestos = $(0,005 * \text{valor del vehículo}) / 12$	
Parqueaderos	Es el valor del parqueadero mensual, se toma como referencia el precio vigente del mercado, este valor es actualizado anualmente con el índice de Costos del transporte de Carga - Fuente DANE	
	Parqueadero = precio parqueadero noche * 30	
Comunicaciones - GPS	Hace referencia al pago mensual que se paga por servicio de celular y el GPS, igualmente incluye servicios adicionales por la utilización de sistemas tecnológicos. Los precios se actualizan mensualmente con el índice de precios al consumidor IPC.	
Revisión técnico-mecánica y de emisión contaminantes	Es el valor que se paga anualmente y se toma las tarifas establecidas en la resolución No. 3318 del 14 de septiembre de 2015 y la ejecución esta publicada por los centros de diagnósticos Automotor CDA. Igualmente, este valor se divide entre 12.	

Fuente: ((3) Ministerio de Transporte - Resolución No. 20213040034405 Del 6 de Agosto de 2021.Pdf, n.d.)

Tabla 10. Costos variables según SICE-TAC

Costos Variables							
Son todos aquellos costos que están en función del número de kilómetros recorridos por el vehículo							
CV = Peajes + filtros + combustible + mantenimiento + llantas + lavado + engrase + lubricantes + imprevistos							
Para insumos como llantas, lubricantes, filtros, lavado-engrase, mantenimiento y reparaciones, el cálculo se realizará por pesos x kilometro							
Combustible	Combustible = $(\text{Indicador de consumo en plano} * \text{distancia en plano}) + (\text{Indicador de consumo en ondulado} * \text{distancia en ondulado}) + (\text{indicador de consumo montañoso} * \text{distancia en montañoso})$						
	C2 Sencillo	C3 Dobletroque	C2S2 Minimula	C2S3 Tractocamión	C3S2 Tractocamión	C3S3 Tractocamión	C: Camión S: Semirremolque
	P: 12,70 O: 10,1 M: 7,81	P: 8,00 O: 6,22 M: 4,66	P: 8,76 O: 6,76 M: 5,07	P: 8,76 O: 6,76 M: 5,07	P: 6,80 O: 5,04 M: 3,42	P: 6,48 O: 4,8 M: 3,26	P: Plano O: Ondulado M: Montañoso
Peajes	Son las tarifas de los peajes por tipo de vehículo y según la categoría y descripción vehicular por el número de ejes (2, 3, 4, 5 y 6), información según INVIAS, ANI y aquellas entidades competentes de orden territorial						
	Peajes = $\sum \text{Peajes ruta origen - destino}$						
Llantas	Consumo de llantas depende del rendimiento de acuerdo con el tipo de llanta, esta se mide por kilómetros recorridos y depende de la tipología vehicular						

	Llantas = Indicador de consumo de llantas * distancia de ruta Indicador de consumo de llanta = (Indicador de consumo de llanta direccional + indicador de consumo de llanta de tracción + indicador de consumo de llanta libre Indicador de consumo de llanta i = (Precio llanta i * cantidad de llanta i) /duración de la llanta
Lubricantes	El consumo de lubricantes en un viaje depende del precio, la cantidad y la frecuencia de cambio. Lubricantes hay para caja, diferencial y motor Lubricantes = Indicador de consumo de lubricantes * distancia de ruta Indicador de consumo de lubricantes = (Indicador de consumo de caja + indicador de consumo diferencial + indicador de consumo de motor Indicador de consumo de lubricante i = (precio lubricante i * cantidad i) /duración de lubricante
Filtros	El consumo de filtros en un viaje depende del precio, la cantidad y la frecuencia de cambio. La duración de los filtros se mide por kilómetros recorridos y depende de cada tipología vehicular. Ítems: Filtro de aceite, filtro de aire, filtro de agua, filtro bypass, filtro de combustible primario y secundario Indicador de consumo de filtros = (Indicador de consumo de filtros de aceite + Indicador de consumo de filtros de agua + Indicador de consumo de filtros de aire + Indicador de consumo de filtros de Bypass + Indicador de consumo de filtros de combustible) Indicador de consumo de filtro i = (precio filtro i * cantidad de filtro i) /duración del filtro
Lavado y engrase	El consumo de lavado y engrase del vehículo depende del precio y la periodicidad del mismo Lavado y engrase = Indicador de consumo de lavado y engrase * distancia de la ruta Indicador consumo de lavado y engrase = Precio lavado y engrase / duración
Mantenimiento y Reparaciones	Depende del precio de los repuestos, del precio de la mano de obra, y duración de la reparación según cada tipología vehicular *Motor de arranque *Batería * Alternador *Sensores *Accesorios * Reparación de motor * Reparación cambio de turbo, Inyectores, * Bomba de inyección * Refrigerante * radiador * manguera de radiador * Bomba de agua * Fan clueth *Disco *Prensa *Rodamiento de embrague *Bomba principal de embrague *Bomba auxiliar de embrague *Reparación de caja de velocidades * Rodamientos y retenedores eje delantero 1 * Rodamientos y retenedores eje trasero 1 * sistema de frenos eje delantero 1 * caja de dirección *Bomba hidráulica de direccion *Brazos de dirección * Compresor *Válvulas y controles *mangueras *vidrios * espejos * estructuras transversales * cabina completa, latonería y pintura *tapicería accesorios internos. Mantenimiento = Indicador de consumo de mantenimiento * distancia de ruta Indicador de consumo de mantenimiento = $\sum$ (precio repuesto + precio mano obra de mantenimiento) /12
Imprevistos	Es el 7,5% del gasto de los demás costos variables, sin incluir combustible, ni peajes Imprevistos = $0,075 * (Llantas + Lubricantes + Filtros + Mantenimiento + lavado + engrase)$
Bioseguridad	Es derivara por el coronavirus COVID-19 y se trata de eliminar o minimizar el riesgo biológico que pueda llegar a afectar la salud, el ambiente o la vida de las personas, este costo de Bioseguridad durante la emergencia sanitaria Ítems como *tapabocas * gel desinfectante * alcohol * desinfección de vehiculos Bioseguridad por viaje = ((valor caja 100 tapabocas) /No. unidades) + ((Valor gel desinfectante + alcohol) /8 viajes al mes) +Valor desinfección del vehículo
Otros Costos	Son los costos que dependen de la facturación del viaje que se va a realizar en un vehículo $OC = ((1 + \text{factor de administración}) * (CV + CF)) / (1 - \text{comisión conductor} - \text{factor prestacional} - \text{lca} - \text{rete fuente})$ Factor administración = 5% Comisión = 8% Factor prestacional = 8% * (factor prestacional 1,5596%) Retención lca = 3% Retención en la fuente = 1%

Fuente:((3) Ministerio de Transporte - Resolución No. 20213040034405 Del 6 de Agosto de 2021.Pdf, n.d.)

5.4.2 Herramienta tecnológica SICE-TAC

Según la página del ministerio de transportes, en su aplicación de cálculo interactivo, podemos validar el flete mínimo de pago a un vehículo de carga, para poder realizar este cálculo debemos ingresar información del viaje y vehículo como se muestra en la figura 17.

Figura 19. Información para el cálculo de flete

Costos Eficientes

Cuál es la configuración de su vehículo?

Qué tipo de carga va a transportar?

Qué tipo de unidad de transporte va a emplear?

Donde se origina el viaje?

Cual es el destino?

Cual vía va a utilizar para el viaje?

Horas acordadas para la actividad del cargue? Horas acordadas para la actividad del descargue?

Horas de espera en el cargue? Horas de espera en el descargue?

Cuál es el periodo?

Cuánto es 20 + 19 **CALCULAR**

Ultima actualización: 2022/03/31

El Costo del viaje que se obtiene para el camión sencillo de dos ejes, aplica para los vehículos con Peso Bruto vehicular máximo permitido mayor a 10.5 toneladas.

Los precios unitarios indicados en la herramienta son referencia de mercado y se encuentran avalados por la mesa técnica del observatorio de transporte de carga por carretera OTCC. El SiceTac no incluye un porcentaje de intermediación para las empresas de transporte.

Fuente: <https://plc.mintransporte.gov.co/Runtime/empresa/ctl/SiceTAC/mid/417>

Como se muestra en la figura 18 de Costo del viaje podemos definir que el flete mínimo de un vehículo tipología sencilla C2, cubriendo la ruta Madrid Cundinamarca – Bogota, definiendo horas de cargue y descargue, horas de espera en cargue y descargue, tenemos un valor de flete por \$301.976,63, un costo por tonelada del viaje de \$33.552.96 y un costo por tonelada x Km del viaje 1.198,32, igualmente se pueden apreciar varios cálculos mencionados en el SICE-TAC.

Figura 20. Costo total del viaje

Costos Operativos - Resumen					
Tonelada x KM Movilización	\$396.16	Costo Tonelada Movilización	\$11,092.61	Costo Movilización Carga	\$99,833.59
Costo Hora Adicional	\$25,268	Horas de Espera	8.0	Costo Tiempos de Espera	\$202,143.04
Tonelada x KM del Viaje	\$1,198.32	Costo Tonelada del Viaje	\$33,552.96	Costo Total del Viaje	\$301,976.63
Costo x KM Movilización	\$3,565.49	Costo x KM del Viaje	\$10,784.88		

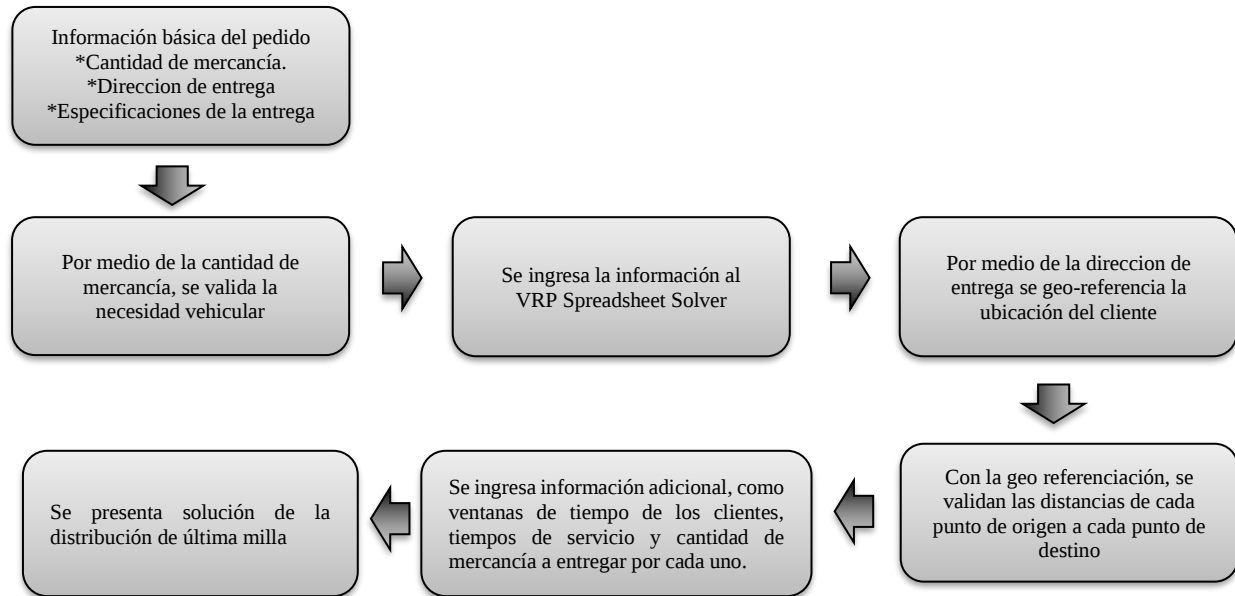
Fuente: <https://plc.mintransporte.gov.co/Runtime/empresa/ctl/SiceTAC/mid/417>

5.5 Modelo de distribución de mercancías de última milla

El modelo propuesto para este trabajo de investigación se basa en los impactos que tiene la logística de última milla, respecto a la eficiencia y los costos asociados, igualmente el modelo tendrá un impacto positivo en temas de congestión urbana y sostenibilidad ambiental. Por otra parte, podemos indicar que mediante un modelo VRP tendremos:

- ✓ Eficiencia logística: Distribución de mercancía utilizando rutas críticas, que optimicen largos desplazamientos y reducción de tiempos en la entrega.
- ✓ Costos asociados: Si tenemos una reducción de tiempos y optimizamos desplazamientos podemos pagar fletes por Kilómetros recorridos, que está contemplado en la normatividad SICETAC.
- ✓ Congestión urbana: Ayudaremos a que los vehículos de carga realicen un recorrido optimo, para realizar las entregas, realizando un monitoreo y seguimiento en ruta a través de una plataforma tecnológica.
- ✓ Sostenibilidad medioambiental: Si logramos una optimización con respecto a las rutas propuestas por el VRP, tendremos a un vehículo de carga con menos kilómetros recorridos diariamente, por lo cual se disminuye las emisiones de CO₂ al día.

Figura 21. Modelo de distribución de mercancías de última milla



Fuente: Propia

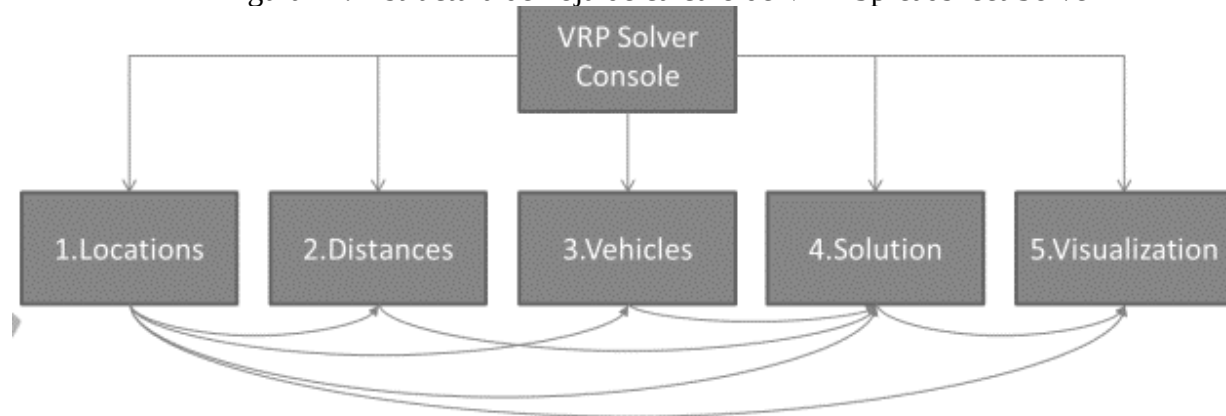
5.5.1 El VRP Spreadsheet Solver

El VRP es uno de los problemas más frecuentes en temas de optimización logística, siempre buscando la reducción de las operaciones de transporte, es por ello Microsoft Excel, mediante la integración con solver, presenta un código solucionador para gestionar problemas del VRP, igualmente por su facilidad de uso, flexibilidad y accesibilidad a la herramienta, podemos solucionar el problema de ruteo de vehículos fácilmente (Erdoğan, 2017).

