



**INSTITUTO TECNOLOGICO DE CULIACAN**

**ING. SISTEMAS COMPUTACIONALES**

**TOPICOS DE IA (11:00 A 12:00)**

**DOCENTE: DR. ZURIEL DATHAN MORA FELIX**

**INTEGRANTES:**

- ZETH ODIN ALFONSO JIMENEZ VELAZQUEZ
- MIGUEL ANGEL ZAVALA CARMONA

**Link al repositorio GitHub:**

## **Propuesta de Proyecto de Investigación: Optimización de Rutas Logísticas**

Este documento presenta el diseño y la planificación de una solución computacional para optimizar la red de distribución de una cadena de restaurantes en Culiacán, Sinaloa, mediante el uso de algoritmos heurísticos.

### **Título**

**Optimización de Rutas de Distribución de Productos Perecederos para una Cadena de Restaurantes en Culiacán Mediante Recocido Simulado.**

---

### **1.- Introducción**

La eficiencia logística es un pilar fundamental para el éxito de cualquier cadena de restaurantes. En una ciudad dinámica como Culiacán, Sinaloa, la distribución de productos de abarrotes desde los centros de distribución (CEDIS) hasta las diversas sucursales presenta desafíos significativos. Factores como la congestión vehicular, las ventanas de tiempo de entrega y la necesidad de mantener la frescura de los productos complican la planificación de rutas. Una logística ineficiente se traduce directamente en mayores costos operativos (combustible, mantenimiento, horas de trabajo) y en una posible merma de la calidad del producto.

Este proyecto aborda dicho problema desde la perspectiva de la optimización combinatoria. El objetivo es resolver el **Problema de Ruteo de Vehículos (VRP, por sus siglas en inglés)**, que es computacionalmente complejo. Dado que encontrar la solución óptima exacta es inviable para redes de tamaño realista, se recurre a los **métodos heurísticos**. Estos algoritmos, como el **Recocido Simulado (Simulated Annealing)**, son capaces de encontrar soluciones de muy alta calidad en un tiempo de cómputo razonable, ofreciendo una herramienta estratégica para la toma de decisiones.

---

### **2.- Objetivo General**

Diseñar e implementar una solución computacional basada en el algoritmo de **Recocido Simulado** para optimizar las rutas de distribución de productos de abarrotes desde los centros de distribución hacia las sucursales de una cadena de restaurantes en Culiacán, Sinaloa, con el fin de mejorar la eficiencia logística y reducir los costos operativos.

---

### 3.- Objetivos Específicos

Para alcanzar el objetivo general, se establecen las siguientes metas concretas:

1. **Analizar** el problema logístico actual, identificando las ubicaciones de los CEDIS, sucursales y las variables clave como tiempos, distancias y costos.
  2. **Modelar** el problema como una instancia del Problema de Ruteo de Vehículos (VRP), definiendo la función de costo a minimizar (por ejemplo, distancia total o costo de combustible).
  3. **Seleccionar y justificar** el uso del algoritmo de Recocido Simulado, detallando sus parámetros y su idoneidad para escapar de óptimos locales en problemas de ruteo.
  4. **Desarrollar** una implementación computacional del algoritmo en un lenguaje de programación como Python, utilizando estructuras de datos adecuadas para representar las rutas y la red.
  5. **Simular** escenarios de distribución utilizando datos de la tabla de distribución, la matriz de distancias y la matriz de costos de combustible.
  6. **Evaluar** el desempeño de la solución obtenida comparando las rutas optimizadas con una ruta base o no optimizada, utilizando métricas como distancia total recorrida y costo total de combustible.
  7. **Documentar** todo el proceso del proyecto en un informe final que incluya el código fuente, los resultados y un análisis crítico de los hallazgos.
- 

### 4.- Justificación

La optimización de rutas de distribución es un problema de alto impacto para las empresas. Resolverlo eficientemente tiene beneficios directos y medibles:

- **Reducción de Costos:** Minimiza el consumo de combustible y el desgaste de los vehículos al reducir las distancias recorridas.
- **Mejora de la Eficiencia:** Disminuye los tiempos de entrega, lo que permite una mejor planificación del personal tanto en el CEDIS como en las sucursales.

- **Calidad del Producto:** Asegura que los productos perecederos lleguen en óptimas condiciones al reducir el tiempo en tránsito.
  - **Apoyo a la Decisión Estratégica:** Los métodos heurísticos como el Recocido Simulado ofrecen una solución robusta y flexible. A diferencia de los métodos exactos que pueden tardar demasiado tiempo, una heurística proporciona soluciones casi óptimas de manera rápida, permitiendo a los gerentes de logística reaccionar a cambios imprevistos y planificar con mayor certeza.
- 

## 5.- Alcance

Este proyecto se centrará en los siguientes aspectos:

### Inclusiones:

- El modelo considerará un único centro de distribución y múltiples sucursales ubicadas en Culiacán.
- La optimización se basará en minimizar una función de costo que combina la distancia total y el costo de combustible asociado.
- Se desarrollará un prototipo funcional del algoritmo de Recocido Simulado.
- El resultado final será un conjunto de rutas optimizadas y un informe técnico que documente el proyecto.

