

TECNOLÓGICO DE MONTERREY

CIENCIAS APLICADAS

INGENIERÍA EN CIENCIA DE DATOS Y MATEMÁTICAS



RETO. ENTREGABLE 2

OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE EN LA
LOGÍSTICA PARA EL E-COMMERCE

POR

MARÍA DEL CARMEN VARGAS VILLARREAL A00828570

RENATA URIBE SÁNCHEZ A01274629

RODRIGO RENÉ HENRÍQUEZ PAGUAGA A00827198

FRIDA SOFÍA BAUTISTA MARTÍNEZ A01235009

LOLYNA DE LA FUENTE ORDAZ A01194774

ACTIVIDAD PERTENECIENTE A

OPTIMIZACIÓN DETERMINISTA (GRUPO 1)

SÁBADO 24 DE ABRIL, 2021

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	1
1.1. Introducción sobre Coppel	1
1.1.1. Investigación sobre e-commerce	2
1.1.2. Introducción al problema	3
1.1.3. Justificación del problema	3
1.1.4. Objetivo	4
1.2. Trabajo Relacionado	6
1.2.1. Formulaciones basadas en flujos en redes para un problema de ruteo en last mile	6
2. Variables Relacionadas	10
3. Modelo Matemático	13
3.1. Definición de Conjuntos	13
3.2. Definición de Parámetros	14
3.3. Definición de las Variables de Decisión	14

3.4. Planteamiento del Modelo	15
3.4.1. Definición de la Función Objetivo	15
3.4.2. Definición de las Restricciones	15
4. Método Heurístico	17
4.1. Función Heurística	17
4.2. Modelo de Prueba	18
5. Solución del Reto	21
5.1. Resultados Generales	23
5.1.1. Rutas sin Optimizar	24
5.1.2. Rutas Optimizadas	24
5.2. Resultados	25
5.2.1. Ruta 1	25
5.2.2. Ruta 2	26
5.2.3. Ruta 3	26
5.2.4. Ruta 4	28
5.2.5. Ruta 5	29
5.3. Comparación de Resultados	29
5.3.1. Conclusión	31

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN SOBRE COPPEL

Coppel es una empresa mexicana fundada en 1941 por don Luis Coppel Rivas y su hijo Enrique en Culiacán, Sinaloa. Anteriormente llamada El Regalo, Coppel es la cadena comercial de tiendas departamentales más grande del país. Cuenta con 1,550 sucursales en México y Argentina, habiendo 45 en Nuevo León. Siendo su propósito el “acompañarte en tus necesidades y deseos, acercándote un mundo de posibilidades para que mejores tu vida”, es una de las principales distribuidoras de calzado, teléfonos celulares, ropa, televisores y muebles (Coppel, 2021) [1] Del mismo modo, ofrece el otorgamiento de créditos con pocos requisitos y repartos de costo como métodos de pago, buscando con esto “ser la tienda omnicanal y de servicios financieros personales y digitales favorita del mercado masivo” (Coppel, 2021) [1]

Actualmente, la cadena Coppel se encuentra brindando los siguientes servicios:

- Afore Coppel
- Crédito Departamental Coppel
- Tienda en línea

- Compras telefónicas
- Pago de servicios
- Envíos de dinero
- BanCoppel
- Mesa de regalos
- Entre otros

[2]

1.1.1 INVESTIGACIÓN SOBRE E-COMMERCE

Entrepreneur define el e-commerce o comercio electrónico como “el proceso mediante el cual dos o más partes realizan una transacción de negocios a través de una computadora y una red de acceso.” (José Antonio Ramírez, 2021) [5] Aunque suene relativamente sencillo, la verdad es que este proceso es muy laborioso ya que además de incluir los productos y/o servicios que se planean promover en línea, es necesario el establecer la distribución, cobranza, marketing, entre otros puntos fundamentales. Asimismo, es importante considerar el papel que juegan las redes sociales para la promoción del negocio. La Asociación Mexicana de Venta Online (AMVO), como lo hace anualmente, en su Estudio de Venta Online 2021, destaca que el e-commerce en México creció un 81 % en el 2020 en comparación con el 2019. Basándose en las ventas totales, las cuales alcanzaron un valor de 316 mil millones de pesos, las cuales son un equivalente al 9 % total de retail nacional. (Mariana Ramos, 2021) [4] Una de las principales razones por este aumento es la cuarentena, lo que ha llevado a la necesidad de adquirir bienes a distancia por lo que el utilizar recursos digitales incrementó a su vez. Solamente en el mes de enero, 56 % de las personas declararon haber comprado en línea y además un 16 % de los mexicanos comenzó

a comprar vía online por primera vez. Según la revista digital Expansión entre las principales razones para comprar en línea destacan: no encontrar los productos en tiendas físicas, recibir compras a domicilio, el ahorrar tiempo, evitar aglomeraciones en tiendas físicas, y el comparar los precios y variedades. (Expansión, 2021) [3] Por último, la empresa de inteligencia financiera, Fitch Solutions predice que México superará los 18 mil millones de dólares en ventas por eCommerce para el 2022. (Karina Velázquez, 2018) [2]

1.1.2 INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA

La optimización de procesos logísticos parte de una tentativa para la mejora eficiente de las acciones que se efectúan en una cadena de suministro, en este caso enfocada al E-Commerce. La gestión de esta cadena de suministro contempla la fabricación del producto, su logística de distribución, sus tiempos de entrega y los sistemas de información, todo esto de la manera más eficiente posible. Además de optimizar las actividades mencionadas, también genera valor a los usuarios con un servicio de entrega más rápido y efectivo. Al incorporar el E-Commerce a los procesos de las cadenas de suministro se obtienen principalmente los siguientes tres beneficios: costo de distribución y cumplimientos de pedidos, coincidencia de inventario basada en la ubicación de SKU(referencia de almacén) y tiempos de envío más cortos.

1.1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Debido a la limitación de la movilidad, se ha destacado el uso de servicios y compras en línea. Esto pone como principal prioridad para las cadenas comerciales, como lo es Coppel, una mejor planificación logística para la distribución y entrega de los pedidos. Además la competencia de empresas líderes en la logística de distribución añade un peso extra a la necesidad de que empresas como Coppel optimicen sus

cadenas de distribución. Una optimización en la logística de entregas que mejoren la experiencia del cliente en las compras en línea es una pieza clave para poder competir en el mercado y a la adaptación a una nueva forma de compras como lo es el e-commerce. De igual manera, contar con una buena planificación en la logística del e-commerce trae consigo una reducción de costos y tiempos de entrega al igual que asegura la disponibilidad de los productos.

