

<https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.490>

Planificación de Rutas en MIPYMES Integrando el Algoritmo del Agente Viajero con Google Maps, IA y Python: Un enfoque práctico

Route Planning in MIPYMES Integrating the Traveling Salesman Algorithm with Google Maps, AI, and Python: A Practical Approach

Aldair Alberto Muñoz Navarro

aldairalberto03@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-0333-3537>

Instituto Tecnológico de Orizaba
México – Orizaba

Marcos Salazar Medina

marcos.sm@orizaba.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6235-9973>

Instituto Tecnológico de Orizaba
México – Orizaba

Mauricio Romero Montoya

mauricio.rm@orizaba.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-4325-7717>

Instituto Tecnológico de Orizaba
México – Orizaba

Maricela Gallardo Cordova

maricelagal@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1611-1357>

Instituto Tecnológico de Orizaba
México – Orizaba

Gabriela Cabrera Zepeda

gabriela.cz@orizaba.tecnm.mx

Instituto Tecnológico de Orizaba
México - Orizaba

Artículo recibido: 20 octubre 2024 - Aceptado para publicación: 26 noviembre 2024
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

Este estudio explora un enfoque práctico para optimizar la planificación de rutas en MIPYMES utilizando el modelo matemático del Problema del Agente Viajero (TSP), la API de Google Maps, inteligencia artificial y Python. La investigación se centra en comparar rutas empíricas, basadas en la experiencia de los conductores, con rutas optimizadas generadas mediante un modelo matemático (MTZ). Para ello, se recopiló información geoespacial precisa de rutas reales y se procesaron mediante MTZ. Los resultados evidencian una mejora significativa en la eficiencia logística, logrando reducciones en distancias recorridas, consumo de combustible y emisiones de

CO₂. Estas conclusiones destacan la viabilidad de aplicar tecnologías avanzadas para transformar procesos logísticos en soluciones más sostenibles y competitivas para las MIPYMES.

Palabras clave: rutas, logística, algoritmo, ia, Python

ABSTRACT

This study explores a practical approach to optimizing route planning in MSMEs using the Traveling Salesman Problem (TSP) mathematical model, the Google Maps API, artificial intelligence, and Python. The research focuses on comparing empirical routes, based on driver experience, with optimized routes generated through a mathematical model (MTZ). To achieve this, precise geospatial information from real routes was collected and processed using MTZ. The results demonstrate a significant improvement in logistical efficiency, achieving reductions in distances traveled, fuel consumption, and CO₂ emissions. These findings highlight the feasibility of applying advanced technologies to transform logistical processes into more sustainable and competitive solutions for MIPYMES.

Keywords: routing, logistics, algorithm, ai, python

INTRODUCCIÓN

La creciente y constante preocupación por reducir la contaminación ambiental en el mundo ha llevado a explorar diversas formas para mejorar y optimizar las operaciones de las empresas, además de que junto a ello deben seguir aumentando su capacidad de competir entre ellas. Por lo cual hoy en día es primordial que las empresas y en especial las micro, pequeña y medianas (MIPYMES), sigan actualizando sus funciones, áreas y técnicas que utilicen para seguir siendo competitivas contra las grandes empresas en el ritmo del entorno tan acelerado en el que se vive, sin dejar de lado su conciencia con el medio ambiente y la contaminación que también generan.

Particularmente en México, de acuerdo el área metropolitana de la Ciudad de México es una de las áreas urbanas más grandes y contaminadas del mundo y cerca del 85% de los contaminantes del aire en esta área provienen de vehículos automotores (Cota Salgado, 2020).

Además, según el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (INECC,2021) de las distintas fuentes de emisiones netas de CO₂ en el país, el autotransporte contribuye con el 30.14% de las emisiones totales de CO₂ en el inventario general, y es el mayor emisor dentro de la categoría de transporte, donde las emisiones totales por transporte son de 146,186.460Gg (giga gramo), lo que significa que el autotransporte representa el 94.08% de las emisiones dentro del sector de transporte.

Es evidente que la reducción de los niveles de contaminación es un tema prioritario, no solo por sus beneficios ambientales, sino también por el impacto en la disminución de los costos asociados al transporte terrestre. A medida que la tendencia global avanza hacia la entrega directa de productos al cliente, en lugar de que el cliente acuda por ellos, se hace más necesario optimizar las operaciones logísticas.