El VRP Spreadsheet Solver, bajo el modelo HFFCVRPTW (Superior, n.d.) presenta una serie de algoritmos exactos actualizados cada año, tiene una limitación hasta 200 puntos de destino y unas características basadas en visitas a clientes, recolección y entregas sincronizadas, constitución de la flota, ventanas horarias y restricciones de distancias. Igualmente, presenta un libro con una hoja

llamada VRP Solver Console, las hojas restantes se van generando por medio de la ejecución de macros, a continuación, presentamos el esquema del libro (Erdoğan, 2017).

Figura 22. Estructura de hoja de cálculo de VRP Spreadsheet Solver



Fuente: (Erdoğan, 2017)

5.5.1.1 Coordenadas del Bing Maps

Por medio de la herramienta y gracias a su conexión de bingmaps, podemos conocer la ubicación geográfica (Longitud y latitud), con el ingreso de la dirección de cada punto; por otro lado, debemos definir el horario de recibo del cliente, esto se define por medio de ventanas horarias, también definimos el tiempo promedio que se puede demorar el descargue en cada punto y por último colocamos el valor de carga asignada en cada cliente.

5.5.1.2 Utilizar la herramienta VRP Solver para obtener las distancias y los tiempos de recorrido

Por medio de la georreferenciación la herramienta calcula las distancias y tiempos actuales de desplazamiento de un punto origen a un punto destino.

5.5.1.3 Parámetros del modelo

En esta parametrización se debe indicar toda la información relacionada a: nodos de inicio y nodos de destino, capacidades de los vehiculos, demanda de los pedidos en peso o volumen

5.5.1.4 Información adicional

Se debe ingresar información como la cantidad de vehiculos requerida, valor promedio del viaje, tipo de vehiculos, ventanas horarias de los clientes y horas máximas de conducción.

5.5.1.5 Modelo Matemático del VRP Solver spreadsheet

Índices y notaciones:

VD : Vértice que contiene el conjunto de depósitos

VC : Vértice que contiene el conjunto de clientes

$VM \subseteq VC$: Vértice de clientes que deben ser visitados

K : Conjunto de vehiculos disponibles

$D = 1$

Parámetros:

✓ Cliente:

s_i = Tiempo de servicio cliente i

$[a_i, b_i]$ = Intervalo de tiempo para atender un cliente i

$d_{i,j}$ = Distancia entre cliente

✓ Vehiculos

O^k = Deposito de origen del vehículo

T^k = Hora de inicio de operación del vehículo

Q^k = Capacidad del vehículo

D^k = Limite de distancia para el vehículo

$\hat{D}^k$ = Límite de tiempo de conducción

W^k = Límite de tiempo de trabajo

r^k = Deposito de retorno del vehículo

$\hat{d}_{i,j}$ = Tiempo de conducción d entre clientes

$C_{ci,j}^k$ = Costo de recorrer usar el vehículo k en el arco i, j

✓ Operacionales (restricciones)

Ω : Vehículo retorna a su depósito (1), *en otro caso* (0)

ϕ : Si hay violación de la ventana de tiempo

Π : Costo de penalización por violación TW

Variables de decisión

$x_{i,j}^k$ = ¿El vehículo k usa el arco i, j? (0,1)

y_i^k = ¿El vehículo k usa al cliente i? (0,1)

$z_{i,j}^k$ = Cantidad entregada por el vehículo K en el arco i, j

t_i^k = Tiempo en que el vehículo arriba al cliente i

v_i = Tiempo de violación de la ventana de tiempo

La función objetivo que presenta el VRP Solver, plantea una maximización de: para la ecuación (1) Total de recaudo a través de los ingresos recolectados de los clientes visitados menos la ecuación (2) que presenta los costos del viaje de los vehiculos, menos la ecuación (3) que representa el costo fijo por utilizar los vehiculos, menos la ecuación (4) que presenta la penalización por no cumplir las ventanas horarias, este modelo presenta 26 restricciones, la cuales presentan las reglas de vehiculos, tiempos de recorridos y visitas a clientes (Pineda Zapata & Carabalí Ararat, 2020).

Función objetivo:

$$\begin{aligned} MAXIMIZAR = & \sum_{i \in V_c} \sum_{k \in K} P_i y_i^k \quad (1) - \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (2) - \sum_{j \in V_c} \sum_{k \in K} F^k x_{0^k,j}^k \quad (3) \\ & - \Pi \sum_{i \in V} V_i \quad (4) \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\sum_{k \in K} y_i^k = 1 \quad \forall i \in V_M \quad (5)$$

$$\sum_{k \in K} y_i^k \leq 1 \quad \forall i \in V_c \setminus V_M \quad (6)$$

$$\sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ij}^k \leq \sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ij}^k \quad \forall j \in V_c, k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{p \in S, q \in V \setminus S} x_{pq}^k \geq y_i^k \quad \forall j \in V_c, k \in K, S \subset V: 0^k \in S, i \in V \setminus S \quad (8)$$

$$\sum_{p \in S, q \in V \setminus S} x_{pq}^k \geq \Omega y_i^k \quad \forall i \in V_c, k \in K, S \subset V: i \in S, r^k \in V \setminus S \quad (9)$$

$$\sum_{j \in V_c} x_{0^k,j}^k \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{j \in V \setminus \{i\}} z_{ij}^k - \sum_{j \in V \setminus \{i\}} z_{ij}^k = \hat{q}_i y_i^k \quad \forall i \in V_c, k \in K \quad (11)$$

$$\sum_{i \in V_c} z_{0^k,j}^k = \sum_{i \in V_c} z_{ij}^k = \hat{q}_i y_i^k \quad \forall k \in K \quad (12)$$

$$t_i^k + (d_{ij} + s_i) x_{ij}^k + W^k (1 - x_{ij}^k) \leq t_j^k \quad \forall (i,j) \in A, j \in V_c, k \in K \quad (13)$$

$$a_i \leq t_i^k \leq b_i - s_i + V_i \quad \forall i \in V_c, k \in K \quad (14)$$

$$V_i \leq M\phi \quad \forall i \in V_c \quad (15)$$

$$t_{0^k}^k \leq \tau^k \quad \forall k \in K \quad (16)$$

$$t_i^k + (s_i + \hat{d}_{ij}) x_{i,r^k}^k \leq b_{r^k} + V_{r^k} + M(1 - \Omega) \quad \forall (i,j) \in A, i \in V_c, k \in K \quad (17)$$

$$w_{ij}^k + z_{ij}^k \leq Q^k x_{ij}^k \quad \forall (i,j) \in A, k \in K \quad (18)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} d_{ij} x_{ij}^k \leq D^k \quad \forall (i,j) \in A, k \in K \quad (19)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} \hat{d}_{ij} x_{ij}^k \leq \hat{D}^k \quad \forall (i,j) \in A, k \in K \quad (20)$$

$$\sum_{i \in V_c} s_i y_i^k + \sum_{(i,j) \in A} \hat{d}_{ij} x_{ij}^k \leq W^k \quad \forall (i,j) \in A, k \in K \quad (21)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A, k \in K \quad (22)$$

$$y_i^k \in \{0,1\} \quad \forall i \in V_c, k \in K \quad (23)$$

$$V_i \geq 0 \quad \forall i \in V_c \quad (24)$$

$$w_{ij}^k \geq 0 \quad \forall (i,j) \in A, k \in K \quad (25)$$

$$z_{ij}^k \geq 0 \quad \forall (i,j) \in A, k \in K \quad (26)$$

5.5.2 Estudio de Caso

5.5.2.1 Situación actual de la entrega de mercancía en Bogotá y zona Metropolitana

Actualmente la compañía generadora de carga tiene 84 clientes que sirven como subdistribuidores de productos cerámicos en Bogotá y zona metropolitana, igualmente todos los despachos se realizan desde un solo punto, el cual está ubicado en el municipio de Madrid Cundinamarca, este sirve como centro de distribución.

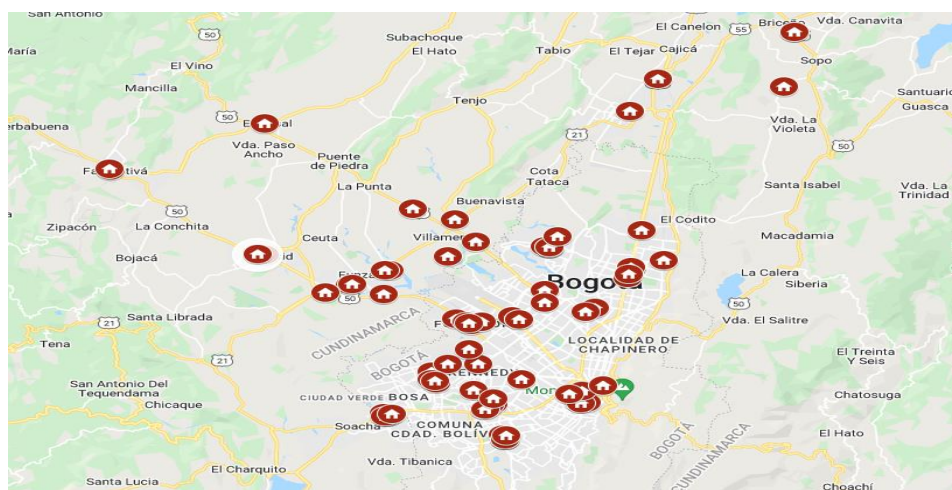
Tabla 11. Clientes actuales

Punto	Nombre	Ciudad o Municipio	Punto	Nombre	Ciudad o Municipio
Origen	Centro de Distribución Madrid	MADRID	Destino	DISCERCOL SOACHA	SOACHA
Destino	AC BODEGA EL DORADO	BOGOTÁ	Destino	DISCERCOL SANTA LUCIA	BOGOTÁ
Destino	AC CARPA SOPO	SOPO	Destino	DISTRIBUIDORA DE CERAMICAS COLOMBIA	BOGOTÁ
Destino	AC CCI AV 68	BOGOTÁ	Destino	DISTRIBUIDORA DE CERAMICAS NACIONAL	BOGOTÁ
Destino	AC CD HC AUTOPISTA NORTE	BOGOTÁ	Destino	DISTRIBUIDORA LA CONFIANZA S, A, S	BOGOTÁ
Destino	AC CD HC VENECIA	BOGOTÁ	Destino	DISTRIBUIDORA METROCERAMICAS S, A, S	BOGOTÁ
Destino	AC CD TC AUTONORTE 138	BOGOTÁ	Destino	DISTRICERAMICAS BLAPER FACATATIVA	FACATATIVA
Destino	AC CD TC FONTIBON	BOGOTÁ	Destino	DISTRICERAMICAS BLAPER MADRID	MADRID
Destino	AC CD TC KENNEDY	BOGOTÁ	Destino	DISTRICERAMICAS BLAPER EL ROSAL	EL ROSAL
Destino	AC CD TC MOSQUERA	MOSQUERA	Destino	EUROCARIBE FONTIBON	BOGOTÁ
Destino	AC CD TC QUIRIGUA	BOGOTÁ	Destino	EUROCARIBE LEON XIII	SOACHA
Destino	AC CD TC SANTA LUCIA	BOGOTÁ	Destino	EUROCARIBE SANTA LUCIA	BOGOTÁ
Destino	AC CD TC SOACHA	BOGOTÁ	Destino	EUROCARIBE VENECIA	BOGOTÁ
Destino	AC CD TC SUBA	BOGOTÁ	Destino	FERREDISTARCO S, A, S, (Bogota)	BOGOTÁ
Destino	ALTACOL NORVENTAS S, A, S	TENJO	Destino	LISTODO S.A	BOGOTÁ
Destino	BALDOCER BOG ALCALA	BOGOTÁ	Destino	LOGISTICA FERRETERA CENTRO 1	BOGOTÁ
Destino	BALDOCER BOG LEON XIII SOACHA	SOACHA	Destino	LOGISTICA FERRETERA CENTRO 2	BOGOTÁ
Destino	BALDOCER BOG SANTA LUCIA 1	BOGOTÁ	Destino	LOGISTICA FERRETERA CENTRO 3	BOGOTÁ
Destino	BALDOCER BOG SANTA LUCIA 2	BOGOTÁ	Destino	M SIERRA FERRETEROS CENTRO	BOGOTÁ
Destino	BALDOCER BOG SUBA	BOGOTÁ	Destino	M SIERRA FERRETEROS VILLA NELLY	BOGOTÁ
Destino	BALDOCER VENECIA	BOGOTÁ	Destino	MAXCERAMICA AVENIDA 68	BOGOTÁ
Destino	BALDOCER LTDA AUTONORTE	BOGOTÁ	Destino	MAXCERAMICA SOACHA	BOGOTÁ
Destino	ALFACENTER	BOGOTÁ	Destino	MAXCERAMICA SUBA	BOGOTÁ
Destino	BALDOCER MOSQUERA	MOSQUERA	Destino	MAXICASSA Faca	FACATATIVA
Destino	BALDOCER LTDA PUENTE ARANDA	BOGOTÁ	Destino	BODEGA SANTA FE	BOGOTÁ
Destino	CASA, IN SAS ZOMAC	BOGOTÁ	Destino	SANITARIO Y SABINCO S, A, S, (BOG)	BOGOTÁ
Destino	CENTRO CORONA CHIA	SOPO	Destino	SODIMAC COL S, A, (TENJO, VAD)	TENJO
Destino	COLOMBIANA DE COMERCIO S, A, (BOG)	FUNZA	Destino	SODIMAC COL, S, A, (CAJICA)	CAJICA
Destino	COVAL COMERCIAL S, A, (BOGOTA D, C,)	BOGOTÁ	Destino	SODIMAC COL, S, A, (CALLE 80)	BOGOTÁ
Destino	COVAL COMERCIAL S, A, (CHIA)	CHIA	Destino	SODIMAC COL, S, A, (CEDRITOS)	BOGOTÁ
Destino	COVAL COMERCIAL S, A, (Cota)	COTA	Destino	SODIMAC COL, S, A, (DORADO)	BOGOTÁ
Destino	COVAL COMERCIAL S, A, (SOPO)	SOPO	Destino	SODIMAC COL, S, A, (MOSQUERA)	MOSQUERA
Destino	COVAL COMERCIAL S, A, S (Bosa)	BOGOTÁ	Destino	SODIMAC COL, S, A, (NORTE)	BOGOTÁ
Destino	CROSS DOCKING EL DORADO	BOGOTÁ	Destino	SODIMAC COL, S, A, (SOACHA)	SOACHA
Destino	DECORACIONES Y CERAMICAS SANTA LUCIA	BOGOTÁ	Destino	SODIMAC COL, S, A, (SUBA)	BOGOTÁ
Destino	DECORACIONES Y CERAMICAS VENECIA	BOGOTÁ	Destino	SODIMAC COL, S, A, (SUR)	BOGOTÁ
Destino	DECORADOS Y ACABADOS CERAMICOS S, A,	BOGOTÁ	Destino	SODIMAC COL, S, A, (TINTAL)	BOGOTÁ
Destino	DECORADOS Y ACABADOS CERAMICOS BOSA	BOGOTÁ	Destino	SODIMAC COLOMBIA S, A, (FUNZA)	FUNZA

