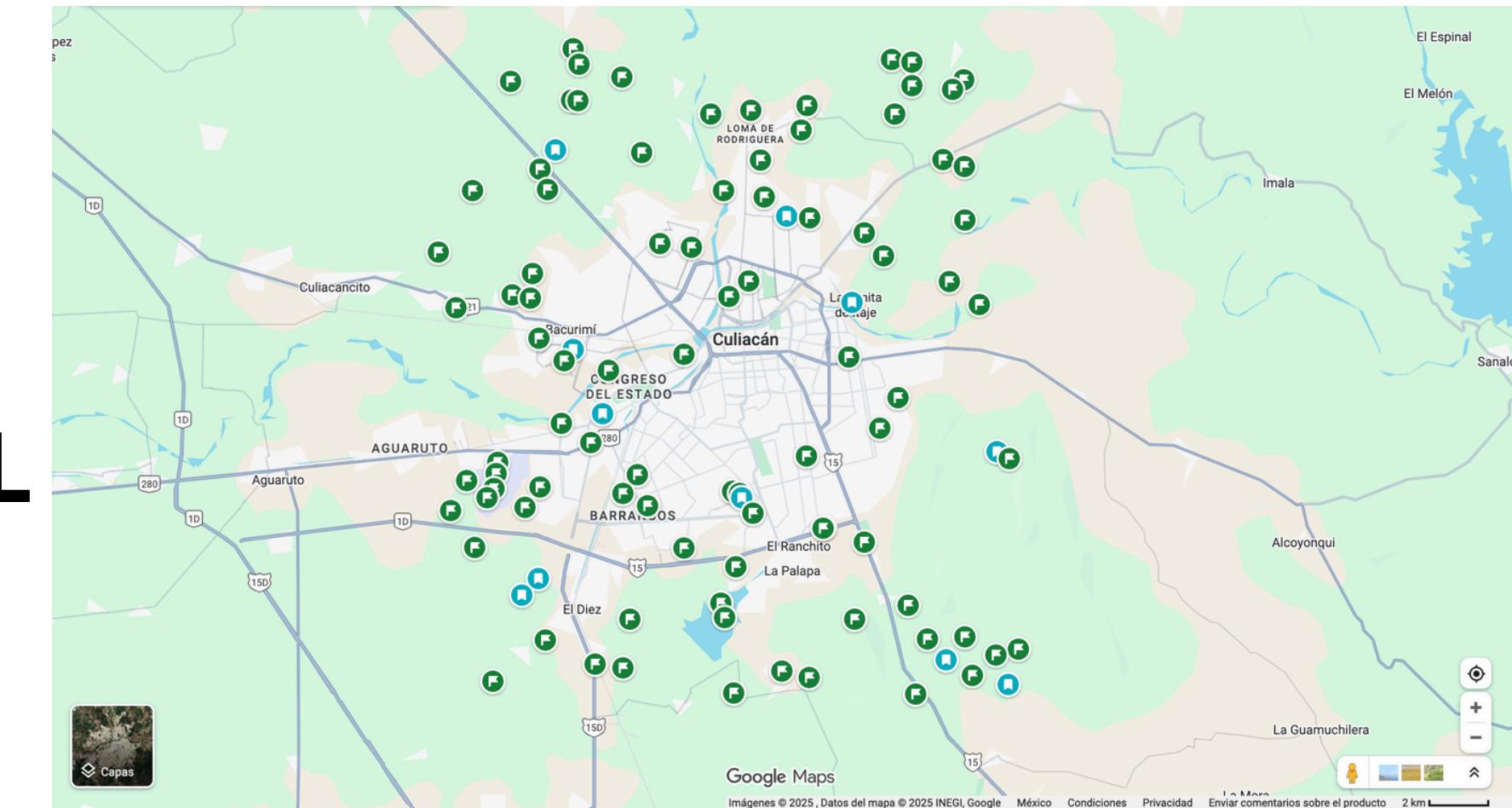


# Sistema de enrutamiento para tiendas de autoservicio

**INTEGRANTES:**

**HERRERA QUIÑONES ABRAHAM GAELE  
OCHOA AVILES EDGAR**



# Contenido

- Resumen
- Introducción
- Planteamiento del problema
- Objetivo general y objetivos específicos
- Marco teórico
- Modelo matemático (formulación base)
- Selección y justificación del algoritmo