1.1.4 OBJETIVO

El objetivo principal que forma parte de este problema es la optimización de la logística, a consecuencia del aumento de la automatización y la digitalización. La creciente competencia y demanda que se ha desarrollado en las empresas (sobre todo con el tema de la cuarentena) ha impulsado a estas a innovar sus estrategias para posicionarse por delante del resto. Como se mencionó anteriormente en la sección de Investigación a E-Commerce, este también implica otros factores relacionados con la experiencia de la compra, aumentos de venta y engagement, sin embargo, lo que más ha sufrido cambios de adaptabilidad tiene que ver con las entregas y transporte, y esto es lo que conlleva a aportar más valor a los productos (el cumplir con la disponibilidad y tiempo acordado), puesto que “para el cliente, la compra finaliza en el momento de recepción del artículo adquirido”, según el informe ‘Logístico España 2017’ de Knight Frank. Ahora, parte de lo que se menciona dentro de este informe, es el cómo el E-Commerce se refleja dentro del sector logístico, planteando sus objetivos para modernizar y mejorar la percepción y competitividad ante los mercados, entre estos objetivos se cita textualmente:

- El comprador puede seguir a tiempo real el estado de su pedido.
- Se reducen las incidencias al haber mayor control en los pedidos.
- Mayor alcance internacional, capacidad para vender a más países.

- Integración de más sistemas de pago, mayor transparencia y seguridad.
- Logística multicanal con mayores opciones de recogida, en tienda, en puntos de conveniencia, en estaciones y aeropuertos, etc.
- Tiempos de entrega muy reducidos, hasta en menos de dos horas. Ya no se pide rapidez, se espera inmediatez.
- Su objetivo principal: entregar satisfacción.
- Facilita la práctica de la logística inversa, tanto en lo relacionado con el medio ambiente como en las devoluciones de los pedidos.
- Facilita la práctica de la logística inversa, tanto en lo relacionado con el medio ambiente como en las devoluciones de los pedidos.
- Profesionalización del sector combinando últimos avances con personal cualificado.

Finalmente, tomando todo en consideración, es importante destacar que las prioridades de estas empresas deben tomar en cuenta el ya invertir en instalaciones de almacenamiento cercanas a las ciudades, ya que la logística dejó de ser una parte “operacional”, sino una pieza fundamental. [4]

1.2 TRABAJO RELACIONADO

1.2.1 FORMULACIONES BASADAS EN FLUJOS EN REDES PARA UN PROBLEMA DE RUTEO EN LAST MILE

En este trabajo realizado por Álvaro Correa Maldonado, se busca “analizar y proponer formulaciones matemáticas algebraicas para un problema específico de ruteo de última milla que apoya procesos de transporte y distribución del e-commerce, el problema específico se basa en el problema del vendedor viajero (TSP) con reemplazo de drones”. Con la ayuda de drones, se busca sustituir el costo de combustible con costos en energía eléctrica.

Dentro del proceso de compra y venta en el e-commerce, se le denomina como ‘last mile’ al último paso que corresponde a entregar el producto al cliente. Se le otorga mucho valor a las cadenas de suministro que cumple eficazmente el last mile ya que define la satisfacción de un determinado cliente con respecto a la empresa. Por métodos de modelos complejos de ruteo se pueden resolver este tipo de problemas.

En esta investigación se estudian tanto los modelos VRP y TSP. Para la formulación, el problema del agente viajero es el método más usado para hallar ruta más rápida, corta o la menos costosa donde este agente debe visitar distintos clientes. El modelaje básico de este método consiste de esta manera, citando textualmente del informe:

Conjuntos:

- A: Conjunto de arcos (camino) que pueden ser recorridos por el vehículo.
- N: Conjunto de nodos que representan los clientes o destinos que tienen que ser recorridos por el vehículo.
- No: Conjunto de destinos y el punto de partida u origen.

Parámetros:

c_{ij} : Costo, tiempo o distancia que existe en el viaje desde el nodo i al nodo j .

Variables:

x_{ij} : variable binaria, es 1 si el vehículo pasa por el arco (i,j) , y 0 si no lo hace.

Función Objetivo:

$$MIN \quad \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} * x_{ij} \quad (1.1)$$

Restricciones:

$$\sum_{j \in N} x_{0j} = 1 \quad (1.2)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i0} = 1 \quad (1.3)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall (j \in N) \quad (1.4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall ((i,j) \in A) \quad (1.5)$$

Explicando a detalle el modelado, “El problema busca minimizar los costos de transporte, distancia recorrida o tiempo total de viaje como se indica en (2.1). La restricción (2.2) indica que el vehículo debe salir del centro de distribución, la restricción (2.3) indica que debe volver, las restricciones (2.4) y (2.5) indican que el vehículo debe visitar todos los clientes y la restricción (2.6) indica la naturaleza de la variable.” (Correa, 2019).

Sin embargo, en este modelado se producen sub-tours (o sub-rutas), y no es conveniente ya que se busca generar un recorrido único.

Por esta razón, se aplicó el problema del vendedor viajero (TSP) “con reparto de drones con distintas formas (restricciones) de eliminación de sub-rutas”.

Las distintas restricciones se implementaron en tres modelos para comparar resultados, siendo estos: MTZ (Miller-Tucker-Zemlin), modelo de flujo F1 y modelo de flujo F2, y fueron resueltos con 15 instancias variando la cantidad de drones disponibles entre distintas bases de datos. Todo esto se llevó a cabo con el lenguaje de programación AMPL utilizando el Solver CPLEX, y el algoritmo de búsqueda Branch and Bound.

Cabe destacar que la base “esqueleto” y ejecución de este problema fue tomado e inspirado en la formulación del artículo de Mbiadou Saleu, Deroussi, Feillet, Grangeon, Quilliot (2018), en el que se hace uso “de un modelo en donde se toma en cuenta un vehículo y varios drones, es decir, se formula un modelo de TSP con reemplazo de drones” (Correa, 2019).

Y a partir de esta base se fueron realizando modificaciones a restricciones para los modelos a probar (MTZ, F1 y F2). Por tomar un ejemplo, para el modelaje de MTZ, se agregó la siguiente restricción para tomar en cuenta la contabilización en la que cada drone puede satisfacer a un cliente a su vez:

$$\sum_{i \in N} y_{im} \leq 1 \quad \forall m \in M \quad (1.6)$$

Dentro del análisis profundo hecho por el autor, se compararon los resultados de los 3 modelos, tomando en cuenta las visitas a los clientes por vehículos y drones, así como las dinámicas particulares del problema, que consistían en entregar y recoger productos de los clientes.