Destino	DECORADOS Y ACABADOS CERAMICOS SUBA	BOGOTÁ	Destino	TECHOS SAS (Bogota)	BOGOTÁ
Destino	DECORADOS Y ACABADOS CERAMICOS VILLA NELLY	BOGOTÁ	Destino	TEXCOMERCIAL S, A, S, (Funza)	FUNZA
Destino	DEPOSITO SAN CAYETANO FONTIBON	BOGOTÁ	Destino	TODACO S, A, S	FUNZA
Destino	DEPOSITO SAN CAYETANO SANTA LUCIA	BOGOTÁ	Destino	VITRIFICADOS VILLAMIL SAS	BOGOTÁ
Destino	DEPOSITO SAN CAYETANO LTDA	BOGOTÁ			

Fuente: Base maestra de clientes

Figura 23. Geolocalización de clientes



Fuente: Base maestra de clientes

La compañía generadora de carga, de productos cerámicos durante el año 2021, presento los siguientes resultados: se movilizaron 13.748 toneladas de porcelana sanitaria, en 4.728 solicitudes de transportes, lo que se utilizaron 57 vehiculos promedio mes y 16 vehiculos promedio diario, igualmente se visitaron 8.927 veces a los clientes para entregar mercancía.

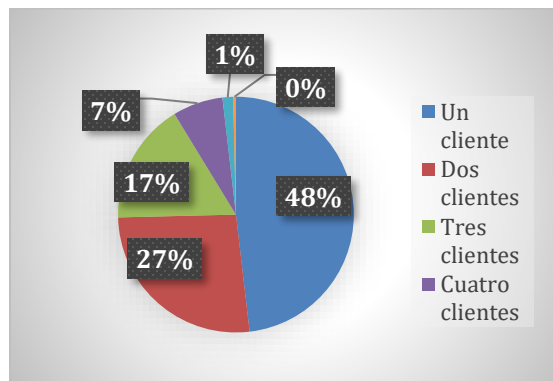
Tabla 12. Cifras de distribución de mercancía año 2021

Mes	Toneladas Movidas	No. de Viajes	Numero de vehiculos mes	Numero de vehiculos dia	No. de visitas a clientes
ENE	989	350	47	15	634
FEB	1.219	401	50	17	775
MAR	1.015	378	55	15	770
ABR	1.054	345	53	15	706
MAY	983	368	45	16	697
JUN	1.136	399	64	17	728
JUL	1.227	450	72	18	830
AGO	1.094	402	61	17	729
SEP	1.235	427	59	16	819
OCT	1.156	392	53	16	759
NOV	1.235	410	61	17	768
DIC	1.404	406	65	18	712
Total, año 2021	13.748	4.728	685	16	8.927

Fuente: Despachos 2021

Complementando los análisis de las bases de datos de los despachos en la figura 13, podemos definir que, durante el año 2021, el 75 % de las solicitudes de transportes tienen entre una o dos entregas, para el otro 25% se tiene 3 o más entregas, igualmente podemos concluir que el 52% de las solicitudes de transportes tienen 2 o más clientes por entregar, a este porcentaje es al que debemos sincronizar los procesos para realizar las entregas de última milla de manera efectiva.

Figura 24. Participación de cantidad de clientes x solicitud de transporte



Fuente: Bases de datos transportes

5.5.2.2 Empresas de seguimiento satelital

Realizando una validación de las empresas en Colombia que prestan el servicio de monitoreo satelital de vehiculos por medio de tecnologías GPS/GPRS e información suministrada por el area de transportes de la compañía de Cerámica, la cual cuenta con más de 1.000 vehiculos de carga, con el modelo de contratación tercera, estos vehiculos el 95% poseen en los vehiculos un dispositivo de rastreo satelital y los principales proveedores de este servicio son:

Tabla 13. Proveedores de monitoreo satelital en Colombia

Posición	Proveedor	Logo	Contacto	Página WEB
1	SATRACK INC DE COLOMBIA		Claro, Tigo y Movistar: #477 Nacional: 01 8000 423 645 320 889 99 30	https://www.satrack.com.co/
2	DETEKTOR GPS		LINEA DE ATENCIÓN: 0180009352 25 EN CASO DE HURTO: (601)20889 00 ext.8119 / Celular: 3115221111	https://www.detektor.com.c o/empresas
3	ROCA GPS		D. Carrera 105 A # 70 – 04 • Bogotá T. (+571) 470 15 47 C. (+57) 318 340 33 88 E. rastreamos @rocagps.co m	http://www.rocagps.com/tec nologia2/

4	RASTREO SIGLO XXI		Medellin Calle 28 # 80 - 67 (Belén La Palma) - (604)444 8406	https://www.rastreosigloxxi.com.co/
5	SATLOCK		Dirección: Av. 4 Norte #6N-67, Of- 507 Cali Teléfono: (57-2) 483 699 32/34	https://www.satlock.com/w/p/ultrack/

Fuente: Propia

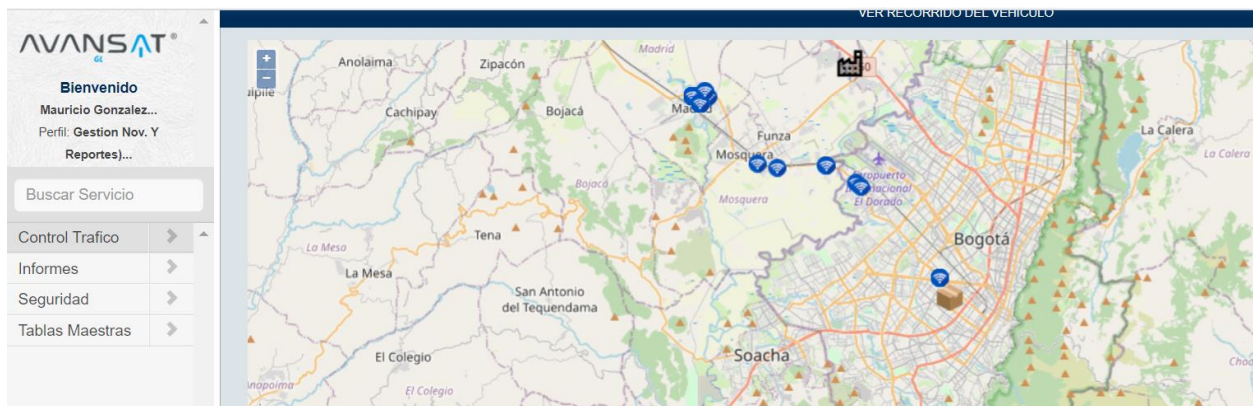
Igualmente, como lo muestra la tabla No. 13, estos son unos pocos proveedores que prestan el servicio de monitoreo satelital, ya que actualmente podemos indicar que pueden existir más de 100 proveedores, por otro lado, en Colombia actualmente existe una federación donde agrupan estas empresas que prestan el servicio de localización, monitoreo y tecnologías afines llamada Fedetec (*Federación Colombiana de Empresas de Localización y Tecnología Afines*, 2022).

5.5.2.3 Plataforma actual de seguimiento

Actualmente la empresa generadora de carga de productos Cerámicos, cuenta con una plataforma de seguimiento a vehículos de carga llamada AVANSAT GL, del proveedor Grupo OET (Grupo OET, 2022), esta plataforma tiene tres funciones, la primera sirve para recolectar información de todos los viajes que despacha la empresa generadora de carga y sirve para hacer un seguimiento manual por medio de llamadas telefónicas, donde queda guardada la información de la comunicación con el transportador, la segunda funciona como integrador GPS, que por medio de permisos de propietarios de vehículos y alianzas con las empresas de GPS se pueden ver integradas todos los vehículos que tienen GPS, sin importar el proveedor en esta plataforma y la tercera se

puede georreferenciar las ubicaciones de los clientes a nivel nacional, por medio de estas tres funcionalidades el area de torre de control pueden realizar un seguimiento en tiempo real, ya que la plataforma cuenta con una serie de alarmas como ingreso y salida de geocercas y cualquier desvío de ruta.

Figura 25. Plataforma de seguimiento por medio de GPS



Fuente: https://corona.intrared.net/ap/satt_corona/index.php?

5.5.2.4 Modelo de la distribución actual

Actualmente la compañía generadora de carga tiene una persona que realiza el proceso de consolidación de la carga y solicita al area de transportes los vehiculos necesarios para la distribución, para este caso se realizara la entrega de los 84 clientes que están ubicados en Bogotá y zona metropolitana, igualmente se tiene un origen donde cargaran los vehiculos, centro de distribución ubicado en Madrid - Cundinamarca. Para esta distribución se asignaron 72 toneladas de mercancía distribuida en cada uno de los clientes, donde la persona que consolida la mercancía empieza a armar los vehiculos de manera empírica, sin ayuda de una herramienta de ruteo, únicamente a medida que completa el peso en toneladas, genera un documento de transportes en

el ERP SAP y solicita el vehículo, para este caso la tipología de vehículo que más se manejan en la operación son tipo turbo de 4.5 ton.

Una vez que se genera todo el proceso de consolidación de carga y solicitud de los vehiculos, se establecen las siguientes rutas como se puede observar en la tabla No. 13, para la distribución de 72 toneladas, se requieren 18 vehiculos tipo turbo, con un valor total en fletes de \$ 5.435.586, con 2.457 kilómetros recorridos, un tiempo total de ruta de 134 horas y tiempo en conducción de 71 horas aproximadamente.

Tabla 14. Datos distribución actual

<i>RUTA</i>	<i>Carga Asignada</i>	<i>Cantidad de visitas</i>	<i>Valor flete</i>	<i>Tiempo total de ruta</i>	<i>Tiempo en conducción</i>	<i>Km recorridos</i>
1	4,50	6	\$ 301.977	7:07	3:22	104
2	4,20	6	\$ 301.977	8:11	4:26	167
3	4,50	6	\$ 301.977	7:00	3:15	108
4	4,40	5	\$ 301.977	7:21	4:21	152
5	4,10	6	\$ 301.977	7:16	3:31	122
6	4,20	6	\$ 301.977	7:39	3:54	128
7	3,80	6	\$ 301.977	7:57	4:12	138
8	4,10	6	\$ 301.977	7:40	3:55	135
9	4,50	6	\$ 301.977	9:19	5:34	205
10	4,50	7	\$ 301.977	7:51	3:21	112
11	3,80	5	\$ 301.977	6:00	3:00	95
12	3,60	5	\$ 301.977	5:52	2:52	99
13	3,70	6	\$ 301.977	7:38	3:53	133
14	4,00	5	\$ 301.977	8:00	5:00	169
15	4,30	7	\$ 301.977	10:23	5:53	219
16	4,20	6	\$ 301.977	6:59	3:14	105
17	3,80	5	\$ 301.977	8:12	5:12	182
18	1,80	3	\$ 301.977	3:52	2:22	82
Total	72,00	102,00	\$ 5.435.586	134.17	71.17	2.457

Fuente: propia

Para el caso de la distribución actual se grafica únicamente las cuatro primeras rutas con sus respectivas tablas con horas de inicio y llegada de ruta, tiempo de descargue, tiempos de conducción y de ruta general y cantidad de kilómetros recorridos. Igualmente, en la tabla No. 13 se tendrá la información relevante para todas las rutas.