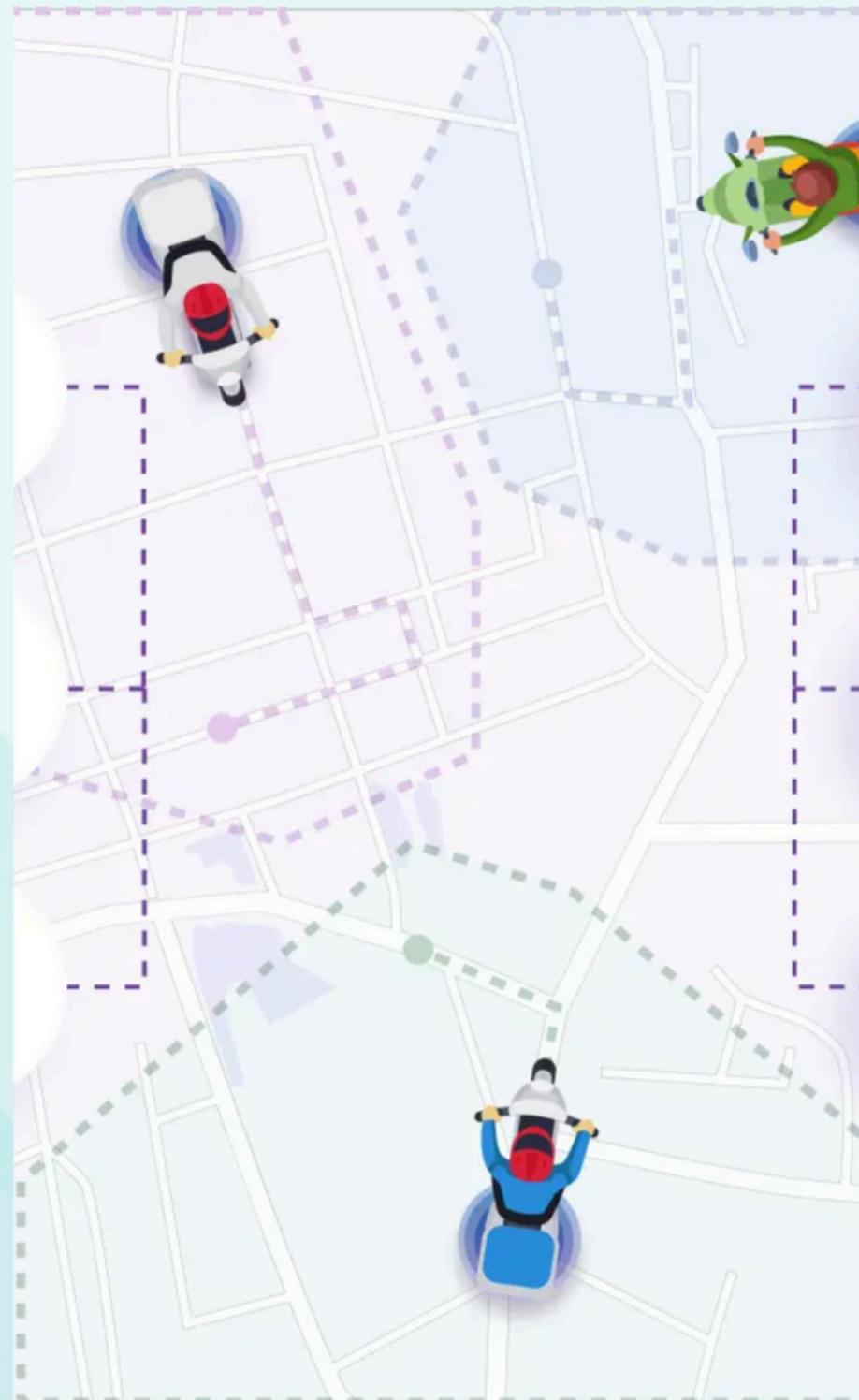
# Contenido

- Resultados esperados
- Cronología
- Conclusiones

01

# Resumen

# Resumen



## Problema abordado

Se optimiza la distribución de rutas para una cadena de restaurantes en Culiacán, modelando el escenario como MDVRP (Problema de Rutas con Vehículos con Múltiples Depósitos), una extensión del VRP clásico.

## Algoritmo propuesto

Se emplea Recocido Simulado (SA), mejorado con técnicas de búsqueda local como 2-opt, relocate y swap, para minimizar el costo de combustible y la distancia total recorrida.

## Comparación de metodologías

Se contrasta SA con Búsqueda Tabú (TS), justificando la elección en base a evidencia teórica y práctica adaptada al problema logístico.



02

## Introducción

# Naturaleza del MDVRP



## Múltiples depósitos

El MDVRP extiende el VRP clásico mediante la incorporación de varios centros de distribución, lo que incrementa la complejidad del problema al requerir la asignación óptima de depósitos a las sucursales.

## Demandas de sucursales

Cada sucursal tiene necesidades específicas que deben ser atendidas en las rutas, considerando restricciones de capacidad de los vehículos.

## Objetivo de minimización

El propósito central es reducir los costos logísticos totales, integrando factores como el consumo de combustible y la distancia recorrida en las decisiones de ruteo.

03

## Planteamiento del problema

# Restricciones del problema

- Cobertura de sucursales: Cada sucursal debe ser atendida exactamente una vez, asegurando que todas las demandas se cumplen sin omisiones ni duplicaciones en las rutas.
- Conservación del flujo: Las rutas deben mantener un flujo continuo desde el depósito hasta las sucursales, garantizando que el diseño de rutas sea consistente y sin interrupciones.
- Capacidad de vehículos: Los vehículos deben operar dentro de sus límites de carga, evitando situaciones de sobrecarga, lo que permite un funcionamiento seguro y eficiente.
- Rutas con inicio y fin en depósitos: Cada ruta establecida debe comenzar y terminar en su depósito correspondiente, respetando la lógica de distribución centralizada y optimizando el uso de recursos.