Kuo y Wang (2011) afirman que estrategias como la minimización de la distancia recorrida, la optimización de la velocidad y la gestión eficiente del peso de la carga son claves para reducir el consumo de combustible y, por lo tanto, las emisiones de carbono.

También Rincón Abril (2001) destaca que la planificación eficiente en la distribución de productos desde diversos depósitos hacia los consumidores finales es clave en la logística, ya que puede reducir significativamente los costos de transporte, los cuales representan entre el 10% y el 20% del costo final de los productos. Por ello, recomienda el uso de técnicas de Investigación Operativa para optimizar este proceso.

Con lo cual una de las herramientas que ayudaría con lo dicho por Kuo y Wang, y Rincón es el Problema del Agente Viajero, esta herramienta determina la ruta más eficiente para un vendedor que debe visitar múltiples ubicaciones de clientes y regresar al punto de partida además de entrar dentro de las técnicas de Investigación operativa. El Problema del Agente Viajero (TSP) puede representarse mediante un gráfico, donde los nodos simbolizan las ubicaciones y los bordes (o arcos) representan los trayectos directos entre ellas. (Rutas para vehículos | OR-Tools, s. f.)

Otros autores también destacan la importancia de la planificación del ruteo, como lo son

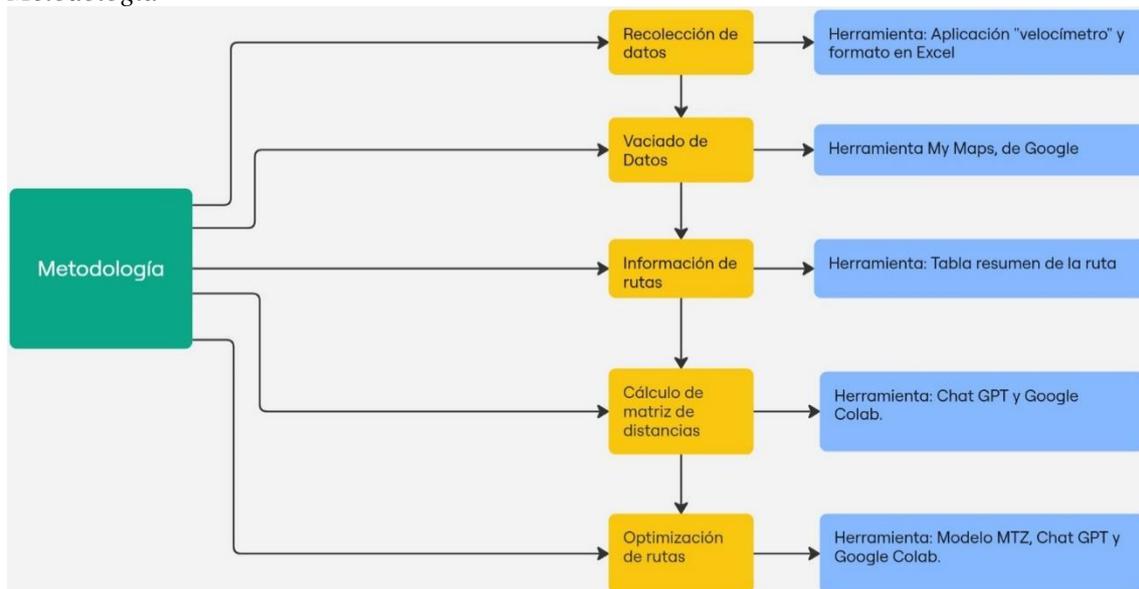
Está claro que las MIPYMES enfrentan el desafío de adaptarse a prácticas más sostenibles y eficientes en respuesta a la creciente demanda de reducir la huella ambiental y competir en un entorno cada vez más exigente. Además, considerando el impacto del transporte en las emisiones contaminantes y los costos operativos, resulta fundamental que las MIPYMES incorporen herramientas avanzadas de planificación de rutas, como el Problema de Ruteo de Vehículos (VRP).

A partir de la información presentada, el objetivo de este trabajo es presentar una comparativa entre las distancias que se obtienen actualmente y las que un código de VRP puede entregar, permitiendo a la empresa en Orizaba pasar de una selección de puntos de entrega empírica a un proceso sistematizado y eficiente, optimizando las rutas de entrega para minimizar distancias, consumo de combustible y, en consecuencia, reducir las emisiones de carbono.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para presentar la comparativa de distancias empíricas contra un modelo matemático, se realiza la siguiente metodología (Figura 1).