Para realizar el caso de estudio se generó un escenario aleatorio de 16 clientes,

6 de ellos dentro del radio de 20 km. Con base a esto, se obtuvo que los 3 modelos llegaron al mismo valor óptimo (mínimo) de la instancia de 16 clientes, sin embargo, las rutas vehiculares difirieron en ese aspecto. F1 y F2 escogieron la misma ruta, mientras que MTZ escogió la del sentido contrario. Esto se debió a que el problema fue descrito de manera simétrica, donde $d_{ij} = d_{ji}$. Esto quiere decir que la solución tiene 2 soluciones consideradas como óptimas, escoger cualquiera de las dos no tiene diferencia alguna.

Finalmente, tras una serie de pruebas adicionales hechas por el autor de esta investigación (utilizando varias bases de datos), se llegó a que la mejor alternativa para resolver este tipo de problemas fue el modelo de flujo F1 ya que su tiempo de ejecución fue menor a comparación de los otros dos. Otros descubrimientos encontrados fueron que “El tamaño de cada modelo para los distintos escenarios no es determinante para obtener el mejor tiempo de ejecución, el tiempo de ejecución será determinado por la naturaleza del problema y las iteraciones que tenga que realizar para resolver el problema”, y “El valor óptimo decrece a medida que los drones a disposición aumentan, es decir, una inversión en la nueva tecnología es beneficioso para el reparto para el cliente”. (Correa, 2019)

CAPÍTULO 2

VARIABLES RELACIONADAS

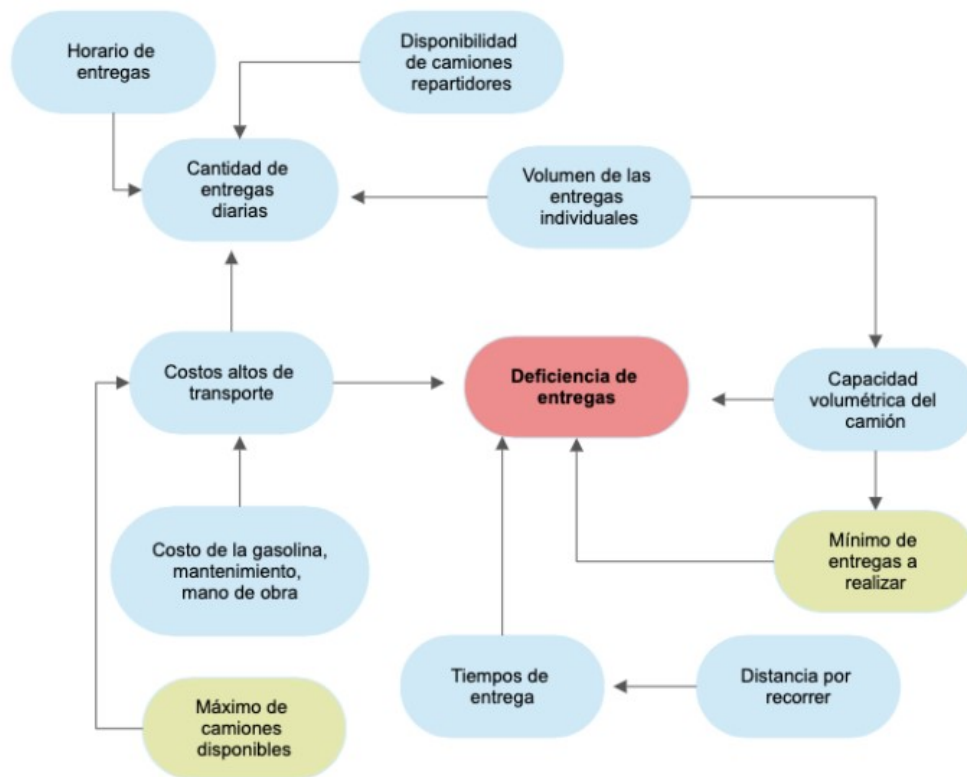


FIGURA 2.1: Diagrama de Variables Relevantes para el Modelo

En el diagrama 2.1 podemos ver las variables que consideramos relevantes para la construcción de nuestro modelo.

- El diagrama se centra en el problema principal de Coppel, la deficiencia de entregas.
- Para poder optimizar este proceso debemos considerar ciertas variables, parámetros y restricciones de acuerdo a los estándares y limitaciones del socio-formador.
- Capacidad volumétrica del camión: Conocer las capacidades de los camiones nos permite decidir las entregas que se pueden realizar por camión considerando la limitación del tamaño de cada paquete.
- Mínimo de entregas a realizar: Este parámetro nos permite tener un estándar de entregas mínimas de manera en que no afecte los ingresos o productividad de Coppel.
- Volumen de las entregas individuales: Es información esencial para distribuir los paquetes por camión sin excedernos de su capacidad máxima.
- Tiempos de entrega: Los tiempos de entrega deben ser optimizados ya que en base a un tiempo mínimo de entrega se pueden generar más entregas y generar una mejor experiencia del cliente.
- Distancia a recorrer: La distancia es la que nos ayudará a optimizar los tiempos de entrega ya que al recorrer el camino óptimo se minimiza el tiempo de entrega de los paquetes.
- Costos de transporte: Los costos como gasolina, mano de obra y mantenimiento afectan el transporte de los paquetes; por lo tanto, es importante llevar un control de este aspecto para poder minimizar los gastos por la compañía y los cargos extra a los consumidores.
- Máximo de camiones disponibles: Este parámetro es una limitante para nuestro modelo ya que debemos trabajar con cierta cantidad de camiones para entrega.

- Cantidades de entregas diarias: Al optimizar el número de entregas diarias se maximiza la ganancia del socio-formador y al considerar las otras restricciones al optimizar este número, se genera una solución adecuada a las necesidades de la empresa.
- Horario de entrega: Limitar las horas disponibles de entrega al día es importante para nuestro modelo ya que la empresa dedica solamente cierto horario para realizar entregas.

CAPÍTULO 3

MODELO MATEMÁTICO

3.1 DEFINICIÓN DE CONJUNTOS

Conjunto i

$$i = \{1, 2, 3, 4, \dots, m\}$$

EXPLICACIÓN: El conjunto i representa a cada uno de los m clientes de los cuales podemos partir, ya sea por realizar una entrega o del CEDIS. Indica la ubicación en la que se parte para llegar a una nueva ubicación.

Conjunto j

$$j = \{1, 2, 3, 4, \dots, m\}$$

EXPLICACIÓN: El conjunto j represente a cada uno de los m clientes a las cuales debemos llegar, ya sea para realizar una entrega o al CEDIS. Indica la ubicación a la que se llega desde una ubicación anterior.

3.2 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

Parámetros

- c : Número de camiones disponibles
- D : Demanda
- c_v : Capacidad volumétrica de cada camión
- v_i : Volumen de cada paquete
- h : Horas disponibles al día
- t_{ij} = Tiempos de entrega (en minutos) de la zona i a la zona j

EXPLICACIÓN: Los parámetros son valores constantes que van de acuerdo con la información brindada por la empresa Coppel, de acuerdo a sus necesidades y disponibilidad de recursos.