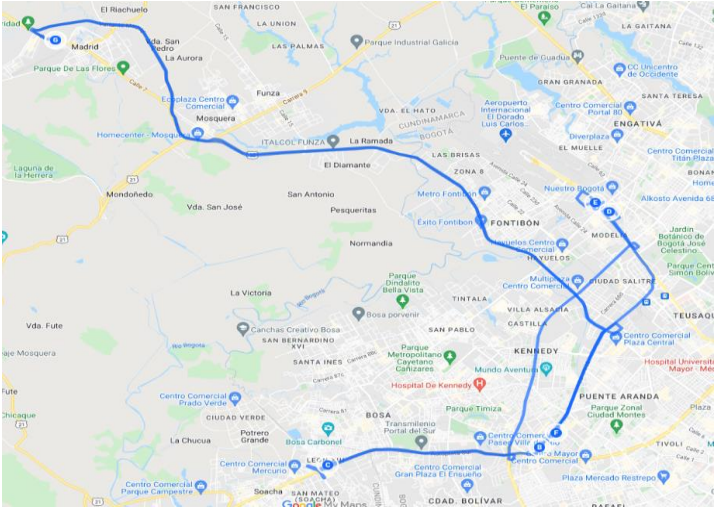
Para la ruta No.1 hará un total de 6 paradas, atendiendo un total de 5 clientes. Recorrerá una distancia de 104 km, entregando un total de 4.5 toneladas, iniciando su recorrido a las 6:00 am y terminado a las 01:07 pm.

Tabla 15. Ruta No. 1 Distribución actual

RUTA	PUNTOS DISPONIBLES	CAPACIDAD VEHICULO DISPONIBLE	DISTANCIA	CARGA VEHICULO	HORA DESPACHO	Tiempo de conducción	HORA LLEGADA	TIEMPO OPERACIÓN	HORA SALIDA
1	Centro de Distribución Madrid			4:30					
	MAXCERAMICA AVENIDA 68	4,5	33		06:00	0:55	6:55	0:45	7:40
	BALDOCER BOG LEON XIII SOACHA	3,5	42		7:40	0:22	8:02	0:45	8:47
	SODIMAC COL S.A DORADO	3	60		8:47	0:38	9:25	0:45	10:10
	AC BODEGA EL DORADO	1,8	62		10:10	0:07	10:17	0:45	11:02
	DECORACIONES Y CERAMICAS ALQUERIA	1	74		11:02	0:25	11:27	0:45	12:12
	Centro de Distribución Madrid	0	104		12:12	0:55	13:07		

Fuente: Propia

Figura 26. Ruta No. 1 Distribución actual



Fuente: Propia

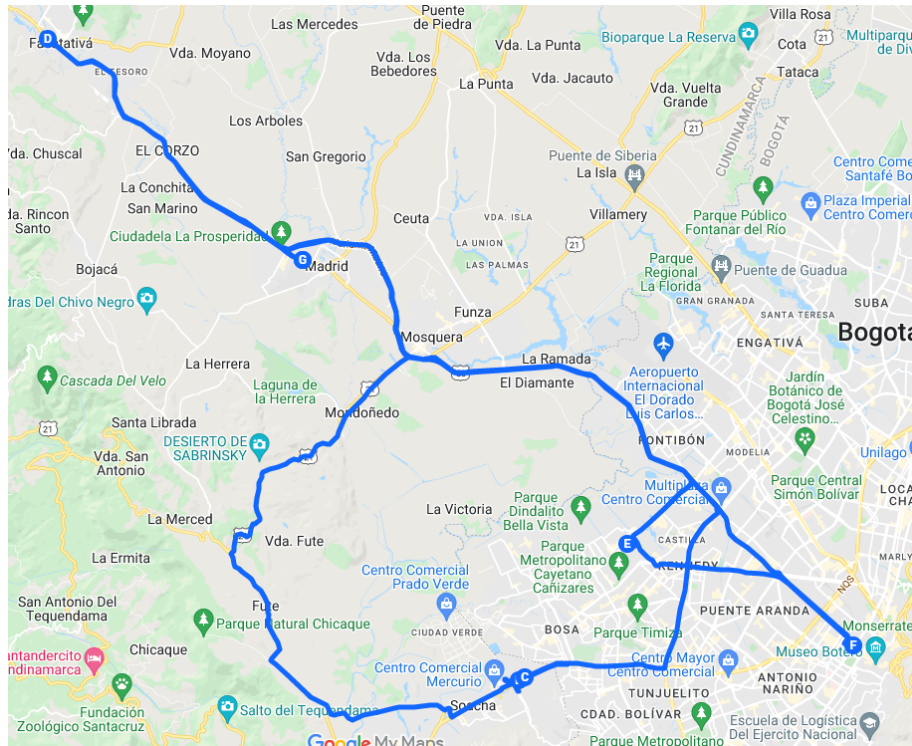
Para la ruta No.2 hará un total de 6 paradas, atendiendo un total de 5 clientes. Recorrerá una distancia de 167 km, entregando un total de 4.2 toneladas, iniciando su recorrido a las 6:00 am y terminado a las 02:11 pm.

Tabla 16. Ruta No. 2 Distribución actual

RUTA	PUNTOS DISPONIBLES	CAPACIDAD VEHICULO DISPONIBLE	DISTANCIA	CARGA VEHICULO	HORA DESPACHO	Tiempo de conducción	HORA LLEGADA	TIEMPO OPERACIÓN	HORA SALIDA
2	Centro de Distribución Madrid			4:30					
	EUROCARIBE LEON XIII	4,5	36		06:00	0:55	6:55	0:45	7:40
	BOSA CENTRO	3,8	36		7:40	0:00	7:40	0:45	8:25
	MAXICASSA (Faca)	2,8	88		8:25	1:18	9:43	0:45	10:28
	COVAL COMERCIAL S, A, S (BOSA)	1,8	126		10:28	0:56	11:24	0:45	12:09
	LOGISTICA FERRETERA S A S	1,3	137		12:09	0:23	12:32	0:45	13:17
	Centro de Distribución Madrid	0,3	167		13:17	0:54	14:11		

Fuente: Propia

Figura 27. Ruta No. 2 Distribución actual



Fuente: Propia

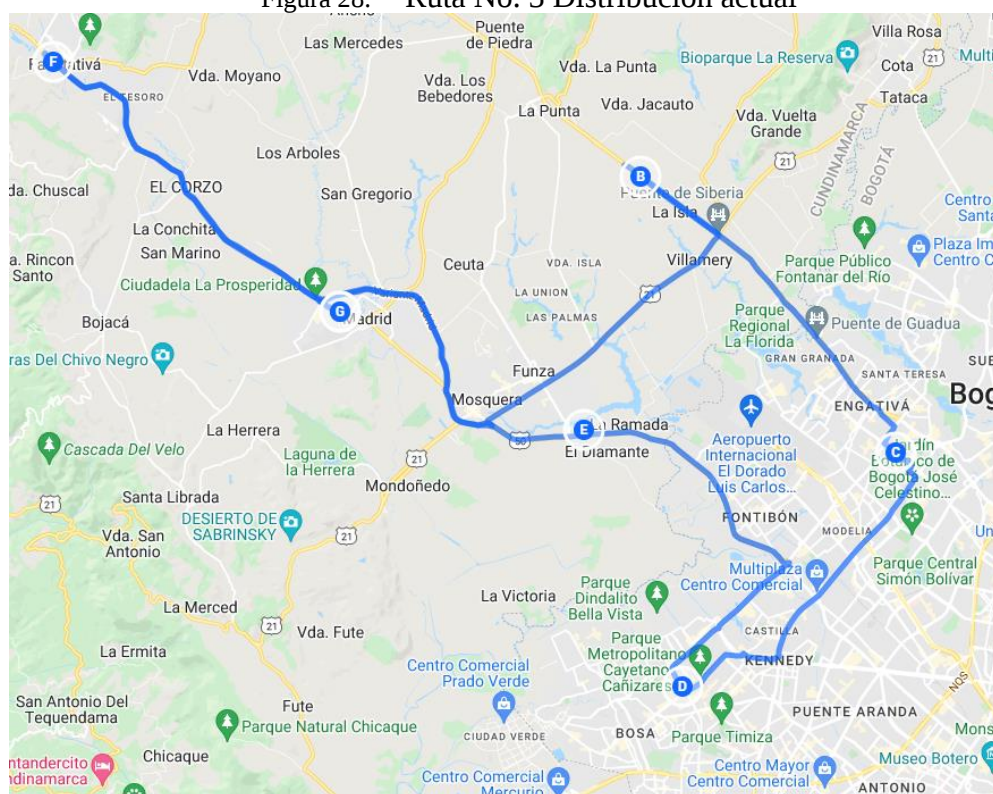
Para la ruta No. 3 hará un total de 6 paradas, atendiendo un total de 5 clientes. Recorrerá una distancia de 108 km, entregando un total de 4.5 toneladas, iniciando su recorrido a las 6:00 am y terminado a las 01:00 pm.

Tabla 17. Ruta No. 3 Distribución actual

RUTA	PUNTOS DISPONIBLES	CAPACIDAD VEHICULO DISPONIBLE	DISTANCIA	CARGA VEHICULO	HORA DESPACHO	Tiempo de conducción	HORA LLEGADA	TIEMPO OPERACIÓN	HORA SALIDA
3	Centro de Distribución Madrid			4:30					
	ALTACOL NORVENTAS S, A, S	4,5	23		06:00	0:35	6:35	0:45	7:20
	DISTRIBUIDORA DE CERAMICAS COLOMBIA	3,5	38		7:20	0:29	7:49	0:45	8:34
	VITRIFICADOS VILLAMIL SAS	2,5	50		8:34	0:26	9:00	0:45	9:45
	COLOMBIANA DE COMERCIO S, A, (BOG)	2	67		9:45	0:44	10:29	0:45	11:14
	FACATATIVA	1	94		11:14	0:42	11:56	0:45	12:41
	Centro de Distribución Madrid	0	108		12:41	0:19	13:00		

Fuente: Propia

Figura 28. Ruta No. 3 Distribución actual



Fuente: Propia

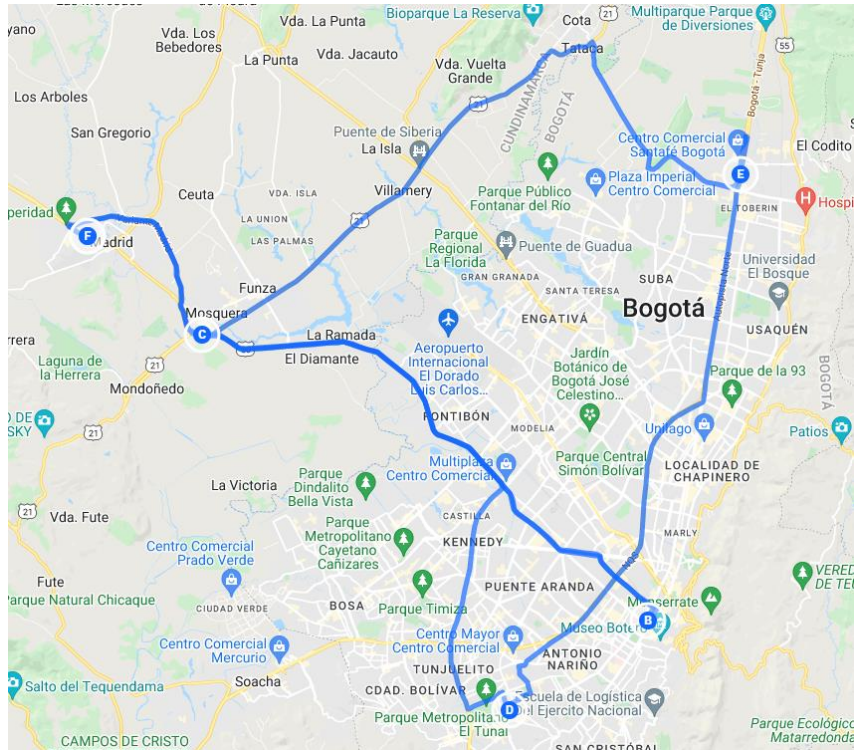
Para la ruta No.4 hará un total de 5 paradas, atendiendo un total de 4 clientes. Recorrerá una distancia de 152 km, entregando un total de 4.4 toneladas, iniciando su recorrido a las 6:00 am y terminado a las 01:21 pm.

Tabla 18. Ruta No. 4 Distribución actual

RUTA	PUNTOS DISPONIBLES	CAPACIDAD VEHICULO DISPONIBLE	DISTANCIA	CARGA VEHICULO	HORA DESPACHO	Tiempo de conducción	HORA LLEGADA	TIEMPO OPERACIÓN	HORA SALIDA
4	Centro de Distribución Madrid			4:30					
	LOGISTICA FERRETERA S A S 1	4,5	32		06:00	0:54	6:54	0:45	7:39
	SODIMAC COL S.A (MOSQUERA)	3,5	56		7:39	0:45	8:24	0:45	9:09
	DECORACIONES Y CERAMICAS SANTA LUCI	2,3	82		9:09	0:51	10:00	0:45	10:45
	SODIMAC COL S.A (NORTE)	1,3	110		10:45	0:43	11:28	0:45	12:13
	Centro de Distribución Madrid	0,1	152		12:13	1:08	13:21		

Fuente: Propia

Figura 29. Ruta No. 4 Distribución actual



Fuente: Propia

Como se observa en la tabla 18, los costos de operación en la situación actual, se tendrá un costo total por kilómetro de \$8.759.275 vs un valor por flete total de \$5.435.586, con un diferencia del 61% correspondientes a \$3.323.689, por otra parte tenemos un costo promedio tonelada x viaje de

\$78.747, en otras palabras el pago de los fletes en la situación actual para la operación de distribución en Bogotá y zona metropolitana, se debe realizar flete x viaje, garantizando el pago y la normatividad SICETAC.