Figura 1
Metodología



Fuente: Elaboración propia

Recolección de datos

Para la recolección de datos, se debe acompañar al conductor del transporte repartidor. En función de esto, se utiliza una aplicación de geolocalización que graba y guarda la imagen por las calles por las cuales el vehículo pasa (Figura2). Al inicio de la ruta se registra el recorrido dentro de la aplicación y se termina cuando llega a su primer destino(también llamado nodo), se espera a que el repartidor descargue los productos y los entregue al cliente. Cuando el repartidor termine

la entrega y suba al vehículo para poder continuar el recorrido, se inicia de nuevo la registro de la ruta. Este procedimiento se repite hasta terminar todos los pedidos y regresar al punto de partida

Figura 2

Aplicación Velocímetro: Interfaz, sección de configuración y fragmento de ruta



Fuente: Elaboración propia

Vaciado de datos

Al concluir las entregas de los productos y se dirige al punto de partida, los datos registrados en la aplicación mostrada en la Figura 2 se transfieren a una herramienta personalizada de mapas llamada My Maps. Este procedimiento permite verificar la precisión de las distancias registradas. En My Maps, se emplean elementos denominados "capas", que facilitan la organización de la información dentro del mapa. Estas capas pueden incluir ubicaciones de entrega, rutas, zonas de servicio, entre otros. (Google, s. f.)

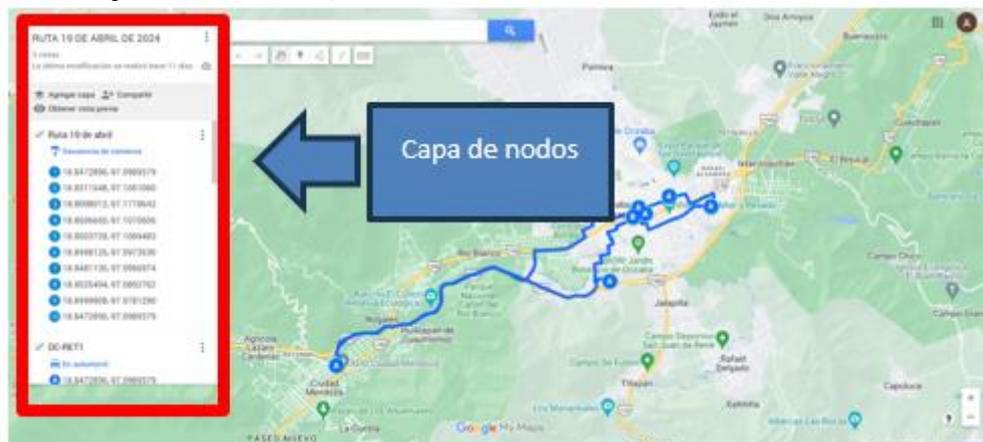
Registro en My Maps

Los pasos para añadir los puntos de entrega a las capas se detallan a continuación:

- 1.-Añadir una capa de las coordenadas de todos los nodos(Figura 3)

Figura 3

Ruta Completa de los nodos(clientes visitados)

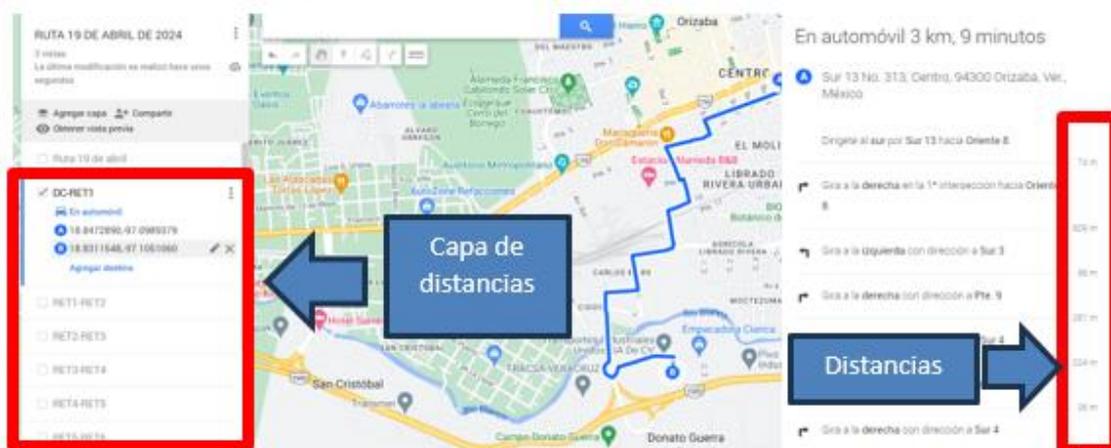


Fuente: Elaboración propia

2.- Se añaden capas por cada conexión entre un nodo y otro, como se muestra en la figura 4. Para verificar la distancia entre ellos y obtener los metros que recorre por cada intersección.