3.3 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE DECISIÓN

Variables de Decisión

x_{ij} = Decisión sobre ir de la i -ésima zona a la j -ésima zona.

EXPLICACIÓN: Estas variables toman valores de $\{0, 1\}$ para definir los caminos que se deben tomar para llegar a la solución óptima. Donde tomar el valor 1 representa que si se toma el camino entre la ubicación i a la ubicación j respectiva de la variable.

3.4 PLANTEAMIENTO DEL MODELO

3.4.1 DEFINICIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO

Función Objetivo

$$Z = \sum_{i=1}^{31} \sum_{j=1}^{31} t_{ij} * x_{ij} \quad (3.1)$$

EXPLICACIÓN: La función objetivo suma el producto entre el tiempo de la ubicación i a la ubicación j y el nuestra variable de decisión. Esto nos ayuda a poder minimizar el tiempo total de la ruta que tome cada camión para sus entregas.

3.4.2 DEFINICIÓN DE LAS RESTRICCIONES

Restricciones del Modelo

EXPLICACIÓN: Las siguientes restricciones se consideran solamente para cada una de las rutas que queremos optimizar; por lo tanto, están diseñadas a partir de la ruta de un camión específico. Decidimos optimizar las rutas por separado ya que reduciría significativamente la complejidad del modelo y el costo computacional.

$$\sum_{j=1}^{31} x_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (3.2)$$

Limita a que a partir de una ubicación i , solo se puede llegar hacia solamente una ubicación j .

$$\sum_{i=1}^{31} x_{ij} = 1, \quad \forall j \quad (3.3)$$

Limita que a partir de una ubicación j , solo se puede llegar desde solamente una ubicación i .

$$u_i - u_j + N * x_{ij} \leq N - 1, \quad 2 \leq i \neq j \leq n \quad (3.4)$$

Donde N es el total de ubicaciones que debe recorrer cada camión y u_i es una variable calculada por el programa. Esta restricción impide que se formen ciclos independientes en la asignación de rutas.

Restricciones de la Asignación de Ubicaciones

EXPLICACIÓN: Las siguientes restricciones se consideran para poder asignar las rutas a los múltiples camiones que estaremos utilizando para nuestra asignación.

$$\sum_{i=1}^{31} \sum_{j=1}^n t_{ij} * xn \leq 480 \quad (3.5)$$

Donde n es la cantidad la cantidad de ubicaciones recorridas por cada camión. Esta restricción limita a cada camión a cumplir con los horarios de trabajo por día, siendo 8 horas o bien, 480 minutos.

$$\sum_{i=1}^n v_i \leq c_v, \quad \forall c \quad (3.6)$$

Limita a que la suma del volumen de cada paquete (v_i) asignado a cada camión (c) sea menor a la capacidad volumétrica de respectivo camión (c_v).

CAPÍTULO 4

MÉTODO HEURÍSTICO

4.1 FUNCIÓN HEURÍSTICA

En cuanto a la formulación de rutas que en su conjunto consideren las restricciones volumétricas entre los paquetes y el camión, además del tiempo acumulado entre trayectos, optamos por realizar un código en python, con ayuda de la librería OR Tools.

OR Tools es un software de Google creado especialmente para resolver problemas de optimización, el cual es nuestro caso. La forma en la que queremos solucionar este problema es usando el software mencionado anteriormente e incluyendo las restricciones. Creamos la función donde introducimos la matriz de los minutos, los volúmenes, la capacidad de los camiones, y el número de rutas. Después, una función para solución donde iniciamos variables y damos instrucciones sobre qué hacer mientras no haya llegado a los límites establecidos. Por último, tenemos nuestra función que crea el número de rutas óptimas también diciéndonos el tiempo y el volumen de la carga de cada una. El despliegue de las rutas se efectúa como una lista indicando el orden óptimo del número de nodo que representa a cada dirección.

Para la selección de cada ubicación específica en cada ruta se utiliza la función heurística Path Cheapest Arc. Esta función consiste en, comenzando desde un nodo

de inicio” de ruta, conecta al nodo que produce el segmento de ruta más barato, luego extiende la ruta iterando en el último nodo agregado a la ruta. Consideramos que esta es la función adecuada para definir los paquetes a entregar de cada ruta ya que genera rutas basadas en la cercanía que existe entre las ubicaciones; por lo tanto, es el primer intento de optimizar el sistema de asignación de rutas para Coppel.

Una vez generada la secuencia de trayectos con base en la matriz original, se originan a su vez, otras matrices relativas a estas rutas para introducirse al software GAMS y que finalmente, se genere la ruta más óptima con el método de TSP.

4.2 MODELO DE PRUEBA

Como una primera prueba para observar el desempeño del algoritmo generador de rutas y su respectiva optimización en GAMS, se utilizaron inicialmente treinta direcciones, las cuales se muestran con sus respectivos índices en la siguiente tabla:

Nodo	Dirección	Volúmenes
0	CEDIS	0
1	Paseo de Los Cedros 978	0,046942
2	Juan López 202	0,014088
3	Dr. Coss 217	0,004704
4	Beleño 645	0,004704
5	Bolonia 108	0,004704
6	Camino de los Magueyes 220	0,004704
7	Geranios 230	0,004704
8	Melchor Ocampo 161	0,260025
9	Villa Dominica 129	0,004704
10	Julio Verne 211	0,008536
11	Calle Miguel Alemán 3009	0,006493
12	Aperos 167	0,004995
13	Monte Isola 263	0,013794
14	Austriacos 453	0,013794
15	Mezquite 920	0,001
16	Calle Río Salinas 123	0,012365
17	Naranjos 714	0,012365
18	Tonalá 143	0,001419
19	Uganda 406	0,014088
20	Río Rhin 300	0,0459841
21	Villa Clarisa 121	0,00988
22	Francisco Goitia 209	0,08575
23	Río Orinoco 137	0,08294
24	Santa Cecilia 117	0,0377
25	Galápagos 1233	0,0460025
26	Del Paraje 640	0,0460025
27	Pirineos 418	0,015801
28	Cadmio 531	0,0371462
29	Loma Florida 104	0,02
30	Cosmos 116	0,02

TABLA 4.1: Tabla de Paquetes de Prueba

Se generaron dos rutas para completar la asignación de entregas de paquetes. A continuación comparamos los resultados de una de las rutas generadas junto con su respectiva solución óptima.