Tabla 19. Costo de la operación situación actual

Costos x Kilometro				Costos x Tonelada			
RUTA	Km recorridos	Valor KM	Costo total	RUTA	Toneladas	Valor flete	Flete x ton
1	104,21	\$ 3.565	\$ 371.549	1	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
2	167,48	\$ 3.565	\$ 597.141	2	4,20	\$ 301.977	\$ 71.899
3	108,03	\$ 3.565	\$ 385.176	3	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
4	151,50	\$ 3.565	\$ 540.186	4	4,40	\$ 301.977	\$ 68.631
5	122,40	\$ 3.565	\$ 436.430	5	4,10	\$ 301.977	\$ 73.653
6	128,47	\$ 3.565	\$ 458.055	6	4,20	\$ 301.977	\$ 71.899
7	137,88	\$ 3.565	\$ 491.610	7	3,80	\$ 301.977	\$ 79.468
8	135,36	\$ 3.565	\$ 482.610	8	4,10	\$ 301.977	\$ 73.653
9	205,03	\$ 3.565	\$ 731.047	9	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
10	112,50	\$ 3.565	\$ 401.107	10	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
11	94,58	\$ 3.565	\$ 337.235	11	3,80	\$ 301.977	\$ 79.468
12	98,62	\$ 3.565	\$ 351.618	12	3,60	\$ 301.977	\$ 83.883
13	133,35	\$ 3.565	\$ 475.440	13	3,70	\$ 301.977	\$ 81.615
14	169,08	\$ 3.565	\$ 602.842	14	4,00	\$ 301.977	\$ 75.494
15	219,27	\$ 3.565	\$ 781.794	15	4,30	\$ 301.977	\$ 70.227
16	105,07	\$ 3.565	\$ 374.608	16	4,20	\$ 301.977	\$ 71.899
17	181,98	\$ 3.565	\$ 648.859	17	3,80	\$ 301.977	\$ 79.468
18	81,89	\$ 3.565	\$ 291.967	18	1,80	\$ 301.977	\$ 167.765
Total			\$ 8.759.275	Total		\$ 5.435.586	\$ 78.747

Fuente: Propia

5.5.2.3 Modelo de la distribución propuesto

Por medio de la aplicación VRP Spreadsheet Solver, podemos desarrollar el ruteo de vehículos, para nuestro problema, como datos de entrada tenemos un centro de distribución y 84 clientes para

realizar entregas en un día, igualmente se utilizarán vehículos tipo turbo de 4.5 toneladas y como parámetro final utilizaremos que tan pronto termine el recorrido vuelva al centro de distribución.

➤ Coordenadas del Bing Maps

Con el ingreso de la dirección de cada punto, podemos conocer la ubicación geográfica (Longitud y latitud), por otro lado, debemos definir el horario de recibo del cliente, esto se define por medio de ventanas horarias, también definimos el tiempo promedio que se puede demorar el descargue en cada punto y por último colocamos el valor de carga asignada en cada cliente, para nuestro caso tenemos una distribución de 72 toneladas repartidas en los 84 clientes.

➤ Utilizar la herramienta VRP Solver para obtener las distancias y los tiempos de recorrido

Una ingresado la información de las direcciones e información general, la herramienta por medio de macros calcula las distancias y tiempos actuales de desplazamiento de centro de distribución a cliente y de cliente a cliente, como podemos observar en la figura 27 la base de datos de las distancias y la figura 28 los tiempos de desplazamiento.

Figura 30. Distancias

Origen / Destino	Centro de Distribución Madrid	AC BODEGA EL DORADO	AC CARPA SOPO	AC CCI AV 68	AC CD HC AUTOPISTA NORTE	AC CD HC VENECIA	AC CD TC AUTONORTE 138	AC CD TC FONTIBON	AC CD TC KENNEDY	AC CD TC MOSQUERA	AC CD TC QUIRIGUA	AC CD TC SANTA LUCIA	AC CD TC SOACHA	AC CD TC SUBA	ALTACOL NORVENTAS S.A.S	BAIDOCER BOG ALCALA	BAIDOCER BOG LEON XIII SOACHA
Centro de Distribución Madrid	0.00	24.97	54.71	34.68	36.47	31.78	38.29	21.35	27.49	12.01	28.73	36.45	36.22	29.80	23.15	37.18	36.24
AC BODEGA EL DORADO	23.50	0.00	42.96	10.44	13.03	12.76	14.85	9.31	9.48	14.28	4.49	17.36	22.37	9.20	15.89	13.74	20.92
AC CARPA SOPO	56.56	47.20	0.00	35.30	30.80	50.01	29.02	48.45	52.19	45.29	41.01	50.02	58.68	39.44	39.80	30.67	57.24
AC CCI AV 68	33.57	10.00	35.60	0.00	5.68	13.02	7.81	14.32	15.51	22.30	4.86	16.60	23.11	9.17	16.81	6.38	21.66
AC CD HC AUTOPISTA NORTE	37.46	13.85	30.32	7.20	0.00	21.91	2.52	19.08	21.08	26.93	9.49	21.92	30.59	9.17	21.44	1.10	29.14
AC CD HC VENECIA	30.15	11.53	49.59	13.87	19.67	0.00	21.80	11.77	8.12	20.94	15.28	6.53	10.78	22.31	26.52	20.37	9.34
AC CD TC AUTONORTE 138	37.82	14.21	30.87	6.29	1.78	21.00	0.00	19.44	23.18	29.44	12.00	21.01	29.67	9.53	23.95	1.65	28.23
AC CD TC FONTIBON	18.67	6.23	47.66	15.94	17.73	13.04	19.55	0.00	8.75	9.46	9.99	17.71	19.30	14.70	19.53	18.44	17.85
AC CD TC KENNEDY	26.93	8.11	49.95	16.25	20.02	7.68	21.84	8.56	0.00	17.72	11.88	10.98	11.08	16.59	23.28	20.73	9.63
AC CD TC MOSQUERA	11.27	16.37	44.09	23.30	27.88	23.18	29.70	12.76	18.90	0.00	19.71	27.85	29.79	19.18	12.53	28.58	29.81
AC CD TC QUIRIGUA	28.71	5.67	38.64	5.96	8.72	16.21	10.54	12.10	12.27	17.44	0.00	20.81	25.82	6.43	11.95	9.42	24.37
AC CD TC SANTA LUCIA	34.85	16.48	49.57	16.87	19.65	4.05	21.78	16.47	11.40	25.64	19.70	0.00	13.93	24.76	31.65	20.36	12.48
AC CD TC SOACHA	31.48	16.94	55.40	22.70	25.48	6.98	27.61	17.18	7.50	26.34	20.40	10.31	0.00	27.43	32.35	26.19	2.19
AC CD TC SUBA	32.00	10.51	34.07	9.37	8.18	22.58	9.28	16.94	17.11	20.73	6.61	27.18	32.19	0.00	15.24	7.03	30.74
ALTACOL NORVENTAS S.A.S	24.70	17.92	39.33	18.54	21.29	28.79	23.11	23.00	24.52	13.43	14.95	33.39	43.23	14.42	0.00	21.99	36.95
BAIDOCER BOG ALCALA	37.57	13.97	29.23	7.37	2.24	22.08	3.70	19.20	21.19	27.05	9.61	22.10	30.76	9.29	21.56	0.00	29.31
BAIDOCER BOG LEON XIII SOACHA	38.98	16.94	55.40	22.70	25.48	6.98	27.61	17.18	7.50	26.34	20.40	10.31	3.02	27.43	32.35	26.19	0.00

Fuente: Propia

Figura 31. Tiempos de desplazamiento

Origen / Destino	Centro de Distribucion Madrid	AC BODEGA EL DORADO	AC CARPA SOPO	AC CCI AV 68	AC CD HC AUTOPISTA NORTE	AC CD HC VENECIA	AC CD TC AUTONORTE 138	AC CD TC FONTIBON	AC CD TC KENNEDY	AC CD TC MOSQUERA	AC CD TC QUIRIGUA	AC CD TC SANTA LUCIA	AC CD TC SOACHA	AC CD TC SUBA	ALTACOL NORVENTAS S,A,S	BALDOCER BOG ALCALA	BALDOCER BOG LEON XIII SOACHA
Centro de Distribucion Madrid	0.00	0.41	1.24	0.57	1.00	0.55	1.01	0.36	0.49	0.19	0.49	1.03	0.53	0.55	0.35	1.00	0.55
AC BODEGA EL DORADO	0.46	0.00	1.00	0.22	0.27	0.27	0.28	0.21	0.24	0.37	0.13	0.34	0.46	0.22	0.29	0.27	0.43
AC CARPA SOPO	1.24	1.00	0.00	0.44	0.39	1.05	0.34	1.07	1.10	1.08	0.52	1.08	1.22	0.52	0.58	0.37	1.19
AC CCI AV 68	0.56	0.20	0.47	0.00	0.15	0.27	0.19	0.28	0.32	0.40	0.11	0.38	0.47	0.18	0.29	0.14	0.45
AC CD HC AUTOPISTA NORTE	1.04	0.29	0.36	0.17	0.00	0.37	0.07	0.35	0.41	0.49	0.20	0.41	0.54	0.18	0.38	0.03	0.52
AC CD HC VENECIA	0.54	0.25	1.06	0.30	0.34	0.00	0.38	0.25	0.22	0.45	0.31	0.16	0.24	0.41	0.48	0.34	0.22
AC CD TC AUTONORTE 138	1.04	0.29	0.37	0.12	0.06	0.33	0.00	0.35	0.38	0.49	0.20	0.36	0.50	0.19	0.38	0.04	0.47
AC CD TC FONTIBON	0.32	0.15	1.07	0.31	0.34	0.29	0.36	0.00	0.23	0.22	0.23	0.37	0.46	0.32	0.36	0.34	0.44
AC CD TC KENNEDY	0.52	0.22	1.14	0.35	0.42	0.23	0.43	0.23	0.00	0.43	0.29	0.31	0.28	0.39	0.45	0.42	0.26
AC CD TC MOSQUERA	0.16	0.30	1.09	0.44	0.49	0.44	0.50	0.25	0.38	0.00	0.36	0.52	0.46	0.40	0.20	0.49	0.47
AC CD TC QUIRIGUA	0.45	0.17	0.54	0.16	0.21	0.33	0.23	0.28	0.31	0.29	0.00	0.40	0.52	0.17	0.18	0.21	0.49
AC CD TC SANTA LUCIA	1.03	0.33	1.08	0.31	0.35	0.13	0.40	0.34	0.30	0.54	0.37	0.00	0.31	0.45	0.56	0.35	0.28
AC CD TC SOACHA	0.57	0.36	1.16	0.40	0.44	0.15	0.48	0.36	0.19	0.56	0.40	0.24	0.00	0.50	0.58	0.43	0.07
AC CD TC SUBA	1.01	0.28	0.51	0.21	0.20	0.42	0.20	0.39	0.42	0.45	0.18	0.50	1.01	0.00	0.34	0.18	0.58
ALTACOL NORVENTAS S,A,S	0.38	0.36	1.00	0.33	0.39	0.50	0.40	0.44	0.50	0.21	0.26	0.58	1.07	0.30	0.00	0.39	1.06
BALDOCER BOG ALCALA	1.06	0.31	0.34	0.18	0.10	0.38	0.07	0.37	0.43	0.52	0.22	0.42	0.56	0.21	0.41	0.00	0.53
BALDOCER BOG LEON XIII SOACHA	1.02	0.37	1.16	0.40	0.44	0.15	0.48	0.37	0.20	0.57	0.40	0.25	0.11	0.50	0.58	0.44	0.00

Fuente: Propia

➤ Parámetros del modelo

- ✓ En cada ruta se debe visitar a todos los clientes, iniciando en el centro de distribución.
- ✓ Una vez se visiten todos los clientes, el vehículo debe regresar al punto de inicio, para este caso al centro de distribución.
- ✓ Todas las rutas deben ser optimas cumpliendo las restricciones de capacidades de los vehiculos.
- ✓ La demanda de cada cliente estará dada en toneladas
- ✓ Se debe minimizar la utilización de los vehiculos, tiempos de recorridos en cada ruta, con el fin de obtener el menor costo posible de kilometro por tonelada.

➤ Información adicional

Costo promedio del viaje es de \$301.977, tipo de vehículo turbo, capacidad de 4.5 Toneladas, horario de inicio de la operación 6 am y horas máximas de conducción 10 horas; al ejecutar la herramienta se obtiene la solución de ruteo para 16 vehiculos, indicado la ruta a realizar, capacidades del vehículo, distancias ejecutadas en cada ruta y tiempos de ejecución en conducción y operación.

Una vez ejecutado el modelo, la herramienta presenta el diseño óptimo para maximizar nuestros beneficios, en este caso del modelo de distribución propuesto, se grafica únicamente las cuatro primeras rutas con sus respectivas tablas con horas de inicio y llegada de ruta, tiempo de descargue, tiempos de conducción y de ruta general y cantidad de kilómetros recorridos. Igualmente, en la tabla No. 23 se tendrá la información relevante para todas las rutas.

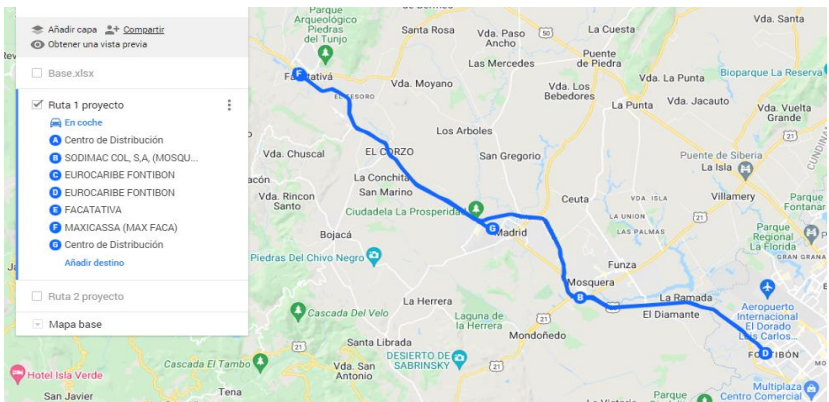
Para la ruta No.1 hará un total de 6 paradas, atendiendo un total de 5 clientes. Recorrerá una distancia de 65.81 km, entregando un total de 4.5 toneladas, iniciando su recorrido a las 6:00 am y terminado a las 11:26 am.