Figura 4

Par de nodos de una ruta y sus distancias



Fuente: Elaboración propia

Registro de Información de las Rutas

Al concluir el registro en My Maps, se suman los metros recorridos de cada fragmento para obtener la distancia total y tiempos aproximados. Esto se guarda en un formato de Excel para calcular el total del recorrido (Tabla 1).

Tabla 1

Ejemplo de Rutas con coordenadas

Coordenadas de ubicación				
NODO	Longitud	Latitud	Demanda	Lugar
DC	18.8472890	-97.0989379	0	Sucursal Prolimp Orizaba
Cliente1	18.8470859	-97.0916111	0.001	Industrias Chain
Cliente2	18.8467810	-97.1089244	17.112	Aborígen
Cliente 3	18.8487974	-97.1086505	0.0588	Hotel Alameda
Cliente 4	18.8453833	-97.1113565	7.545	ISECF
Cliente 5	18.8516318	-97.1063696	7.545	La Michoacan Madero Norte 3
Cliente 6	18.8305458	-97.1051801	156.825	PROVIDA
Cliente 7	18.8344851	-97.0913526	6.783	Alimentos Ochoa
Cliente 8	18.8476472	-97.0723069	10.46	Molinera
Ruta	1,2,3,4,5,6,7,8			
Empírica				
Kilómetros recorridos	20.824	Kilómetros		

Nodo: representa a cada entrega al cliente, DC: punto de partida, la Longitud y Latitud de cada cliente se extrae de Google Maps, la demanda de los datos recabados y los nombres de los clientes los proporciono la empresa. Fuente: Elaboración propia.

Este procedimiento se realiza con cada uno de los días que se toman los datos.

Cálculo de matriz de distancias

Una vez obtenidas las tablas resumen se procede a calcular las matrices de distancias. Estas son necesarias para añadir al modelo matemático MTZ que se utiliza en la siguiente sección, para lo cual, se utiliza un código de programación que genere dicha matriz de distancias basada en las coordenadas obtenidas en la tabla resumen. Este enfoque es indispensable, ya que en diversos estudios se emplean matrices de distancias euclidianas para alimentar los algoritmos de optimización; sin embargo, estas no son aplicables en la práctica debido a que las rutas efectivas entre dos puntos no siempre coinciden en ambas direcciones. Para abordar esta limitación, se utiliza la API de Google Maps dentro del código de programación, lo cual permite calcular distancias reales entre los puntos, tomando en cuenta las direcciones de las calles y asegurando la precisión necesaria para el recorrido completo.

El código se genera con ayuda de ChatGPT y se prueba mediante Google Colab. Colab, conocido como "Colaboratory", es una plataforma que permite programar y ejecutar código en Python directamente desde el navegador, eliminando la necesidad de configuraciones previas. Ofrece acceso gratuito a GPUs y permite compartir contenido de manera sencilla. Esta herramienta resulta especialmente útil para estudiantes, científicos de datos e investigadores en inteligencia artificial. (Google Colab, s. f.)

El resultado que genera la matriz de distancias es el siguiente (Figura 5)

Figura 5

Matriz de distancias entre los nodos de la ruta dada en kilómetros por el Código en Google Colab. Ret: significa el punto de entrega DC: es el punto de partida