Ruta generada en Python: Índices explicados en la tabla 4.1

$$CEDIS \rightarrow 19 \rightarrow 6 \rightarrow 2 \rightarrow 21 \rightarrow 9 \rightarrow 22 \rightarrow 11 \rightarrow 4 \rightarrow 13 \rightarrow 24 \rightarrow 12 \rightarrow 10 \rightarrow CEDIS \quad (4.1)$$

Tiempo total de la ruta: 205 mins

Ruta optimizada en GAMS: Índices explicados en la tabla 4.1

$$CEDIS \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 24 \rightarrow 13 \rightarrow 4 \rightarrow 11 \rightarrow 21 \rightarrow 9 \rightarrow 22 \rightarrow 19 \rightarrow 6 \rightarrow 2 \rightarrow CEDIS \quad (4.2)$$

Tiempo total de la ruta: 198 mins

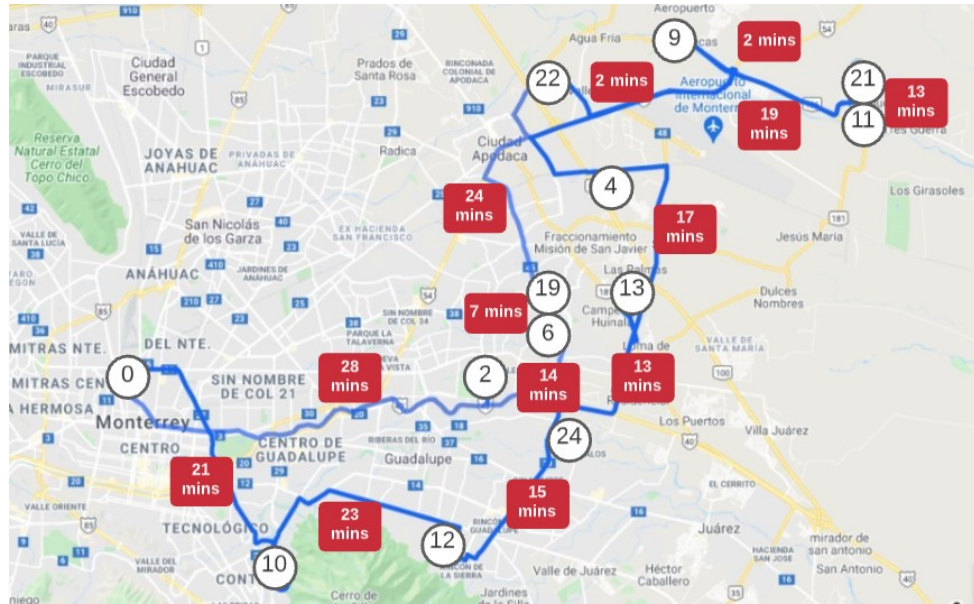


FIGURA 4.1: Mapa Geográfico de la Ruta

Podemos observar que existe una diferencia de tiempo total para ambas soluciones. La solución de GAMS buscando el camino óptimo para minimizar el tiempo total, genera un camino que toma menos tiempo; por lo tanto, es más corto.

CAPÍTULO 5

SOLUCIÓN DEL RETO

Considerando nuestros dos modelos de asignación y optimización de rutas, utilizamos la información, proporcionada por Coppel, de paquetes con sus respectivas ubicaciones para generar un sistema óptimo de entregas que satisface las necesidades y limitaciones de la empresa. En la base de datos nos enfocamos solamente en los paquetes del día ocho de enero del 2021 y que pertenecen al servicio de paquetería. Limitamos los paquetes también a los que son entregados en la zona de Nuevo León, ya que parten del mismo CEDIS.

Al filtrar los datos para la zona metropolitana, obtuvimos un resultado de 105 clientes o bien, paquetes a entregar. Luego, mediante el uso de un API de Bing Maps logramos obtener el tiempo que toma ir de una ubicación a otra, utilizando las latitudes y longitudes respectivamente. Esta matriz de tiempos definirá el costo del algoritmo que genera las rutas basándose en la ubicación con el menor costo. Se generaron cinco rutas en total, considerando las limitaciones de tiempo y de capacidad volumétrica de cada camión.

Ya con las rutas generadas, optimizamos cada una de ellas individualmente, generando una matriz con los tiempos de cada una, utilizando el software GAMS. Para optimizarlas consideramos cada ruta como un problema de agente viajero, siendo nuestro objetivo minimizar el tiempo total de los recorridos de cada ruta.

Nodo Dirección	Volúmenes	Nodo Dirección	Volúmenes
0 CEDIS	0	54 TONALA	0,0009144
1 RINCON DEL VALL	0,0035606	55 AV CENTRAL	0,000348
2 MORELOS	0,046942	56 C SIERRA BLANCA	0,0014112
3 C MATAMOROS	0,014088	57 QUIJOTE	0,00408
4 ALTO MONTE	0,004704	58 GALEANA	0,001395
5 C MARIANO JIME	0,004704	59 PIEDRAS NEGRAS	0,0050955
6 HDA DE LOS ENCI	0,004704	60 DIEGO DE MONTEM	0,004576
7 ALFREDO I	0,004704	61 CAMINO LABOR G	0,02612
8 JULIANTLA	0,004704	62 DE VOLVERTE A V	0,00072
9 JULIO VERNE	0,260025	63 YUCA	0,0011433
10 VALLE DE ROSAS	0,004704	64 J M MONTEMAYOR	0,0011433
11 PORTAL COMPOSTE	0,008536	65 SIERRA BLANCA	0,0038214
12 VILLA CLARISA	0,006493	66 HADES	0,002975
13 FRANCISCO GOITI	0,004995	67 DEL FUSTE	0,003984
14 PIETRO	0,013794	68 ESMERALDA	0,022181
15 SAN FERMIN	0,013794	69 CENTENO	0,022181
16 NUEVA INDEPENDEN	0,001	70 JHON F KENNEDY	0,03508897102
17 TOULOUSE LAUTRE	0,012365	71 PRIVADA SAN ANG	0,022181
18 SANTOLINS	0,012365	72 MANTE	0,022181
19 RIO ORINOCO	0,001419	73 CAMINO ESPA#OL	0,022181
20 VICENTE GUERRER	0,014088	74 UGANDA	0,022181
21 GALDIOLA	0,0459841	75 VANCOUVER	0,022181
22 SANTA CECILIA	0,00988	76 C HUIZACHE	0,022181
23 GALAPAGOS	0,08575	77 HDA SANTA SUSAN	0,015786
24 LOS MAGUEYES	0,08294	78 MISION SAN AGUS	0,08575
25 DEL PARAJE	0,0377	79 C TOPACIO	0,02
26 PROFESORA MARIA	0,0460025	80 RIO RHIN	0,022181
27 PIRINEOS	0,0460025	81 MONTE	0,0371462
28 CROMO	0,015801	82 CALLE EBANO	0,00090593
29 CADMIO	0,0371462	83 SAN JORGE	0,026416
30 LOMA FLORIDA	0,0371462	84 COSMOS	0,001419
31 16 DE SEPTIEMBR	0,02	85 SAN JUANA	0,000348
32 PRIV ATENGO	0,02	86 RIO NEGRO	0,00408
33 CALLE CEDRO	0,02	87 MINEO	0,006755
34 GUADALAJARA	0,02	88 HACIENDA SANTA	0,008536
35 NARANJOS	0,001	89 SAUCO	0,001
36 AV MEXICO	0,02121	90 MARATEA	0,006493
37 C LOS NOGALES	0,001633	91 RIO BLANCO	0,00408
38 TALIA	0,006185	92 RIO DANUBIO	0,002793
39 NORIA DE LOS AN	0,0010599	93 SAN CARLO	0,002793
40 PERUANOS	0,0011433	94 EUCALIPTO	0,0459841
41 NIEVES	0,01	95 DEL OJO DE AGUA	0,001
42 MEZQUITAL DEL O	0,002793	96 MISION SAN PEDR	0,02
43 ALAMO BLANCO	0,007013	97 CORATO	0,03508897102
44 BRASILENOS	0,002775	98 AVENIDA DEL COL	0,000384
45 ALAMO BLANCO	0,005324	99 ALONDRAS	0,029526
46 HACIENDA CANTER	0,012365	100 REAL DE SANTA R	0,006755
47 AVENIDA PRIMAVE	0,013794	101 GARDENIA	0,0038214
48 ALFA	0,009683	102 COLONIAL SAN MI	0,0050955
49 SAN FERNANDO	0,026416	103 SAN IGNACIO	0,004995
50 ALAMO CHOPO	0,08294	104 AVE SAN RAFAEL	0,260025
51 SAN FRANCISCO	0,09621	105 ROMA	0,002975
52 HACIENDA DEL RI	0,02816		
53 DECIMO SEGUNDA	0,0009144		