Tabla 20. Ruta No. 1 Modelo de distribución propuesto

RUTA	PUNTOS DISPONIBLES	CAPACIDAD VEHICULO DISPONIBLE	DISTANCIA	CARGA VEHICULO	HORA DESPACHO	Tiempo de conducción	HORA LLEGADA	TIEMPO OPERACIÓN	HORA SALIDA
1	Centro de Distribución Madrid		0,00	4:30					
	SODIMAC COL, S, A (Mosquera)	4,5	9,12		06:00	0:12	6:12	0:45	6:57
	EUROCARIBE FONTIBON	3,3	19,59		06:57	0:23	7:20	0:45	8:05
	BODEGA DE FONTIBON 104	2,6	19,80		08:05	0:00	8:05	0:45	8:50
	FACATATIVA	2	51,28		08:50	0:44	9:34	0:45	10:19
	MAXICASSA FACA	1	51,43		10:19	0:00	10:19	0:45	11:04
	Centro de Distribución Madrid	0	65,81		11:04	0:22	11:26		

Fuente: Propia

Figura 32. Ruta No. 1 Modelo de distribución propuesto



Fuente: Propia

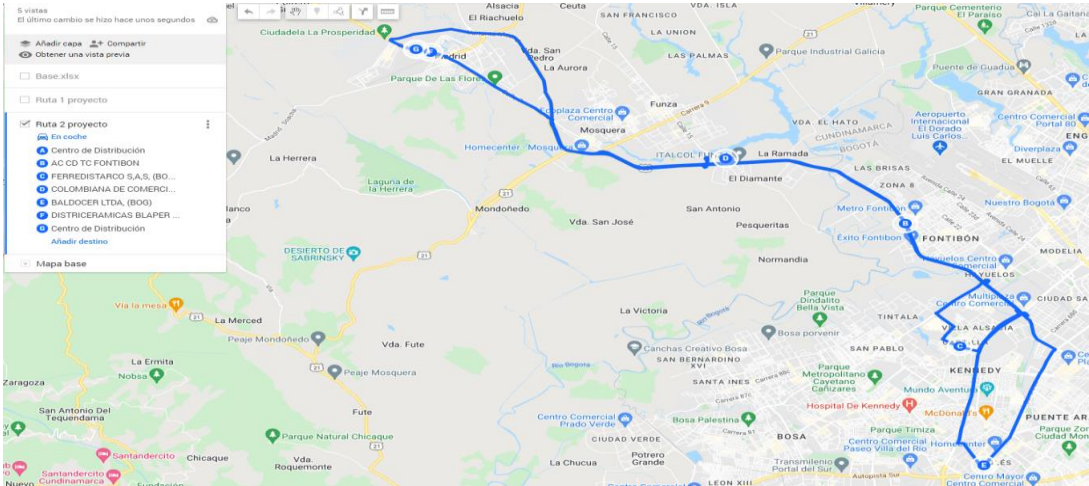
Para la ruta No.2 hará un total de 6 paradas, atendiendo un total de 5 clientes. Recorrerá una distancia de 50.75 km, entregando un total de 4.5 toneladas, iniciando su recorrido a las 6:00 am y terminado a las 11:36 am.

Tabla 21. Ruta No. 2 Modelo de distribución propuesto

RUTA	PUNTOS DISPONIBLES	CAPACIDAD VEHICULO DISPONIBLE	DISTANCIA	CARGA VEHICULO	HORA DESPACHO	Tiempo de conducción	HORA LLEGAD A	TIEMPO OPERACIÓN	HORA SALIDA
2	Centro de Distribución Madrid		0,00	4:30					
	AC CD TC FONTIBON	4,5	18,67		06:00	0:32	6:32	0:45	7:17
	FERREDISTARCO S.A.S (Bogota)	3,7	25,95		07:17	0:17	7:34	0:45	8:19
	COLOMBIANA DE COMERCIO S, A, (BOG)	3	38,78		08:19	0:31	8:50	0:45	9:35
	BALDOCER LTDA, (BOG) 1	2	42,60		09:35	0:14	9:49	0:45	10:34
	DISTRICERAMICAS BLAPER S.A.S	1	50,34		10:34	0:16	10:50	0:45	11:35
	Centro de Distribución Madrid	0	50,75		11:35	0:01	11:36		

Fuente: Propia

Figura 33. Ruta No. 2 Modelo de distribución propuesto



Fuente: Propia

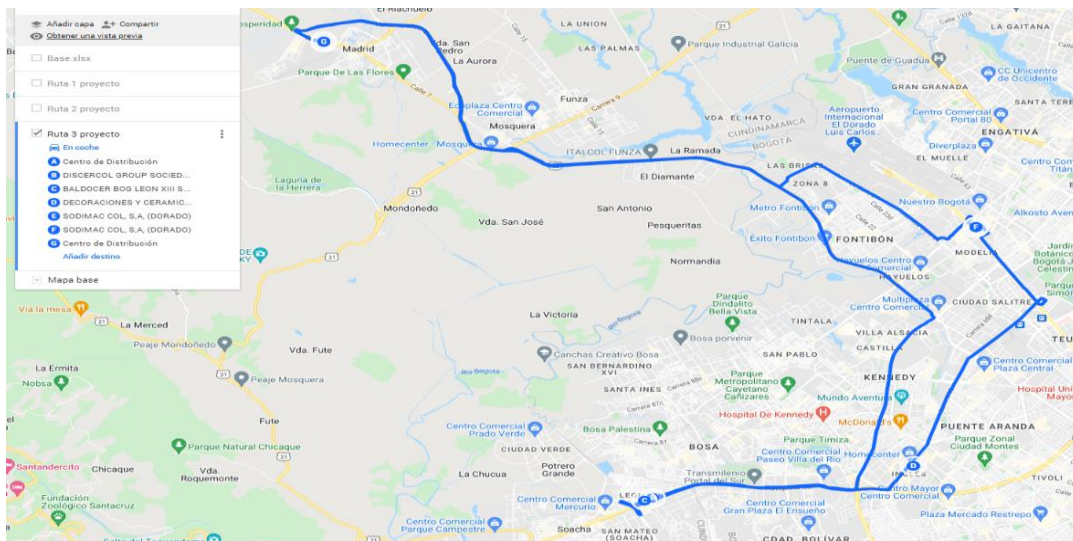
Para la ruta No. 3 hará un total de 6 paradas, atendiendo un total de 5 clientes. Recorrerá una distancia de 78.03 km, entregando un total de 4.5 toneladas, iniciando su recorrido a las 6:00 am y terminado a las 12:06 pm.

Tabla 22. Ruta No. 3 Modelo de distribución propuesto

RUTA	PUNTOS DISPONIBLES	CAPACIDAD VEHICULO DISPONIBLE	DISTANCIA	CARGA VEHICULO	HORA DESPACHO	Tiempo de conducción	HORA LLEGADA	TIEMPO OPERACIÓN	HORA SALIDA
3	Centro de Distribución Madrid		0,00	4:30					
	DISCERCOL GROUP SOCIEDAD POR ACCION	4,5	31,25		06:00	0:57	6:57	0:45	7:42
	BALDOCER BOG LEON XIII SOACHA	3,9	31,47		07:42	0:00	7:42	0:45	8:27
	DECORACIONES Y CERAMICAS ALQUERIA	3,4	41,17		08:27	0:22	8:49	0:45	9:34
	SODIMAC COL S, A (DORADO) 1	2,4	52,05		09:34	0:22	9:56	0:45	10:41
	SODIMAC COL S. A (DORADO)	1,2	52,05		10:41	0:00	10:41	0:45	11:26
	Centro de Distribución Madrid	0	78,03		11:26	0:43	12:09		

Fuente: Propia

Figura 34. Ruta No. 3 Modelo de distribución propuesto



Fuente: Propia

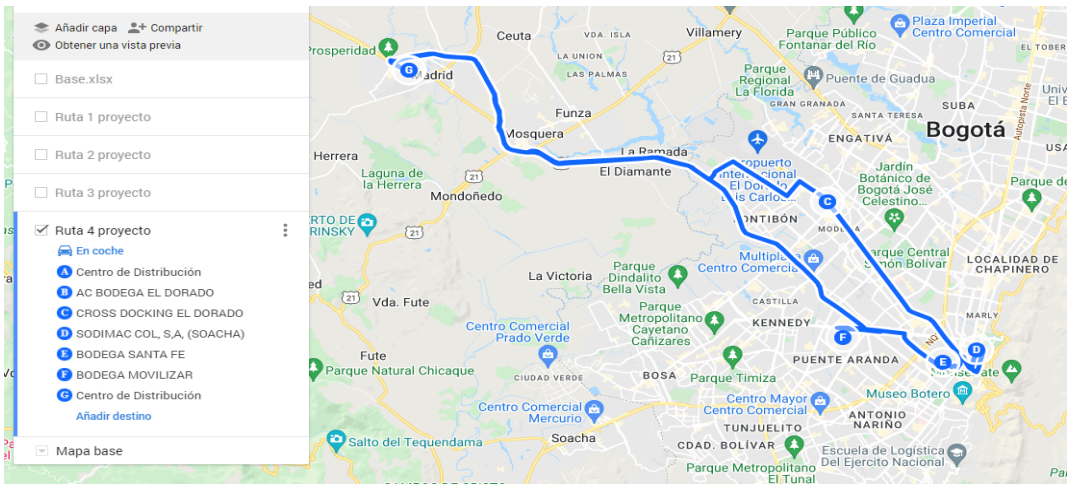
Para la ruta No. 4 hará un total de 6 paradas, atendiendo un total de 5 clientes. Recorrerá una distancia de 78.03 km, entregando un total de 4.5 toneladas, iniciando su recorrido a las 6:00 am y terminado a las 12:06 pm.

Tabla 23. Ruta No. 4 Modelo de distribución propuesto

RUTA	PUNTOS DISPONIBLES	CAPACIDAD VEHICULO DISPONIBLE	DISTANCIA	CARGA VEHICULO	HORA DESPACHO	Tiempo de conducción	HORA LLEGADA	TIEMPO OPERACIÓN	HORA SALIDA
4	Centro de Distribución Madrid		0,00	4:30					
	AC BODEGA EL DORADO	4,5	23,50		06:00	0:46	6:46	0:45	7:31
	CROSS DOCKING EL DORADO	3,7	23,50		07:31	0:00	7:31	0:45	8:16
	SODIMAC COL S.A SOACHA	2,7	34,54		08:16	0:20	8:36	0:45	9:21
	BODEGA SANTA FE	1,5	38,25		09:21	0:10	9:31	0:45	10:16
	BODEGA MOVILIZAR	0,5	44,54		10:16	0:15	10:31	0:45	11:16
	Centro de Distribución Madrid	0	73,44		11:16	0:48	12:04		

Fuente: Propia

Figura 35. Ruta No. 4 Modelo de distribución propuesto



Fuente: Propia

En las rutas podemos validar que tenemos entre 6 y 7 paradas por vehículo, con un porcentaje de ocupación del 100% en cada uno de los vehículos, un costo de flete x tonelada de \$67.106 y un flete por km de \$3.565, la ruta numero 16 con mayor tiempo de recorrido y distancia, la ruta 6 con menor tiempo y distancia recorrida.

Tabla 24. Indicadores de rutas

Indicadores							
RUTA	Flete x Ton	Flete x Km	% Ocupación	Tiempo total en ruta	Tiempo en conducción	Cantidad de clientes	Km recorridos
1	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	5:26	1:41	6	65,8
2	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	5:36	1:51	6	50,7
3	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	6:09	2:24	6	78,0
4	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	6:04	2:19	6	73,4
5	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	6:42	2:57	6	75,8
6	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	5:44	1:59	6	58,8
7	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	6:42	2:12	7	71,0
8	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	6:29	1:59	7	63,4
9	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	5:41	1:56	6	64,5
10	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	5:08	1:23	6	49,0
11	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	6:50	2:20	7	72,4
12	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	7:00	3:15	6	107,9
13	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	6:04	2:19	6	79,2
14	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	5:45	2:00	6	70,2
15	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	6:14	2:29	6	83,6
16	\$ 67.106	\$ 3.565	100,00%	8:16	3:46	7	145,6

Fuente: propia

Tabla 25. Datos Modelo de distribución propuesta

<i>RUTA</i>	<i>Carga Asignada</i>	<i>Cantidad de visitas</i>	<i>Valor flete</i>	<i>Tiempo total de ruta</i>	<i>Tiempo en conducción</i>	<i>Km recorridos</i>
1	4,50	6	\$ 301.977	5:26	1:41	65,8
2	4,50	6	\$ 301.977	5:36	1:51	50,7
3	4,50	6	\$ 301.977	6:09	2:24	78,0
4	4,50	6	\$ 301.977	6:04	2:19	73,4
5	4,50	6	\$ 301.977	6:42	2:57	75,8
6	4,50	6	\$ 301.977	5:44	1:59	58,8
7	4,50	7	\$ 301.977	6:42	2:12	71,0
8	4,50	7	\$ 301.977	6:29	1:59	63,4
9	4,50	6	\$ 301.977	5:41	1:56	64,5
10	4,50	6	\$ 301.977	5:08	1:23	49,0
11	4,50	7	\$ 301.977	6:50	2:20	72,4
12	4,50	6	\$ 301.977	7:00	3:15	107,9
13	4,50	6	\$ 301.977	6:04	2:19	79,2
14	4,50	6	\$ 301.977	5:45	2:00	70,2
15	4,50	6	\$ 301.977	6:14	2:29	83,6
16	4,50	7	\$ 301.977	8:16	3:46	145,6
Total	72,00	100,00	\$ 4.831.632	99,50	36,50	1209

Fuente: Propia

Como se observa en la tabla 26, los costos de la operación tanto como el costo x tonelada y el costo x kilómetro, tendrían una diferencia de \$519.885, que representa el 11%, en otras palabras, el pago de los fletes para la operación de distribución y zona metropolitana de Bogotá se debe realizar por kilómetro recorrido, garantizando el pago y la normatividad SICETAC.