Nodo	DC	Ret1	Ret2	Ret3	Ret4	Ret5	Ret6	Ret7	Ret8	\
Nodo										
DC	NaN	0.633	3.739	1.002	1.324	1.911	2.302	5.447	6.31	
Ret1	0.95	NaN	3.206	0.898	1.668	2.255	2.646	5.439	6.302	
Ret2	3.434	3.039	NaN	2.569	7.024	4.992	8.224	7.38	8.243	
Ret3	1.279	0.853	2.675	NaN	2.164	2.751	3.142	6.288	7.151	
Ret4	2.051	1.872	4.818	2.404	NaN	1.386	1.922	3.641	4.504	
Ret5	1.387	2.021	5.695	2.204	1.33	NaN	0.391	4.491	5.354	
Ret6	1.516	2.322	5.824	2.332	1.389	0.587	NaN	4.349	5.212	
Ret7	4.588	4.881	7.198	4.936	3.343	4.116	4.46	NaN	0.87	
Ret8	5.431	5.724	8.041	5.778	4.186	4.959	5.303	0.873	NaN	
Ret9	4.009	4.413	7.268	4.356	2.763	3.539	3.577	0.917	1.78	
Ret10	3.677	4.683	7.699	4.664	2.964	2.749	2.672	2.034	2.897	
Ret11	2.935	3.451	8.036	3.784	2.084	2.094	2.017	2.371	3.234	
Ret12	1.925	2.558	9.349	2.741	1.452	0.996	0.92	3.594	4.457	
Ret13	2.501	3.302	9.239	3.317	1.934	1.66	1.203	3.484	4.347	
Ret14	2.445	3.251	10.236	3.261	1.903	1.516	1.028	4.481	5.344	
Ret15	2.435	2.448	5.14	2.466	3.168	2.526	2.038	5.746	6.609	
Ret16	3.214	3.283	5.289	2.35	4.112	4.66	5.051	10.434	11.298	

Fuente: Elaboración propia con asistencia de ChatGPT

Después se ejecuta el código de nuevo para cada una de las tablas resumen con sus respectivos nodos y coordenadas y así obtener todas las matrices de distancias.

Optimización de Rutas

Se toma el modelo matemático MTZ nombrado así por sus autores Miller-Tucker-Zemlin, para reducir la distancia obtenida de las rutas actuales, que hasta este momento se realiza empíricamente bajo la experiencia del conductor. En este modelo añade una restricción para evitar sub-tours en las rutas generadas.

El modelo y su desarrollo es el siguiente, de acuerdo con (Villegas Flórez et al., 2017)

Se utiliza un una variable X_{ij} la cual tomará el valor de 1 si el arco de i a j es usado y 0 en caso contrario. C_{ij} es el costo asociado(en este caso será la distancia), de la visita de la ciudad j después de visitar a la ciudad i , para esta variable se ocupa las matrices de distancia obtenidas en la anterior sección.

Figura 6

Modelo MTZ

$$\text{Min } Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n C_{ij} X_{ij}$$

Fuente: (Hincapié et al., 2004)

La ecuación(figura 6) se refiere a la función objetivo, que busca minimizar la distancia recorrida por el agente viajero, adicional a esta función se deben plantear las restricciones de entrada y salida de cada ciudad.

Figura 7

Restricción de entrada

$$\sum_{i=0, i \neq j}^n X_{ij} = 1$$

Fuente: (Hincapié et al., 2004)

Las restricciones del modelo son las siguientes:

El propósito de la ecuación (Figura 7) es garantizar que cada ciudad j sea llegada desde exactamente una otra ciudad i .

Figura 8

Restricción de salida

$$\sum_{j=0, j \neq i}^n X_{ij} = 1$$

Fuente: (Hincapié et al., 2004)

El propósito de la ecuación (Figura 8) es asegurar que de cada ciudad i se sale hacia exactamente una otra ciudad j .

Figura 9

Eliminación de sub-tours

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad \forall i \neq j, \quad i, j \neq 0$$

Fuente: (Hincapié et al., 2004)

El propósito de la ecuación (Figura 9) es evitar la formación de subtours, que son ciclos cerrados que no incluyen todas las ciudades. Esto es crucial para asegurar que la solución forme un único tour que visite todas las ciudades.

Con estas ecuaciones y las matrices de distancias, se ocupó ChatGPT para desarrollar y entregar un código para Google Colab que implemente el modelo del agente viajero basado en el enfoque MTZ de Villegas Flórez et al. (2017). El resultado de la optimización con una matriz de distancias de prueba de una ruta es el siguiente (Figura 10):

Figura 10

Resultados de la Ruta Mejorada

Requirement already satisfied: networkx in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (3.3)

Requirement already satisfied: pulp in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (2.9.0)

Estado: Optimal

Costo mínimo: 30.031999999999996

Ruta óptima: [0, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 14, 16, 8, 7, 6, 2, 3, 1, 0]

Versión de numpy: 1.26.4

Costo mínimo: es la distancia obtenida en kilómetros, Ruta Óptima: el orden en que los nodos son visitados, la versión numpy: número de versión para la biblioteca que contiene las funciones para realizar los cálculos de optimización.