TABLA 5.1: Tabla de Paquetes

5.1 RESULTADOS GENERALES

A continuación se presentan los resultados obtenidos por las rutas tanto optimizadas como no optimizadas. Para la comprensión de los resultados utilizamos las siguientes parámetros:

- Tiempo Total: El tiempo total, en minutos, que le toma a un camión realizar cada recorrido.
- No. Clientes: Número total de paquetes que se entregan en cada recorrido.
- Costo Total: Costo total, en pesos, de cada recorrido. Para este parámetro consideramos los precios de la gasolina.
- Distancia: Distancia total, en kilómetros, del recorrido, considerando una velocidad promedio de $60 \frac{km}{hr}$
- % de Volumen Libre: Porcentaje de la capacidad volumétrica no utilizada.
- % de Tiempo Muerto: Porcentaje de tiempo por camión en el que nos se trabaja.
- Emisiones CO_2 : Cantidad total, en gramos, de emisiones de dióxido de carbono producida en cada ruta.
- Lts de Gasolina: Cantidad total de gasolina, en litros, que requiere cada camión para cumplir su ruta.

5.1.1 RUTAS SIN OPTIMIZAR

Ruta	Tiempo total	No. Clientes	Costo total	Distancia
1	177	4	176.999	177
2	227	9	297.68	227
3	407	26	533.73147	407
4	376	39	493.0785	376
5	441	27	578.317	441

TABLA 5.2: Resultados de Rutas sin Optimizar

Ruta	% de Volumen Libre	% Tiempo Muerto	Emisiones C02 (g)	Lts Gasolina
1	99.8	63.125	25842	10.5988
2	96.3	52.71	33142	13.5928
3	89.31	15.21	59422	24.3713
4	77.87	21.67	54896	22.515
5	92.08	8.33	64386	26.4072

TABLA 5.3: Resultados de Rutas sin Optimizar

5.1.2 RUTAS OPTIMIZADAS

Ruta	Tiempo total	No. Clientes	Costo Total	Distancia
1	139	4	182.2814	139
2	222	9	291.12546	222
3	396	26	519.30375	396
4	350	39	458.9802	350
5	424	27	556.02348	424

TABLA 5.4: Resultados de Rutas Optimizadas

Ruta	% de Volumen Libre	% Tiempo Muerto	Emisiones C02 (g)	Lts Gasolina
1	99.8	71.04	146	8.3233
2	96.3	52.7	292	13.2934
3	89.31	23.13	438	23.7125
4	77.87	27.08	584	20.958
5	92.08	11.67	730	25.3892