# 04

## Objetivo general y objetivos específicos

# Lista de objetivos específicos



## Desarrollar una implementación computacional modular y documentada

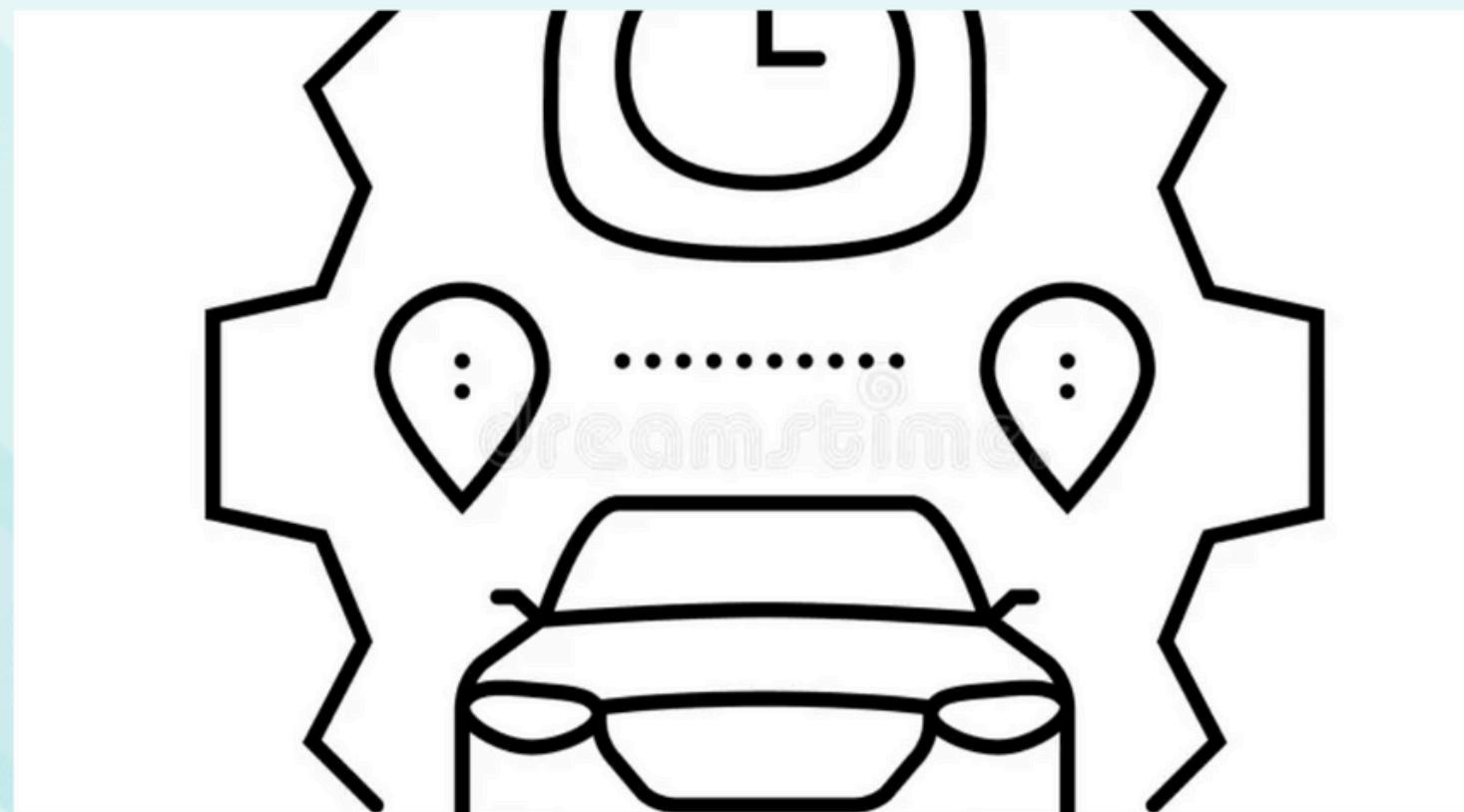
Construir un sistema que integre técnicas de búsqueda local para mejorar soluciones iniciales y aplicar metaheurísticas de manera eficiente y reproducible.

## Diseñar pruebas con datos de muestra y métricas pertinentes

Establecer un protocolo experimental con líneas base y métricas clave, como costos de combustible y distancia total.

## Evaluar el desempeño frente a líneas base y discutir resultados y limitaciones

Analizar la calidad de las soluciones generadas, considerando beneficios operativos, potenciales riesgos y posibilidades de extensión.