Tabla 26. Costos de la operación

Costos x Kilometro				Costos x Tonelada			
RUTA	Km recorridos	Valor KM	Costo total	RUTA	Toneladas	Valor flete	Flete x ton
1	65,81	\$ 3.565	\$ 234.652	1	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
2	50,75	\$ 3.565	\$ 180.941	2	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
3	78,03	\$ 3.565	\$ 278.226	3	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
4	73,44	\$ 3.565	\$ 261.853	4	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
5	75,76	\$ 3.565	\$ 270.122	5	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
6	58,80	\$ 3.565	\$ 209.665	6	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
7	70,98	\$ 3.565	\$ 253.075	7	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
8	63,39	\$ 3.565	\$ 226.027	8	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
9	64,53	\$ 3.565	\$ 230.078	9	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
10	48,98	\$ 3.565	\$ 174.631	10	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
11	72,38	\$ 3.565	\$ 258.070	11	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
12	107,90	\$ 3.565	\$ 384.716	12	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
13	79,17	\$ 3.565	\$ 282.262	13	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
14	70,17	\$ 3.565	\$ 250.190	14	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
15	83,57	\$ 3.565	\$ 297.961	15	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
16	145,64	\$ 3.565	\$ 519.278	16	4,50	\$ 301.977	\$ 67.106
Total			\$ 4.311.747	Total		\$ 4.831.632	\$ 67.106

Fuente: (Propia)

A continuación presentaremos un cuadro comparativo del modelo actual y el propuesto, como se observa en la tabla 26, ejecutando el modelo propuesto tendremos optimización en la flota, que pasaría de 18 a 16 vehiculos por dia, cantidad total de kilómetros recorridos por la flota con una disminución del 51%, el tiempo de ruta total que pasaría de 134.17 a 99.5 horas y una reducción en el tiempo de conducción del 49%, ya pasando al costo logístico, tenemos una reducción en fletes del 11% y si los fletes se liquidaran por kilómetro recorrido una reducción del 51%, teniendo en cuenta la normatividad del ministerio de transportes con el SICE-TAC.

Tabla 27. Comparativo modelo actual vs propuesto

<i>Ítem</i>	<i>Modelo actual</i>	<i>Modelo propuesto</i>	<i>Variaciones</i>
Cantidad de toneladas	72	72	0%
Cantidad de vehiculos	18	16	11%
Número de clientes promedio x vehículo	5,6	6,3	-13%
Cantidad de kilómetros recorridos	2457	1209	51%
Tiempo total de rutas (Horas)	134,17	99,50	74%
Tiempo en conducción (Horas)	71,17	36,50	49%
Valor total fletes	\$ 5.435.586	\$ 4.831.632	11%
Flete x kilometro	\$ 3.565	\$ 3.565	0%
Valor total de fletes x kilometro	\$ 8.758.071	\$ 4.311.155	51%
Flete x tonelada promedio	\$ 78.747	\$ 67.106	15%
Valor total de fletes x tonelada	\$ 5.669.784	\$ 4.831.632	15%

Fuente: (Propia)

Para este modelo ya adoptado en varias partes del mundo en la actualidad, puede servir como herramienta tecnología para el ruteo de vehiculos a bajo costo y obteniendo grandes beneficios a nivel empresarial, igualmente podemos concluir que las hipótesis que tenemos en este trabajo de investigación son verdaderas, teniendo en cuenta que para asegurar las entregas en la última milla, debemos tener presente: planeación y conocimiento de las rutas, evitar largos desplazamientos para reducir costos en transportes y cumplimiento en la entrega, por ultimo debemos optar por un modelo de optimización, teniendo presente las diferentes variables para que la operación sea controlada con generación de ahorros.

Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones

Este trabajo de investigación recopila información de varios aspectos, en problemas logísticos que actualmente presentan las compañías, como se pudo evidenciar al inicio del trabajo el tema de incumplimiento en las entregas por la falta de planeación de las rutas, seguido por una revisión literaria de los últimos 50 años con los diferentes modelos y taxonomía de problema de ruteo de vehiculos, seguido por las herramientas existentes para el seguimiento de las entregas, luego por la normatividad impuesta a los vehiculos de carga en la ciudad de Bogotá, validando aspectos importantes sobre el costo logístico y por ultimo los diferentes escenarios que puede tener la empresa generadora de carga adoptando una herramienta de ruteo.

Según revisión literaria podemos concluir que al transcurrir los años, se han creado modelos para mejorar la logistica de entrega de mercancía, también llamada distribución urbana o entregas de última milla, dado que los investigadores han desarrollado y mejorado varios modelos para llegar al objetivo de optimizar recursos dados en las organizaciones, igualmente podemos indicar que a partir del año 2000 hemos tenido un incremento anual, con una tasa del 6% con respecto a la literatura de este tema, por otra parte un impacto positivo debido a la mayor capacidad computacional actual y gran cantidad de variables para obtener mejores resultados en los modelos.

En la adopción de un modelo para las entregas de mercancía en la última milla, la puntualidad de la entrega es un factor clave para la competitividad entre las compañías, las cuales deben adquirir nueva tecnología, para realizar procesos complejos y de alta demanda, es por ello que en la actualidad existen herramientas o software tecnológicos conocidos como ruteadores y plataformas que sirven como monitores automáticos de seguimiento de vehiculos a través de tecnologías GPS,

igualmente podemos optar por la alternativa de tercerizar las operaciones de seguimiento en compañías expertas en estos procesos, las cuales ya cuentan con una infraestructura tecnológica propia para suplir este servicio.

Para llevar a cabo un modelo y especialmente el de ruteo, debemos tener información de primera mano acerca de todas las leyes, decretos, políticas, planes y restricciones que tienen las autoridades competentes de cada municipio, ciudad, departamento y país, con el fin de analizar cada variable que puede impactar un modelo de distribución, actualmente la ciudad de Bogotá cuenta con un plan de movilidad, el cual presenta una serie de restricciones viales, para la circulación de vehículos de carga, en ciertos horarios del día, por ende debemos acatarlos y buscar nuevas estrategias y alternativas para las entregas de mercancía. Igualmente podemos concluir que la malla vial en la ciudad de Bogotá es ineficiente para la cantidad de mercancía y vehículos circulando por las principales vías de la ciudad.

Por otra parte, con la ayuda de herramientas tecnológicas ya existentes, podemos implementar un modelo de ruteo, el cual beneficiara en gran parte en la toma de decisiones para la distribución de mercancía, igualmente se obtiene beneficios económicos, donde podemos optimar rutas de entregas, disminuir la cantidad de vehículos para la distribución y mejorar los tiempos de recorridos de los camiones, también podemos concluir que cada empresa tiene un modelo diferente para realizar la distribución de mercancía, por lo cual estas herramientas se pueden adoptar fácilmente, dependiendo la cantidad de variables que tenga el modelo, para nuestro caso la variable de ventanas de tiempo es de suma importancia, para evitar reprocesos de visitas múltiples al mismo cliente por entregas fallidas.

Como recomendaciones y aportes para trabajos futuros, podemos sugerir los siguientes puntos:

- Para llevar a cabo un modelo de entregas de última milla, debemos primero validar la literatura existente del tema, luego buscar los modelos más acordes con nuestro trabajo de investigación y enseguida analizar todas y cada una de las variables, tratando de mejorar el modelo, adicionando o quitando variables que nos lleve al objetivo propuesto.
- Las empresas deben adoptar nueva tecnología para realizar sus procesos más ágiles y simples, es por ello por lo que se recomienda validar las herramientas existentes en el mercado para diseño de rutas, seguimientos y administración de flotas, que se acoplen según necesidad de cada empresa, en Colombia hay varias compañías que tienen desarrollado paquetes de esta magnitud y prestan el servicio con integraciones simples entre los sistemas para tener una operación más controlada y con una visión 360.
- Con respecto a la normatividad vigente y restricciones a la movilidad para vehículos de carga en la ciudad de Bogotá, podemos recomendar un modelo de entregas de mercancía en horarios nocturnos para clientes B2B, esto con el fin de mejorar la movilidad en la ciudad en los horarios pico y optimizando tiempos de recorridos y disminución en esperas para descargues.
- Para la adopción de un modelo de ruteo, podemos adquirir herramientas a cero costos o realizar una inversión en plataformas más estructuradas y tecnificadas para tener una visión 360 de nuestras operaciones, también se recomienda investigar el mercado con los startups, acerca de los nuevos desarrollos a nivel mundial para cubrir necesidades de ruteo.

- Para trabajos futuros podemos analizar un aspecto muy importante como la disminución de la huella de carbono que emiten los vehículos de carga en Colombia, tomando como punto de partida la optimización de la ruta, que por ende disminuirán los recorridos y tiempos de movilización, los cuales impactarán positivamente a la huella de carbono.

- Por otro lado, también podemos realizar trabajos de zonificación en las ciudades para evaluar el impacto de ubicar bodegas estratégicamente con respecto a la demanda presentada por los clientes y tener un reaprovisionamiento nocturno constante, para mantener los inventarios adecuados y poder cumplir con la demanda de los clientes y entregas en menos en menos de 24 horas.

Referencias

- (3) *Ministerio de Transporte - Resolución No. 20213040034405 del 6 de agosto de 2021.pdf*. (n.d.).
- Adarme Jaimes, W., Arango Serna, M., & Cárdenas, I. (2014). Logistics Behavior in the Last Mile Distribution of Alimentary Products in Villavicencio, Colombia. *Revista EIA*, 21, 145–156.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2020). Decreto 077 de 2020: Por medio del cual se modifica el Decreto Distrital 840 de 2019 y se dictan otras disposiciones. *Registro Distrital No. 6751 Del 05 de Marzo de 2020, 077*.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2022). *Restricción a la circulación del distrito capital. ¿Cuáles Son Las Áreas y Horarios de Restricción de Circulación de Vehículos de Transporte de Carga En El Distrito Capital?*
https://www.movilidadbogota.gov.co/web/preguntas_frecuentes/cuales_son_las_areas_y_horarios_de_restriccion_de_circulacion_de_vehiculos_de_0
- Alfieri, A., de Marco, A., & Pastore, E. (2019). Last mile logistics in Fast Fashion supply chains: A case study. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1693–1698.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.444>
- Amaral, J. C., & Cunha, C. B. (2020). An exploratory evaluation of urban street networks for last mile distribution. *Cities*, 107(May), 102916. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102916>
- Bedaux, P., & Schreppers, M. (2018). Distribución urbana de mercancías: Retos y soluciones. *Miebach Consulting España*, 3–8.
- beetrack. (n.d.). *Rastreo inteligente de vehículos: 3 tecnologías de monitoreo de transporte*.
<https://www.beetrack.com/es/blog/rastreo-inteligente-monitoreo>
- beetrack. (2019). *Logística de última milla: 7 estrategias para entregas exitosas*.
<https://www.beetrack.com/es/blog/5-mejores-practicas-entregas-ultima-milla>
- Board, T. R., of Sciences Engineering, & Medicine. (2015). *Improving Freight System Performance in Metropolitan Areas: A Planning Guide* (J. Holguín-Veras, J. Amaya-Leal, J. Wojtowicz, M. Jaller, C. González-Calderón, I. Sánchez-Díaz, X. Wang, D. G. Haake, S. S. Rhodes, R. J. Frazier, M. K. Nick, J. Dack, L. Casinelli, & M. Browne (Eds.)). The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/22159>
- Boyer, K. K., Frohlich, M. T., & Hult, and G. T. M. (2004). EXTENDING THE SUPPLY CAHIN. In *Special discounts on bulk quantities ofAMACOM books are available to corporations, professional associations, and other organizations. For details, contact Special Sales Department, AMACOM, a division ofAmerican Management Association, 1601 Broadway, New .*
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuyse, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers and Industrial Engineering*, 99(December), 300–313. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.007>
- Cardenas, I., Borbon-Galvez, Y., Verlinden, T., Van de Voorde, E., Vanelslender, T., & Dewulf, W. (2017). City logistics, urban goods distribution and last mile delivery and collection. *Competition and Regulation in Network Industries*, 18(1–2), 22–43.
<https://doi.org/10.1177/1783591717736505>
- CEPAL. (2021). Oportunidades y desafíos para la implementación de blockchain en el ámbito logístico de América Latina y el Caribe. *Facilitacion Del Comercio Y Logistica En America*

Latina.

- Chen, L., Chen, Y., & Langevin, A. (2021). An inverse optimization approach for a capacitated vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 295(3), 1087–1098. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.03.031>
- Dana, P. H. (1997). *Global Positioning System (GPS) Time Dissemination for Real-Time Applications*. 40, 9–40.
- De, D., Sánchez, S. H., Esther, M., Torres, L., Cortés, I. D. M., Arizmendi, A. T., & Ramírez-reivich, A. C. (2020). “*Diseño de un vehículo eléctrico de última milla para la entrega de paquetería.*”
- Digital, C., & Aecoc, S. (n.d.). *C84 – Tendencias en logística : tecnología y complejidad*. 20–24.
- Echeverría, D., & C, H. A. (n.d.). *El Problema de Rutas de Vehículos : Extensiones y Métodos de*.
- Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers and Industrial Engineering*, 57(4), 1472–1483. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.05.009>
- Erdoğan, G. (2017). An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems. *Computers and Operations Research*, 84, 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.02.022>
- Federación Colombiana de Empresas de localización y Tecnología Afines. (2022).
- Galván, D., Magín, J., Estrada, M., & Robusté Antón, F. (2003). Las nuevas tecnologías de la información y la distribución urbana de mercancías. *Economía Industrial*, 353, 51–64.
- Gaviria, D. G. (2020). *Presentación de resultados*.
- Giret, A., Carrascosa, C., Julian, V., Rebollo, M., & Botti, V. (2018). A crowdsourcing approach for sustainable last mile delivery. *Sustainability (Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/su10124563>
- Grupo OET. (2022). <https://www.grupooet.com/>.
- Gutierrez-Franco, E., Mejia-Argueta, C., & Rabelo, L. (2021). Data-driven methodology to support long-lasting logistics and decision making for urban last-mile operations. *Sustainability (Switzerland)*, 13(11), 1–33. <https://doi.org/10.3390/su13116230>
- Holguín-veras, J., & Thorson, E. (n.d.). *Trip Length Distributions in Freight Demand Modeling Investigation of Relationships*. 00.
- Johnson, D., & Chaniotakis, E. (2021). *Innovative last mile delivery concepts: Evaluating last mile delivery using a traffic simulator*. 1–6. <https://doi.org/10.1109/mt-its49943.2021.9529279>
- Kairuz, K. (2014). *Estudio y aplicación de los modelos de transporte de carga urbano: generación, atracción y distribución de transporte de carga en la ciudad de Bogotá*. 148.
- Kapidani, N., Bauk, S., & Davidson, I. E. A. (2021). Developing countries’ concerns regarding blockchain adoption in maritime. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/jmse9121326>
- Liu, W. (2020). Route Optimization for Last-Mile Distribution of Rural E-Commerce Logistics Based on Ant Colony Optimization. *IEEE Access*, 8, 12179–12187. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964328>
- Lluís Goñalons. (2019). *C84 | La última milla “Lo quiero rápido, antes y gratis.”* <https://www.aecoc.es/articulos/c84-la-ultima-milla-lo-quiero-rapido-antes-y-gratis/>
- Logística de Última Milla Retos y soluciones en España. (2020).
- Mangano, G., & Zenezini, G. (2019). The Value Proposition of innovative Last-Mile delivery services from the perspective of local retailers. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2590–2595.