TABLA 5.5: Resultados de Rutas Optimizadas

5.2 RESULTADOS

5.2.1 RUTA 1

Índices explicados en la tabla 5.1

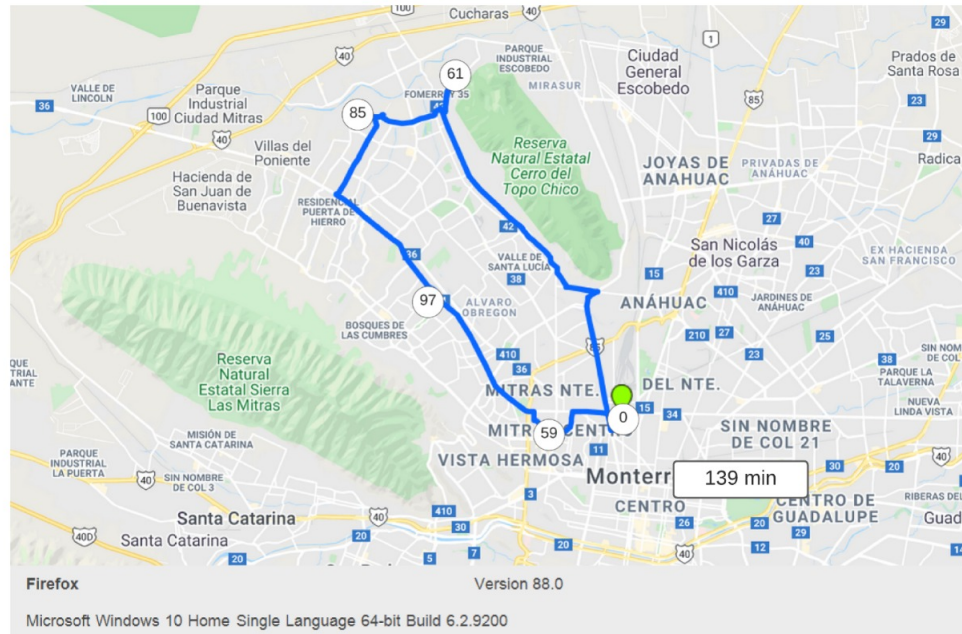


FIGURA 5.1: Mapa Geográfico de la Ruta 1 Optimizada

5.2.2 RUTA 2

Índices explicados en la tabla 5.1

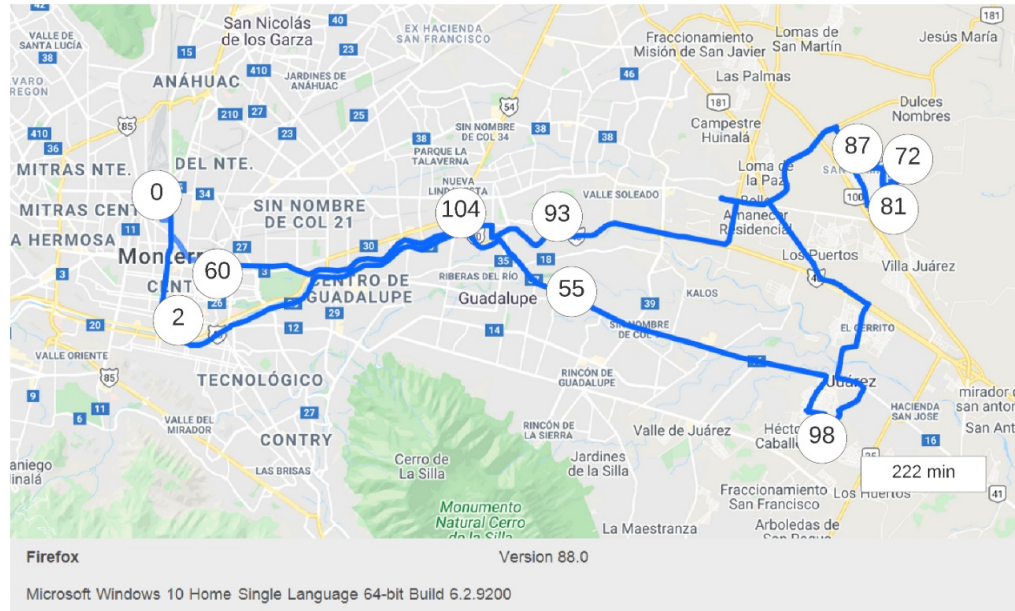


FIGURA 5.2: Mapa Geográfico de la Ruta 2 Optimizada

5.2.3 RUTA 3

Ruta generada en Python:

Índices explicados en la tabla 5.1

$CEDIS \rightarrow 25 \rightarrow 95 \rightarrow 24 \rightarrow 23 \rightarrow 79 \rightarrow 32 \rightarrow 26 \rightarrow 82 \rightarrow 99 \rightarrow 77 \rightarrow 88 \rightarrow 73 \rightarrow 91 \rightarrow 63$

$\rightarrow 90 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 62 \rightarrow 3 \rightarrow 12 \rightarrow 6 \rightarrow 58 \rightarrow 56 \rightarrow 10 \rightarrow 33 \rightarrow CEDIS(5.1)$