05

## Marco teórico

# VRP el MDVRP

## Diferencias entre VRP y MDVRP

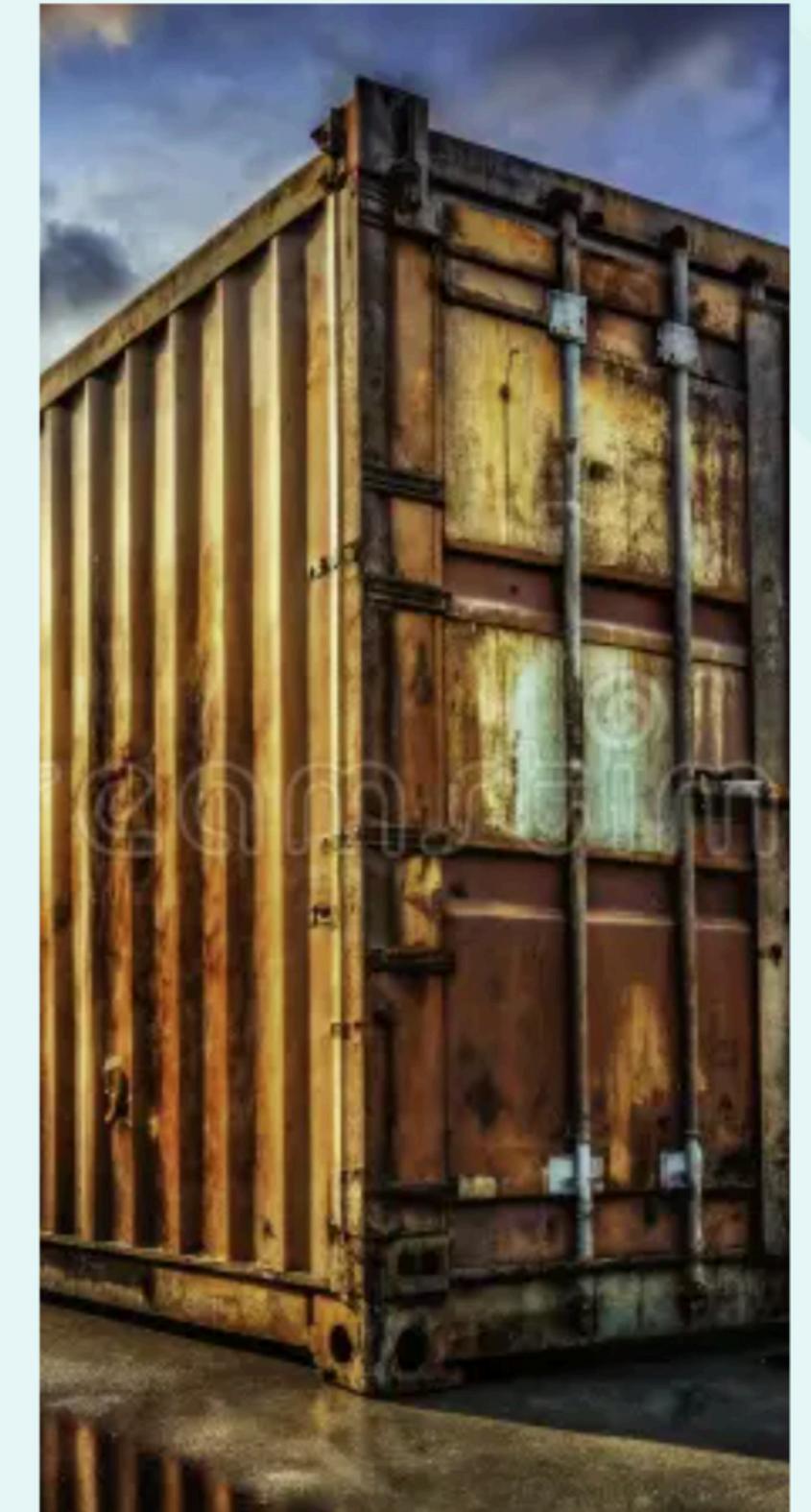
El VRP clásico busca optimizar rutas para atender clientes desde un solo depósito, mientras que el MDVRP añade la complejidad de múltiples depósitos, ampliando significativamente el espacio de decisión y la dificultad computacional.