- <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.597>
- Martínez, E. J. (2018). Análisis de la virtualidad en las ciencias exactas para administración de empresas: Una reflexión tecnopedagógica en la Corporación Universitaria Americana. In *Desarrollos en Investigación para la Competitividad Empresarial y de Negocios*.
- Medina, R., Bibiana, L., Rota, G. La, Cristina, E., & Castro, O. (2011). *Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos : Evolución histórica y métodos de solución* State of the art review of the vehicle routing Resumen.
- Menoyo, E. H. (2006). *La Logística urbana: conceptos básicos y proposiciones*.
- Muñoz, A., & Barrera, V. (2020). *Problema de Localización y Ruteo en Ambientes de Última Milla*. 1–114.
- Ocampo, E. M. T. (2016). (2016). *Solución del problema de localización y ruteo usando un modelo matemático flexible y considerando efectos ambientales*.
- Orjuela-Castro, J. A., Orejuela-Cabrera, J. P., & Adarme-Jaimes, W. (2019). Last mile logistics in mega-cities for perishable fruits. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(2), 318–327. <https://doi.org/10.3926/jiem.2770>
- Osman, I. H., & Laporte, G. (1996). *Metaheuristics : A bibliography Metaheuristics : A bibliography*. 63.
- Para, Q. U. E., El, O., En, M., & Computacionales, S. (2020). *PLATAFORMA I O T PARA EL RASTREO*.
- Patel. (2019). 済無No Title No Title No Title. 9–25.
- Peña, A., & Pérez, J. (2019). Diagnóstico Actual Logística Urbana De La Ciudad De Bogotá Y Posibles Alternativas De Mejora. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 66.
- Peñaloza, C., Mójica, A., Escobar, M., Guio, G., Ramos, L., & Rivera, N. (2019). Transporte en cifras. *Ministerio de Transporte*, 84.
- Pineda Zapata, U., & Carabalí Ararat, H. (2020). Un Problema de Enrutamiento del Vehículo con Enfoque de Ventanas de Tiempo para Mejorar el Proceso de Entregas. In *Ingeniería* (Vol. 25, Issue 2, pp. 117–143). <https://doi.org/10.14483/23448393.15271>
- Pronello, C., Camusso, C., & Valentina, R. (2017). Last mile freight distribution and transport operators' needs: Which targets and challenges? *Transportation Research Procedia*, 25, 888–899. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.464>
- Ramírez-villamil, A., & Montoya-torres, J. R. (2020). *Proceedings of the 2020 Winter Simulation Conference K.-H. Bae, B. Feng, S. Kim, S. Lazarova-Molnar, Z. Zheng, T. Roeder, and R. Thiesing, eds*. 1276–1287.
- Reyes, D., Savelsbergh, M., & Toriello, A. (2017). Vehicle routing with roaming delivery locations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 80, 71–91. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.04.003>
- Ricciardi, N., & Storch, G. (n.d.). *Models for Evaluating and Planning City Logistics Systems*.
- Rouhiainen, L. (2008). Inteligencia artificial 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro. *Alienta Editorial*, 22.
- Secretaría Distrital de Movilidad. (2019). *Revisión y actualización del Plan Maestro de Movilidad de Bogotá*. 40.
- Snoeck, A., & Winkenbach, M. (2020). The value of physical distribution flexibility in serving dense and uncertain urban markets. *Transportation Research Part A*, 136(February), 151–177. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.02.011>
- Superior, E. (n.d.). *Mathematical Model for the Optimization of the VRP of a Heterogeneous Fixed Fleet with Time Windows Modelo Matemático para la Optimización del VRP de una*

- Flota Fija Heterogénea con Ventanas de Tiempo HFFCVRPTW*. July 2019, 24–26.
- Wang, J., Yang, Y., Wang, T., Simon Sherratt, R., & Zhang, J. (2020). Big data service architecture: A survey. *Journal of Internet Technology*, 21(2), 393–405. <https://doi.org/10.3966/160792642020032102008>
- Yu, J. J. Q., Yu, W., & Gu, J. (2019). Online Vehicle Routing with Neural Combinatorial Optimization and Deep Reinforcement Learning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(10), 3806–3817. <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2909109>
- Yu, V. F., Winarno, Lin, S. W., & Gunawan, A. (2020). Design of a two-echelon freight distribution system in an urban area considering third-party logistics and loading–unloading zones. *Applied Soft Computing*, 97, 106707. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106707>
- Zhang, Q., Li, Y., & Cai, Q. (2021). Investigation on the Last-Mile Delivery of Rural Logistics Under Crowdsourcing Transportation in China. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 11(1), 75–93. [https://doi.org/10.7708/ijtte.2021.11\(1\).04](https://doi.org/10.7708/ijtte.2021.11(1).04)

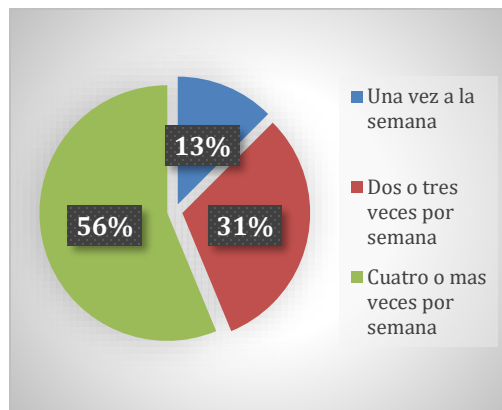
Apéndices

Anexos

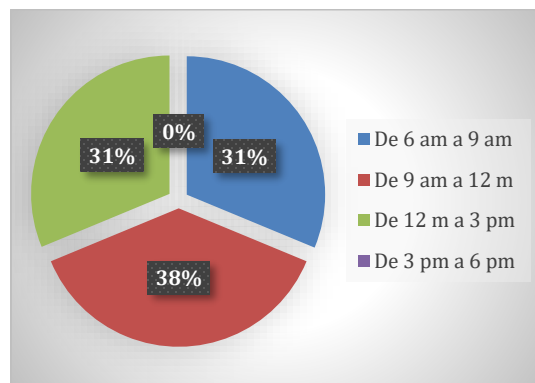
Resultados de la encuesta

Se realizó la encuesta a 16 clientes de la compañía que produce productos cerámicos, ubicados en Bogotá y zona metropolitana, estos fueron escogidos al azar mediante la técnica de números aleatorios, igualmente el contacto se realizó por vía telefónica al encargo de recibir la mercancía en cada uno de los puntos, dentro de los resultados de la encuesta se pueden identificar factores claves para mejorar la entrega de la última milla. Estos fueron los resultados:

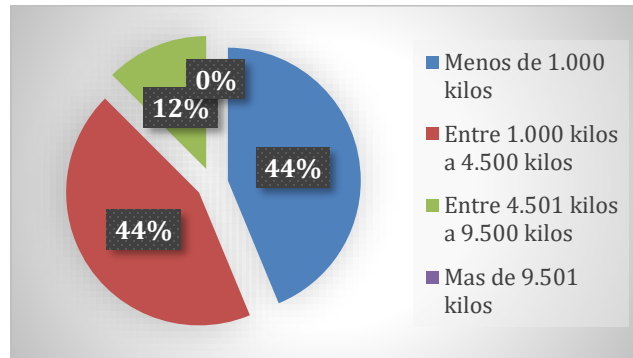
1. Con que frecuencia semanal recibe productos cerámicos en su punto de venta o bodegas.



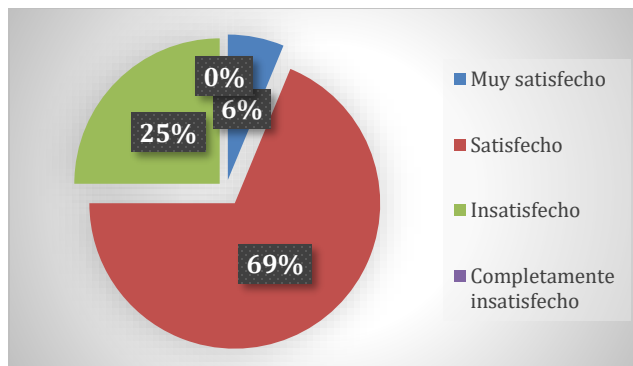
2. Que franja de horario prefiere recibir productos cerámicos en su punto de venta o bodegas.



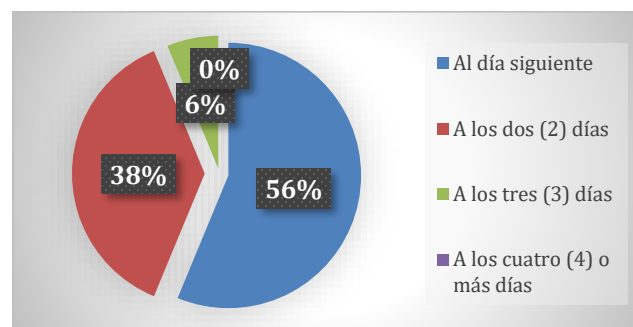
3. Midiendo la capacidad de recibo en cada una de las entregas, aproximadamente que cantidad de mercancía recibe en cada entrega. (Datos en Kilogramos)



4. Con respecto a la oferta logistica o tiempos de entrega de mercancía, como califica el cumplimiento de las entregas.



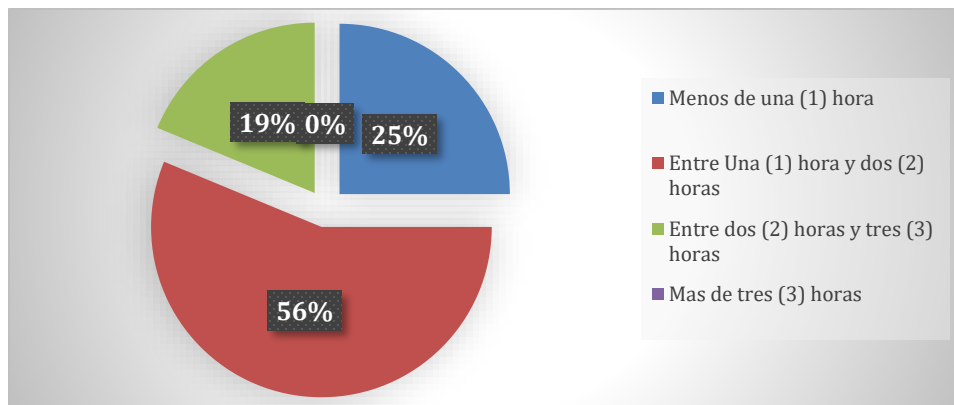
5. ¿Una vez que puede observar que su mercancía fue despachada y facturada, cuantos días transcurrió para recibir la mercancía?



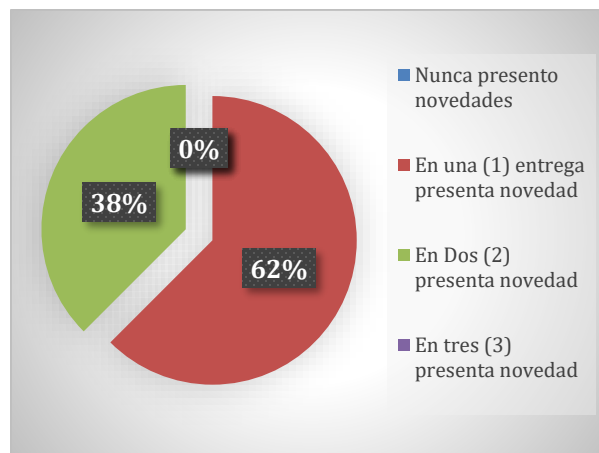
6. Una vez que puede observar que su mercancía fue despachada y facturada, y usted no la ha recibido en los tiempos acordados de la oferta logística, ¿algún colaborador de compañía le informa del retraso de la entrega?



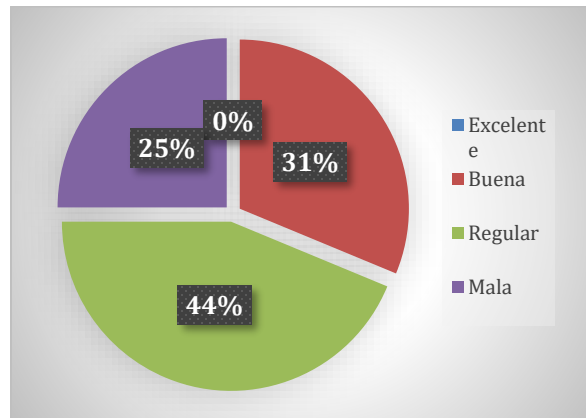
7. Con respecto a las entregas de mercancía, que tiempo promedio considera usted que transcurre recibiendo la mercancía.



8. Con respecto a la mercancía recibida, con qué frecuencia tiene novedades con el producto en temas de roturas, faltantes y trocados.



9. Como califica usted la atención del transportador al momento de entregar la mercancía.



¿Qué recomendación realizaría a la empresa para mejorar el servicio?

Las recomendaciones que nos dieron los clientes básicamente se resumen en la siguiente tabla

Informar cuando el vehículo no se valla a presentar
Mas seguimiento a las entregas de mercancía
Cumplir con los horarios de recibo
Seguimiento en plataforma o App