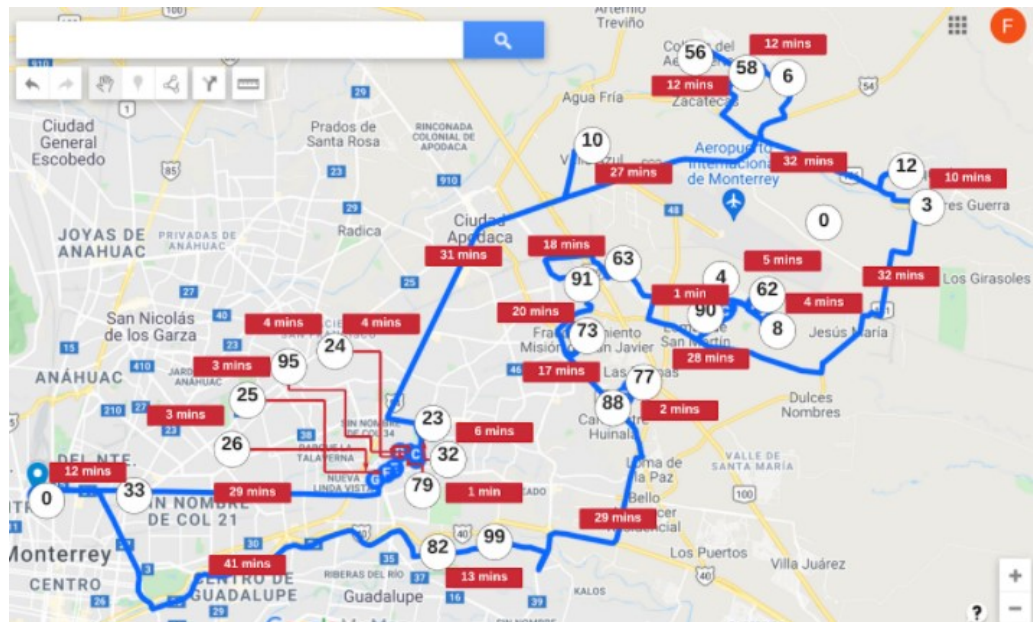


FIGURA 5.4: Mapa Geográfico de la Ruta 3 Optimizada

5.2.4 RUTA 4

Índices explicados en la tabla 5.1

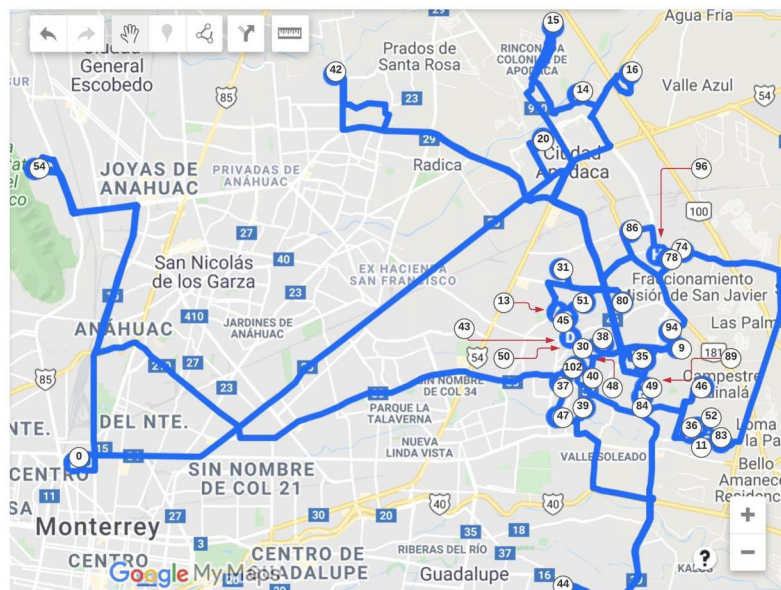


FIGURA 5.5: Mapa Geográfico de la Ruta 4 Optimizada

5.2.5 RUTA 5

Índices explicados en la tabla 5.1

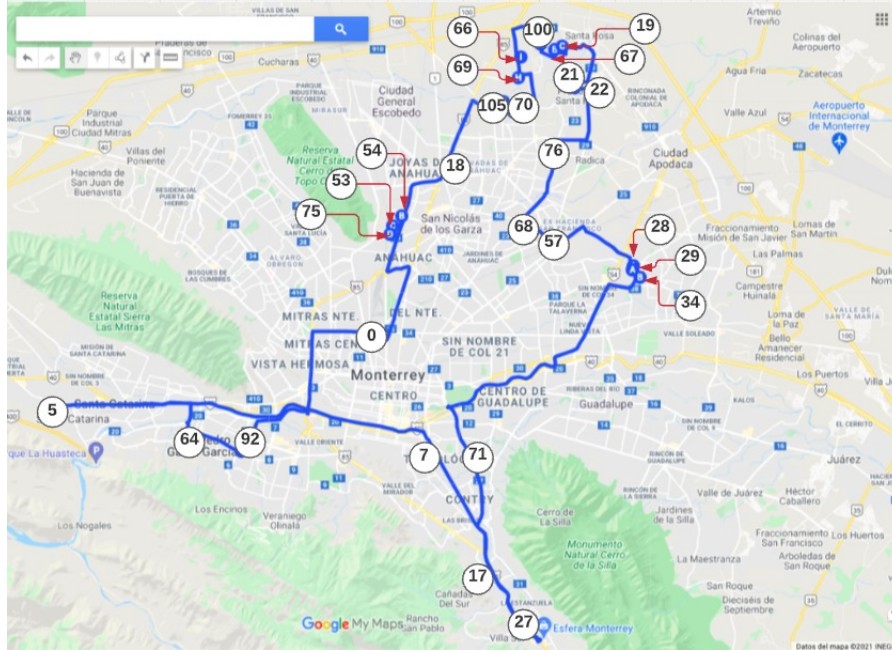


FIGURA 5.6: Mapa Geográfico de la Ruta 5 Optimizada

5.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Para comparar los resultados de ambos conjuntos de rutas, las no optimizadas y las optimizadas, nos basamos en los objetivos de análisis de Coppel. Entre estos objetivos se encuentran la minimización de costos, el impacto ambiental y el tiempo total de entrega. Esta comparación resalta la diferencia que se genera al optimizar las rutas ya que estamos comparando los resultados anteriores a la optimización con los resultados posteriores a la optimización en GAMS.

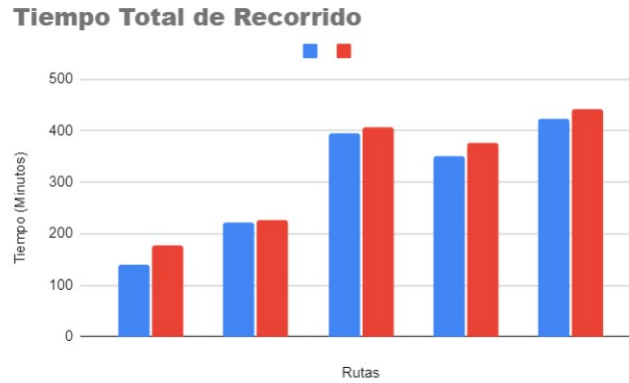


FIGURA 5.7: Comparación Tiempo por Ruta

El gráfico 5.7 muestra una leve disminución en el tiempo total del recorrido. A pesar de la insignificancia de esta diferencia, a largo plazo creemos que se mostrará un aumento significativo en la eficiencia de los tiempos al optimizar. Una de las razones principales por las cuales optimizar las rutas no genera un cambio drástico en cuanto al tiempo es por el algoritmo que utilizamos para generar las rutas originalmente. Dado a su utilización del Cheapest Path function que de por sí considera el tiempo entre una ubicación y la próxima a escoger, se estima un recorrido cuyos tiempos se intentan optimizar; no obstante, muy comúnmente no se alcanza esta solución óptima que el software GAMS genera.

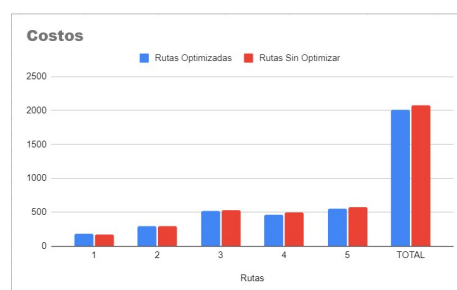


FIGURA 5.8: Costos por Ruta

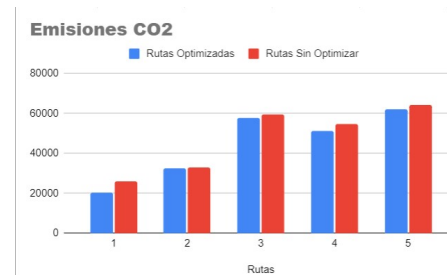


FIGURA 5.9: Emisiones CO2 por Ruta

En la figura 5.8 se analiza el costo total de cada ruta y por último el costo total tomando en cuenta todas las rutas. Para poder tomar en cuenta el costo, solo se considero el costo de gasolina por camión; sin embargo, existen otros factores que

estaban fuera de nuestra disposición como los salarios de los conductores, los costos de mantenimiento y alquiler de camión, en caso de haber, que sabemos que afectarían al costo total de las rutas. En general, el costo total de cada ruta optimizada fue menor al de las rutas antes de ser optimizadas, estos nos lleva a concluir que al optimizar las rutas generamos una opción más económicamente viable para Coppel; por consiguiente se pueden ofrecer precios de envío más accesibles para sus clientes.

Finalmente, en la figura 5.9 se muestra el impacto ambiental de los rutas. El impacto ambiental fue el factor en el cual podemos cambios más drásticos a la hora de optimizar ya que existe una disminución significativa en sus emisiones de CO₂. Este resultado podría ser de gran agrado para Coppel debido a su alta preocupación por el ecologismo.

5.3.1 CONCLUSIÓN

Con nuestros modelos estaremos contribuyendo a la generación de rutas de entregas para Coppel al igual que la optimización de las mismas. Sabiendo la importancia del e-commerce para mantener una empresa competitiva en el mercado, el uso de este modelo destaca en importancia para poder cumplir con la demanda y brindar un servicio eficaz a los clientes, manteniendo los valores y necesidad de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Coppel. Acerca de nosotros. *Coppel*, 2020.
- [2] La Economía. Coppel México. *La Economía*, 2015.
- [3] Expansión. El ecommerce mexicano ya representa el 9 del retail nacional. *Expansión*, 2021.
- [4] M. Ramos. La pandemia impulsa el crecimiento del ecommerce en México hasta un 81. 2021.
- [5] J. A. (s.f.) Ramírez. El abc del e-commerce. *Entrepreneur*.