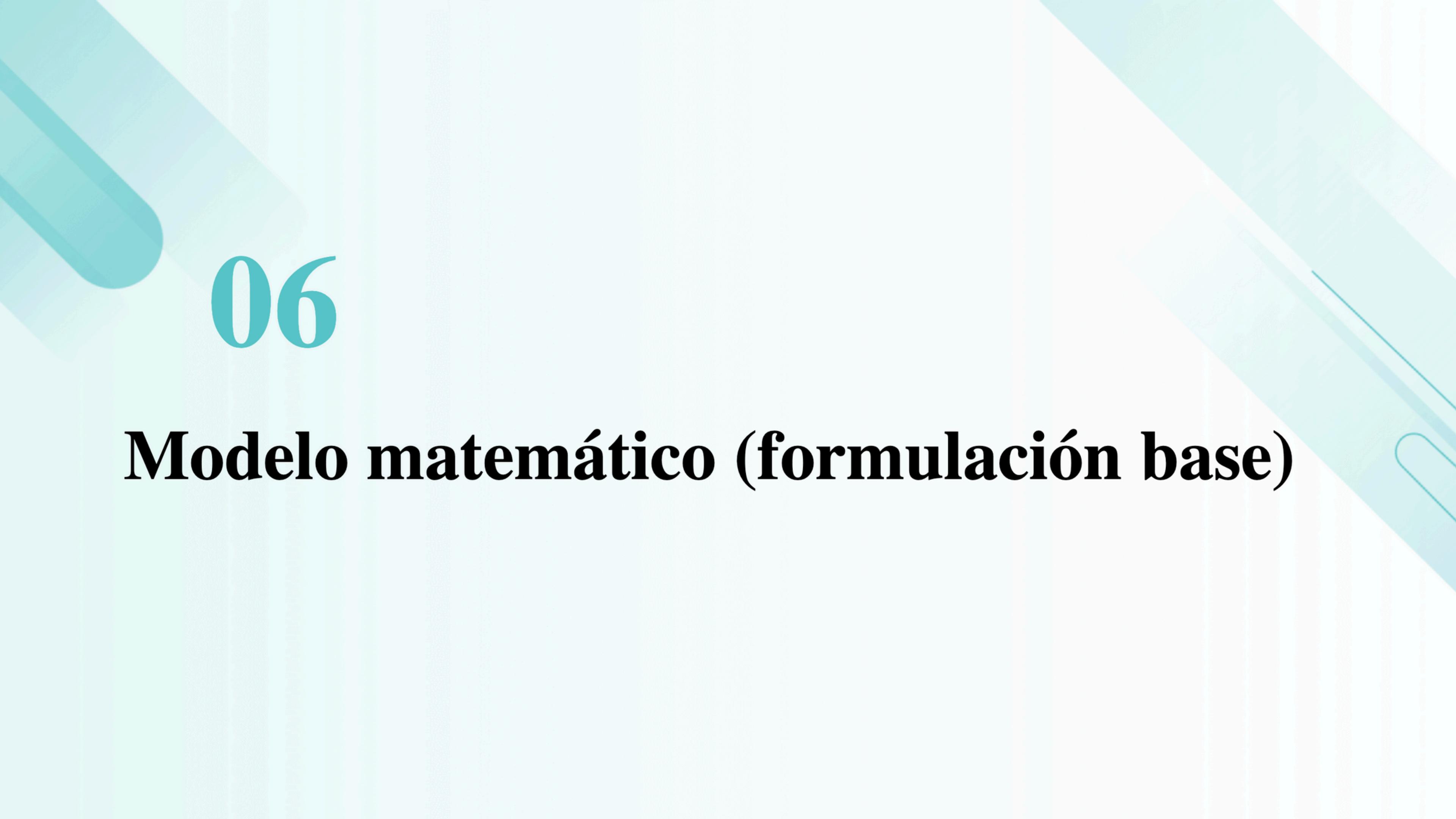
## Asignación depósito-cliente

En el MDVRP, una parte clave del problema radica en asignar cada cliente a un depósito específico antes de planificar las rutas, lo que introduce una dimensión adicional a la solución.

## Complejidad combinatoria

Debido al número de depósitos y posibles combinaciones de asignaciones y rutas, el MDVRP se clasifica como NP-difícil, lo que significa que es muy improbable encontrar soluciones óptimas en tiempos razonables para grandes instancias.





06

# **Modelo matemático (formulación base)**

# Restricciones matemáticas

## Cobertura de sucursales

Cada sucursal debe ser visitada exactamente una vez por un vehículo, garantizando que todas las demandas se atiendan de manera equitativa y evitando duplicaciones en las rutas.

## Flujo en rutas

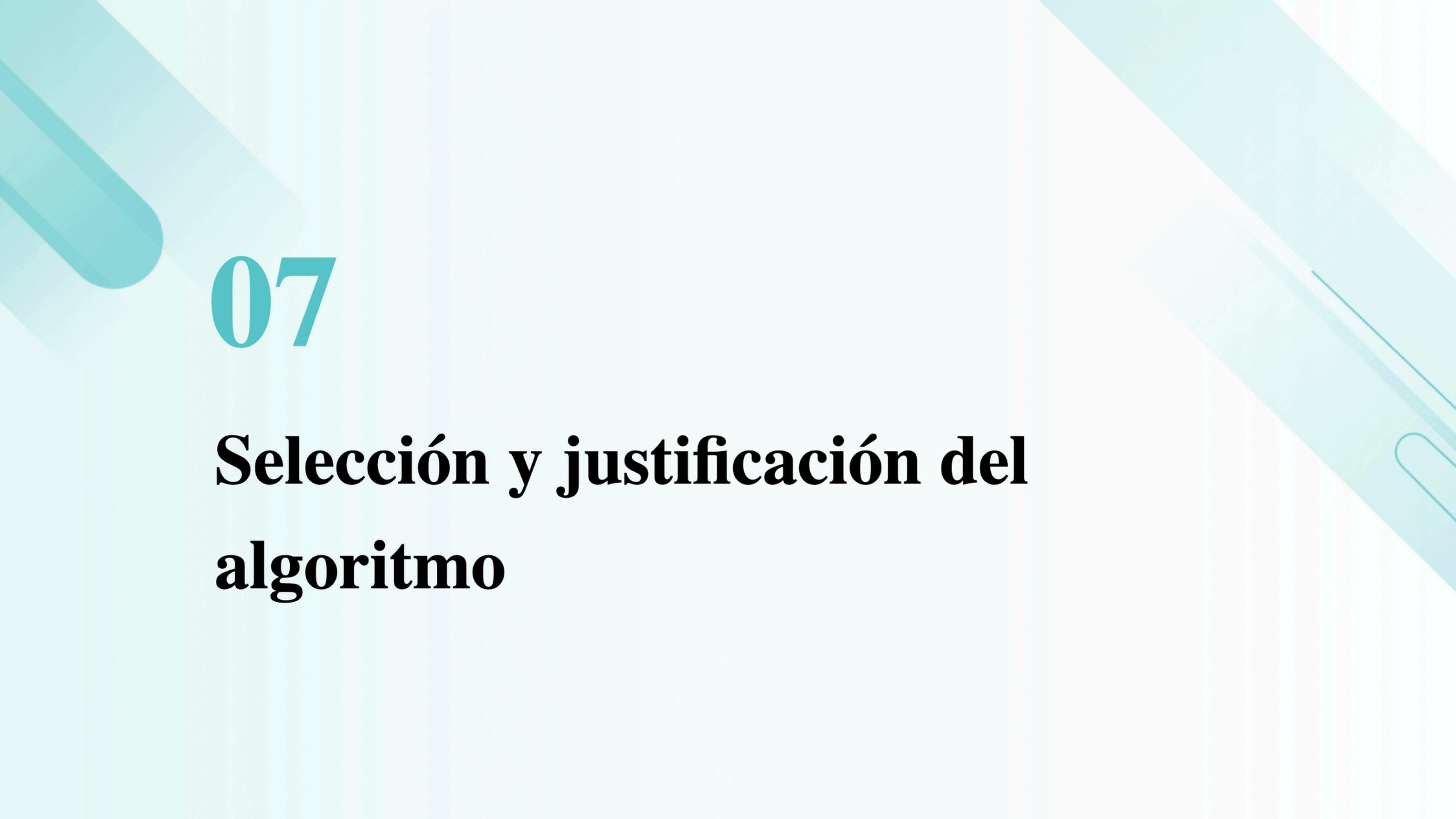
Se asegura la conservación del flujo en cada ruta, de manera que los vehículos salgan y regresen al depósito correspondiente a través de recorridos válidos y continuos.