Fuente: Elaboración propia con asistencia de Chat GPT

Para calcular la emisión estimada de CO₂ en las rutas, se puede utilizar la ecuación presentada en la Figura 10, siguiendo el método propuesto por Gómez (2009)

$$E_p = KRV * FE_p$$

La ecuación (Figura 10) se utiliza para calcular las emisiones totales de un contaminante específico (E_p) producido por un vehículo durante un recorrido. En este cálculo, KRV representa la distancia total recorrida por el vehículo en kilómetros, mientras que FE_p es el factor de emisión del contaminante, obtenido de la ficha técnica del vehículo, el cual en este estudio tiene un valor de 221 gramos por kilómetro recorrido. Al multiplicar la distancia total (KRV) por el factor de emisión (FE_p), se obtiene la cantidad total de emisiones generadas durante la ruta, permitiendo evaluar el impacto ambiental del transporte.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta un análisis comparativo entre rutas optimizadas mediante el modelo MTZ implementado en Python contra rutas empíricas, considerando métricas clave como la distancia recorrida en kilómetros y las emisiones de CO₂ en gramos.

Las gráficas y la tabla resumen los resultados obtenidos de las rutas, permitiendo una visualización clara de las diferencias entre ambos enfoques.

Tabla 2

Tabla Resumen de las Rutas

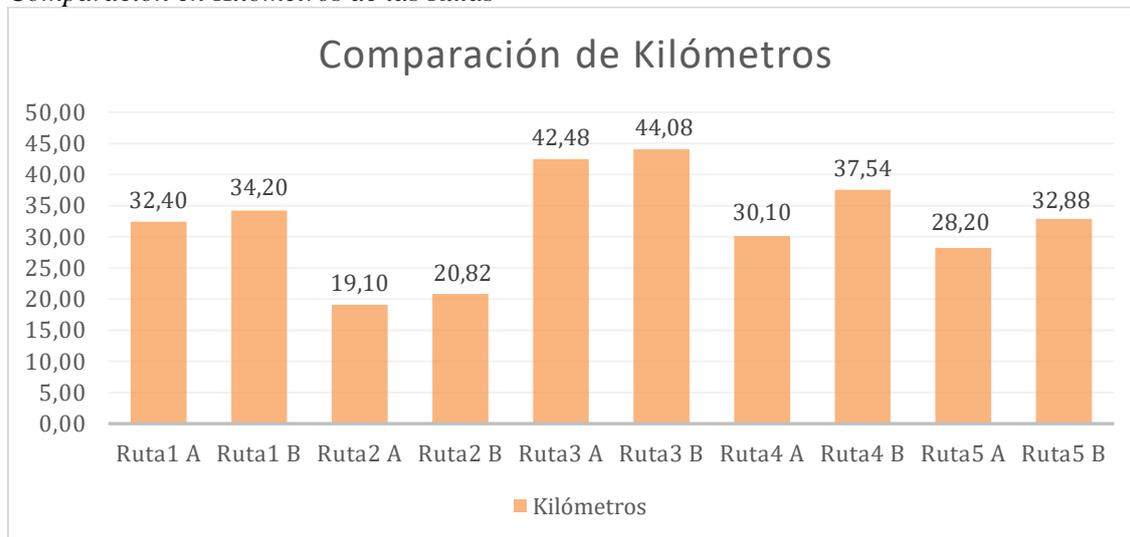
Ruta	Forma de ejecución	Kilómetros	Combustible (litros)	Emisión de CO2 estimada(g)
Ruta1 A	Python, Modelo MTZ	32.40	3.00	7150.40
Ruta1 B	Empírica	34.20	3.17	7558.42
Ruta2 A	Python, Modelo MTZ	19.10	1.77	4221.10
Ruta2 B	Empírica	20.82	1.93	4592.10
Ruta3 A	Python, Modelo MTZ	42.48	3.93	9387.30
Ruta3 B	Empírica	44.08	4.08	9721.90
Ruta4 A	Python, Modelo MTZ	30.10	2.79	6652.10
Ruta4 B	Empírica	37.54	3.47	8296.12
Ruta5 A	Python, Modelo MTZ	28.20	2.61	6232.20
Ruta5 B	Empírica	32.88	3.04	7267.36

Las Rutas A: Distancias empíricas de los datos obtenidos en campo, Rutas B: son el resultado del código generados en Google Colab, la emisión estimada por la ficha técnica del vehículo multiplicada con los kilómetros recorridos Fuente: Elaboración propia.