## Capacidad de vehículos

Se establece la restricción de capacidad, limitando la carga transportada por cada vehículo para evitar desbordamientos y garantizar condiciones operativas seguras.

## Eliminación de subciclos

La formulación incluye métodos como variables MTZ para prevenir subciclos dentro de las rutas, asegurando que las soluciones generadas sean optimizadas y consistentes.



07

# **Selección y justificación del algoritmo**

# Comparación entre SA y TS

1

## Criterios de selección estructurados

SA y TS se comparan frente a objetivos claros: minimizar costos y restricciones complejas del MDVRP, destacando SA por predecibilidad en escenarios de múltiples objetivos.

2

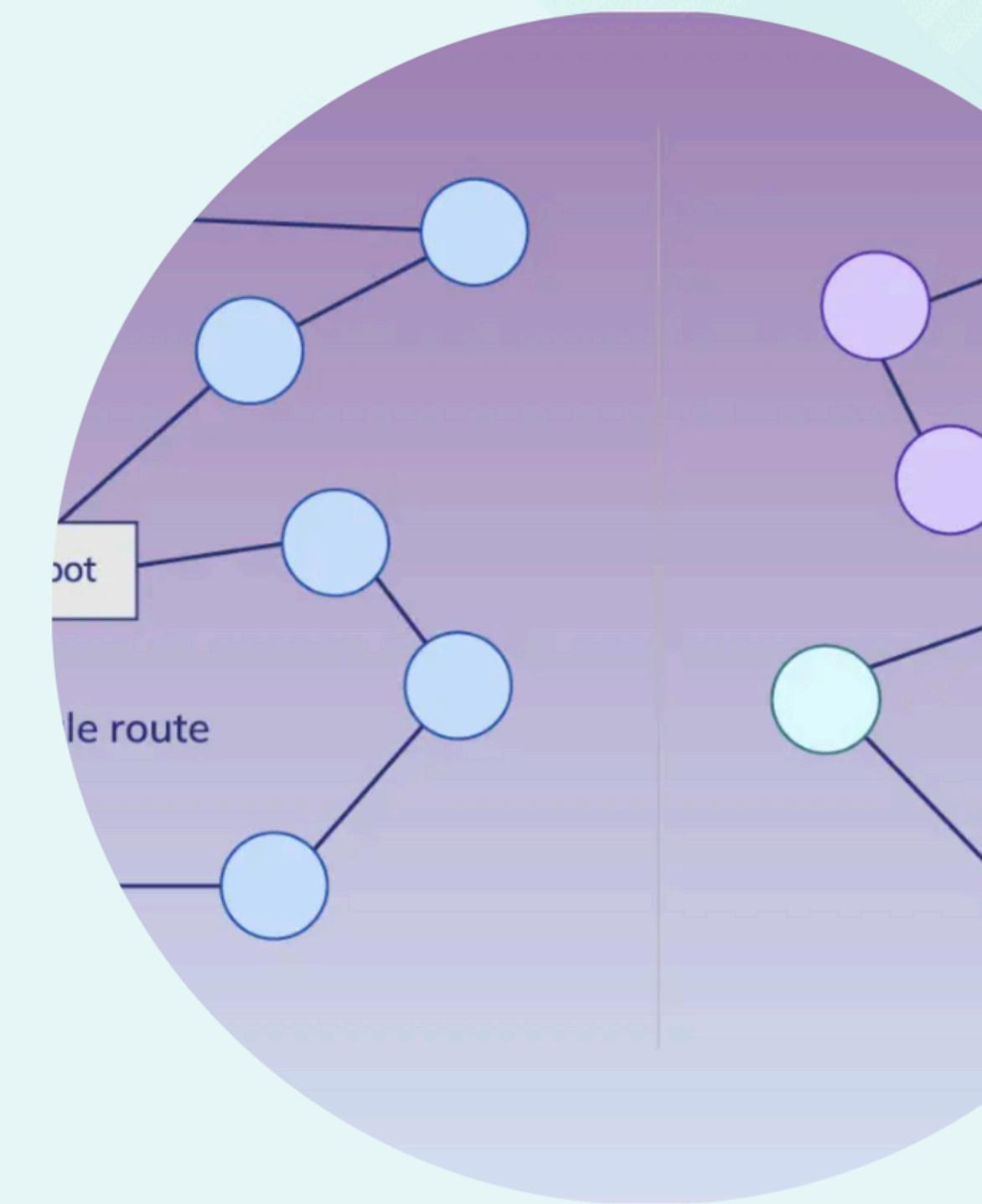
## Integración de vecindarios y mejora local

Recocido Simulado se alinea bien con técnicas como 2-opt, relocate y swap, cuya eficacia mejora con aceptación controlada. TS, aunque poderoso, sobresale en variantes restrictivas específicas.

3

## Control de estancamiento y óptimos locales

Mientras SA utiliza la probabilidad exponencial para escapar de óptimos locales, TS evita ciclos mediante memoria adaptativa, lo que demuestra su capacidad en espacios de búsqueda amplios.



# Flujo de Recocido Simulado



## Procesamiento de vecindarios

SA utiliza operadores como 2-opt, relocate y swap para generar vecinos mediante pequeñas modificaciones iterativas que mejoran o ajustan las rutas actuales.



## Aceitación probabilística

Los movimientos son aceptados según una probabilidad dependiente de la diferencia de costos entre soluciones y la temperatura actual, favoreciendo la exploración y evitando el estancamiento en óptimos locales.



## Enfriamiento geométrico

La temperatura inicial, ajustada para una tasa moderada de aceptación, disminuye progresivamente siguiendo un calendario geométrico ( $T \leftarrow \lambda T$ ), regulando la búsqueda hacia soluciones más refinadas.

# Métricas primarias y secundarias



## Costo de combustible total

Medición prioritaria que considera la suma de todos los costos asociados al consumo de combustible en las rutas calculadas, reflejando la eficiencia económica.



## Distancia total recorrida

Permite evaluar el rendimiento de las rutas calculadas en términos físicos, optimizando la longitud de las trayectorias.



## Tiempo de ruta

Indicador clave para medir el tiempo total que conlleva completar una ruta, considerando variables como velocidad promedio y tráfico.



## Número de vehículos utilizados

Métrica secundaria que evalúa la cantidad de recursos vehiculares empleados en la distribución, balanceando costos y cobertura.



## Balance de carga entre rutas

Analiza la distribución de demanda entre los vehículos para garantizar equidad operativa y evitar sobrecargas.

08

## Resultados esperados

# Beneficios esperados



## Calidad de solución

El recocido simulado, reforzado con búsqueda local, garantiza soluciones de alta calidad mediante la combinación de heurísticas constructivas y ajustes iterativos, priorizando la optimización de combustible y distancia recorrida.



## Estabilidad en corridas

La metodología asegura estabilidad en los resultados a través de múltiples puntos de inicio (multistart) y control de semillas, reduciendo la variabilidad en las soluciones obtenidas.



## Uso efectivo de búsqueda local y SA

La integración de métodos locales como 2-opt, relocate y swap mejora las soluciones iniciales, mientras que el recocido simulado aporta flexibilidad y exploración del espacio de búsqueda, evitando óptimos locales.

# Beneficios esperados

## **Reducción de costos logísticos**

La combinación de técnicas permite disminuir significativamente los costos operativos al optimizar el uso de rutas, vehículos y combustible bajo restricciones de capacidad.

## **Adaptabilidad a instancias reales**

Al incorporar factores como velocidades promedio y patrones de tráfico en el área urbana, el modelo se adapta a escenarios prácticos, lo que facilita su implementación directa en la cadena de restaurantes.

09

# Cronología

# Actividades por semana

## Calibración de Recocido Simulado (SA)

01

Se ajustan parámetros clave como la temperatura inicial, el calendario de enfriamiento y criterios de parada para garantizar un equilibrio óptimo entre exploración y explotación en las soluciones generadas.

## Pruebas unitarias

02

Se verifican individualmente los módulos de construcción de soluciones iniciales, mejora local y generación de vecinos para garantizar su funcionalidad y precisión en instancias de prueba.

## Corridas multistart

03

Se ejecutan múltiples instancias de SA con diversas semillas iniciales, evaluando la robustez y estabilidad del algoritmo frente a variaciones en los puntos de partida.