El análisis de las distancias recorridas muestra que la optimización mediante el modelo MTZ reduce la longitud de las rutas en comparación con las rutas empíricas, logrando mejoras significativas. Por ejemplo, en la Ruta 1, la distancia disminuye en un 5.27%, mientras que en la Ruta 2 la reducción es del 8.28%. En la Ruta 4, el ahorro es aún más notable, alcanzando un 19.81%.(Figura 11).

Figura 11

Comparación en Kilómetros de las Rutas



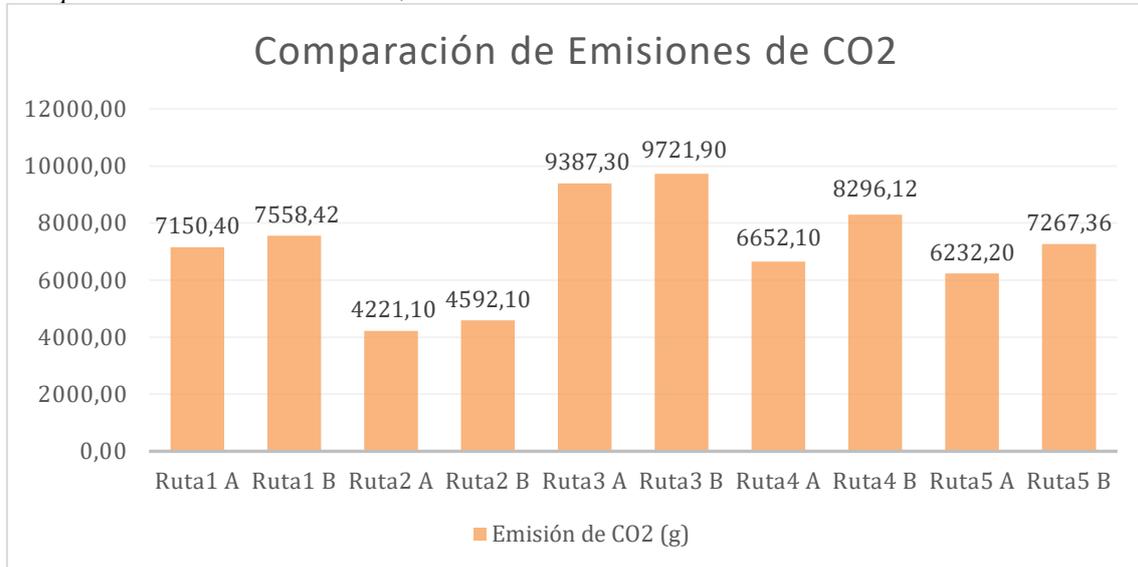
Fuente: Elaboración propia

En términos de emisiones de CO₂, el impacto de la optimización también es positivo. En la Ruta 1, las emisiones disminuyen un 5.39%, en la Ruta 2 un 8.07%, y en la Ruta 4 hasta un 19.82%. En general, la optimización permite una reducción promedio de alrededor del 10% en

emisiones de CO₂, lo cual representa una contribución importante a la sostenibilidad ambiental. (Figura 12).

Figura 12

Comparación en Emisión de CO₂, las Rutas



Fuente: Elaboración propia

Para comprobar que la mejora es estadísticamente significativa se utiliza un software con una prueba de t-pareada con las distancias antes y después de utilizar el modelo MTZ de problema del agente viajero.