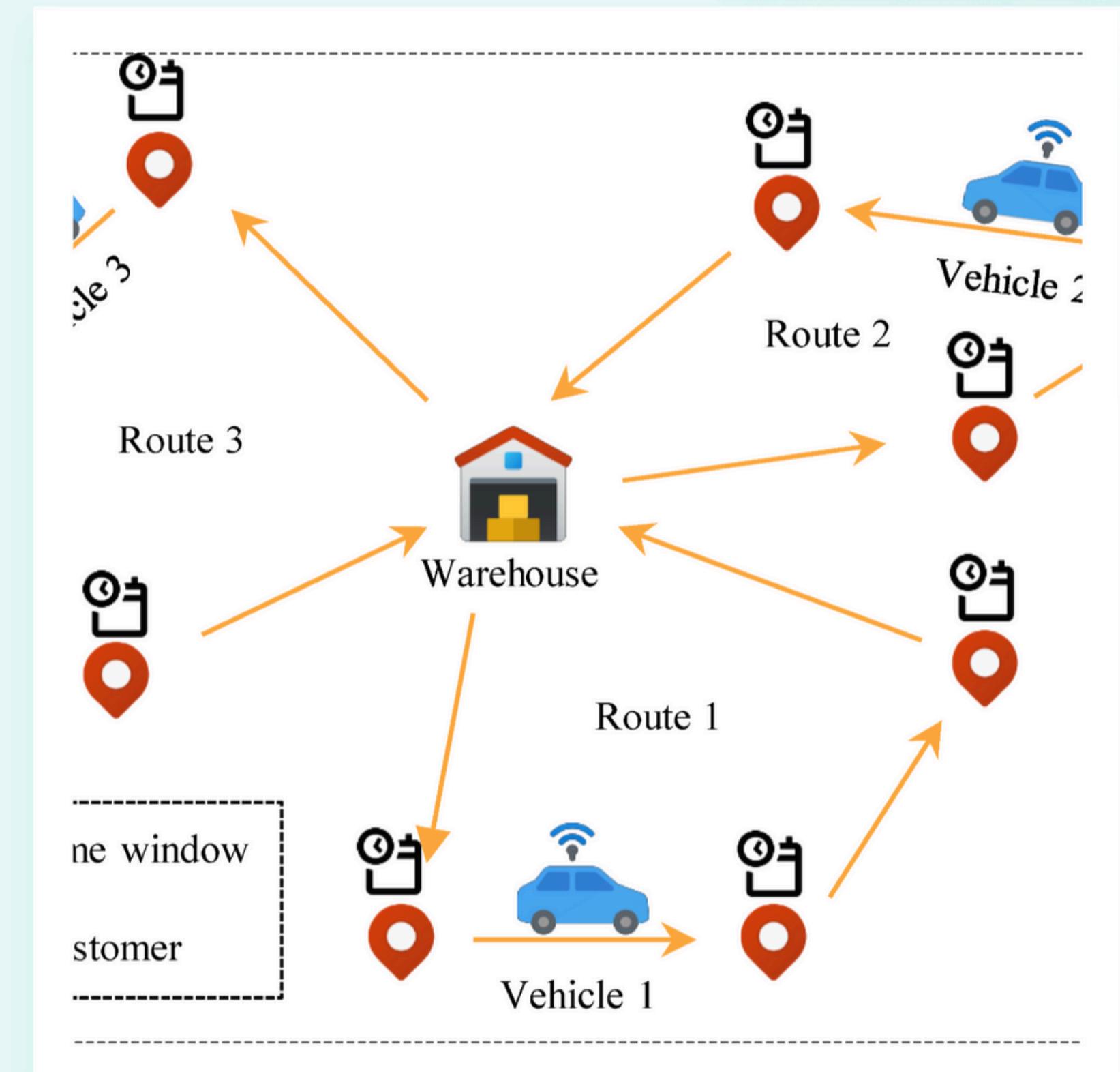
# Conclusiones

## Resumen del modelo MDVRP aplicado en Culiacán

El problema se modeló como un Vehicle Routing Problem con múltiples depósitos, permitiendo atender los retos logísticos de la cadena de restaurantes. Se optimizó el uso de recursos priorizando el costo de combustible y la distancia recorrida bajo restricciones operativas reales.

## Efectividad del Recocido Simulado

La metaheurística demostró ser adecuada para salir de óptimos locales y combinar exploración y explotación en problemas combinatorios. Su integración con búsqueda local amplió las posibilidades de solución eficiente y robusta.



## 12. Referencias (APA 7<sup>a</sup> ed.)

- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568–581.
- Glover, F. (1989). Tabu search—Part I. *ORSA Journal on Computing*, 1(3), 190–206.
- Glover, F. (1990). Tabu search—Part II. *ORSA Journal on Computing*, 2(1), 4–32.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598), 671–670.
- Montoya-Torres, J. R., et al. (2015). A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots. *Computers & Industrial Engineering*, 79, 115–129.
- Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle routing: Problems, methods, and applications* (2nd ed.). SIAM.
- INEGI. (s. f.). Marco Geoestadístico. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.