1. Parámetro: Media
2. Hipótesis nula (H_0): La diferencia media entre las distancias originales y mejoradas es igual a 0.
3. Hipótesis alternativa (H_1): La diferencia media entre las distancias originales y mejoradas no es igual a 0.
4. Alfa=0.05
5. Estadístico P.
6. Regla de decisión
 - Si el valor p es menor que alfa (0.05), rechazamos la hipótesis nula.
 - Si el valor p es mayor o igual que alfa, no rechazamos la hipótesis nula.
7. Los datos se introducen en el software estadístico, los cuales arrojan lo siguientes resultados

Figura 12

Resultados de software estadístico

Distancia Original	Distancia mejorada
34.201	32.400
20.824	19.100
44.081	42.481
37.539	30.100
32.884	28.200

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis nula H_0 : diferencia $\mu = 0$

Hipótesis nula H_1 : diferencia $\mu \neq 0$

Valor $T = 2.99$ Valor $p = 0.040$

Estos resultados dan un valor P de 0.040, con lo cual se llega a la siguiente conclusión: Existe evidencia estadística suficiente para rechazar H_0 , por lo tanto, la mejora observada en las distancias recorridas es estadísticamente significativa, con un nivel de significancia de 0.05 aceptar H_1

CONCLUSIONES

El objetivo principal de este estudio es presentar una comparativa entre las rutas empíricas y las generadas mediante el modelo matemático MTZ, junto a la integración de Google Maps API y Python. Los resultados obtenidos evidencian que la metodología empleada logra cumplir dicho objetivo, destacando las diferencias significativas en eficiencia y sostenibilidad.

Además, si se proyecta los resultados obtenidos considerando el promedio de 10% de reducción en distancia y emisiones de CO₂, los beneficios acumulados serían significativos. Extender esta optimización a lo largo de cuatro semanas, manteniendo este promedio, permitiría alcanzar ahorros estimados de 103.44 kilómetros recorridos, 9.54 litros de combustible y 22,756.80 gramos de emisiones de CO₂.

Estos hallazgos confirman que la implementación de herramientas avanzadas de optimización puede transformar procesos logísticos tradicionales en soluciones más eficientes y sostenibles, ayudando a las MIPYMES a adaptarse a las demandas actuales de competitividad y responsabilidad ambiental.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, quienes son el motor de mi vida y mi mayor inspiración para seguir adelante cada día. Mis padres, en particular, han sido mi pilar, brindándome apoyo y motivación incondicional en cada reto y desafío que he enfrentado, y acompañándome siempre en este camino.

Extiendo mi gratitud a la institución que me ha proporcionado las herramientas y espacios necesarios para desarrollar mis actividades académicas, así como a los profesores de calidad que me han guiado y motivado a esforzarme por ser mejor cada día.

Finalmente, agradezco al organismo Conahcyt por el apoyo otorgado, que me ha permitido continuar con mi formación académica y aspirar a mayores oportunidades en mi desarrollo profesional.

REFERENCIAS

- Cota Salgado, M. J. (2020). *Mortalidad infantil y contaminación ambiental en la Ciudad de México*. <http://repositorio-digital.cide.edu/handle/11651/4354>
- Hincapié, r. A., ríos porras, c. A., & gallego, r. A. (2004). Técnicas heurísticas aplicadas al problema del cartero viajante (tsp). *Scientia et technica*, x(24), 1-6.
- Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)—Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero INEGYCEI 2020-2021—Datos.gob.mx/busca*. (s. f.). Recuperado 27 de octubre de 2023, de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-inegycei/resource/d202a24f-cc1f-46d2-80e8-5d3389e92378>
- Kuo, Y., & Wang, C. (2011). Optimizing the VRP by minimizing fuel consumption. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 22(4), 440-450. <https://doi.org/10.1108/14777831111136054>
- Villegas Flórez, J. A., Zapata Grisales, C. J., & Gatica, G. (2017). Una aplicación del método MTZ a la solución del problema del agente viajero. *Scientia Et Technica*, 22(4), 341-344.
- Google. (s. f.). *Usar capas del mapa*. Recuperado 19 de noviembre de 2024, de <https://support.google.com/mymaps/answer/3024933?hl=es&co=GENIE.Platform%3DDesktop>
- Rutas para vehículos | OR-Tools. (s. f.). Google for Developers. Recuperado 25 de abril de 2024, de <https://developers.google.com/optimization/routing?hl=es-419>
- Google Colab. (s. f.). Recuperado 28 de mayo de 2024, de <https://research.google.com/colaboratory/intl/es/faq.html>
- Cindy Lara Gómez, Juan Fernando Mendoza Sánchez, María Guadalupe López Domínguez, Rodolfo Téllez Gutiérrez, Wilfrido Martínez Molina, & Elia Mercedes Alonso Guzmán. (2009). *Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana*. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt322.pdf>
- Rincón Abril, L. A. (2001). *Investigación de operaciones para ingenierías y administración de empresas*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51956>