### Exclusiones:

- No se considerarán variables en tiempo real como el tráfico o las condiciones climáticas.
- No se modelarán restricciones complejas como capacidades de los vehículos, ventanas horarias de entrega o múltiples viajes por vehículo en un solo día.
- El proyecto no incluye el desarrollo de una interfaz gráfica de usuario (GUI) para el software.

---

## 6.- Desarrollo

### 1. Descripción del Problema

El problema se define como un **Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)**. Se tiene un conjunto de N sucursales y un centro de distribución (CEDIS). El objetivo es encontrar un conjunto de rutas que, partiendo y terminando en el CEDIS, visiten todas las sucursales exactamente una vez, minimizando el costo total del recorrido. La función de costo  $C(R)$  para una ruta  $R$  se define como:

$$C(R) = \sum_{i=0}^{N-1} \text{costo}(n_i, n_{i+1})$$

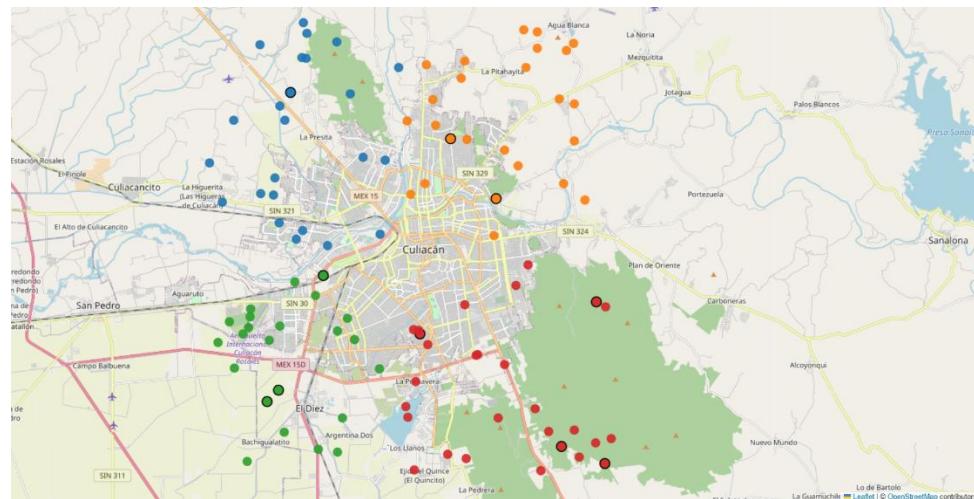
Donde  $n_i$  y  $n_{i+1}$  son nodos consecutivos en la ruta (sucursales o el CEDIS) y el costo puede ser la distancia o el gasto en combustible extraído de las matrices proporcionadas.

### 2. Representación visual del problema

Se generó un mapa interactivo HTML que muestra todos los nodos: centros de distribución y tiendas. Los nodos se visualizaron por zona (Noroeste, Noreste, Suroeste, Sureste) con colores distintos y los centros se destacaron con un contorno negro. Sobre este mapa se realizó una asignación manual de tiendas a centros basada en proximidad visual, división por zonas y reglas heurísticas simples. Esta asignación manual se registró en formato tabular para validarla numéricamente con las matrices de distancias y de combustible, que posteriormente sería comparada con la implementación computacional.

#### Pasos realizados para crear el mapa

- **Carga de datos:** Se usó un archivo de datos de distribución de tiendas que contiene: identificador/nombre, tipo (centro/tienda), latitud, longitud y columna Zona (Noroeste/Noreste/Suroeste/Sureste).
- **Determinación del centro del mapa:** El centro inicial del mapa se calculó como el promedio de latitudes y longitudes de todos los puntos para centrar la vista en Culiacán.
- **Renderizado:** Se colocaron los marcadores para que todos los puntos permanecieran visibles a cualquier nivel de zoom.
- **Color por zona:** Cada zona recibió un color distintivo (p. ej. Noroeste = azul, Noreste = naranja, Suroeste = verde, Sureste = rojo).



### *Ilustración 1: Mapa Interactivo de Nodos*

## **Metodología de asignación manual de rutas**

Al usar el mapa visual como soporte, se aplicaron una serie de reglas heurísticas simples y reproducibles para decidir qué centro surtiría a qué tiendas.

## Reglas usadas

- **Zona primero:** priorizar asignar una tienda al centro que pertenece a la misma zona
  - **Proximidad visual:** si hay varias opciones en la misma zona, asignar al centro más cercano.
  - **Balance sencillo:** evitar que un único centro acumule demasiadas tiendas si hay centros sin carga.
  - **Casos fronterizos:** para tiendas situadas entre zonas, se comparan distancias a los centros candidatos y se elige el de menor distancia.

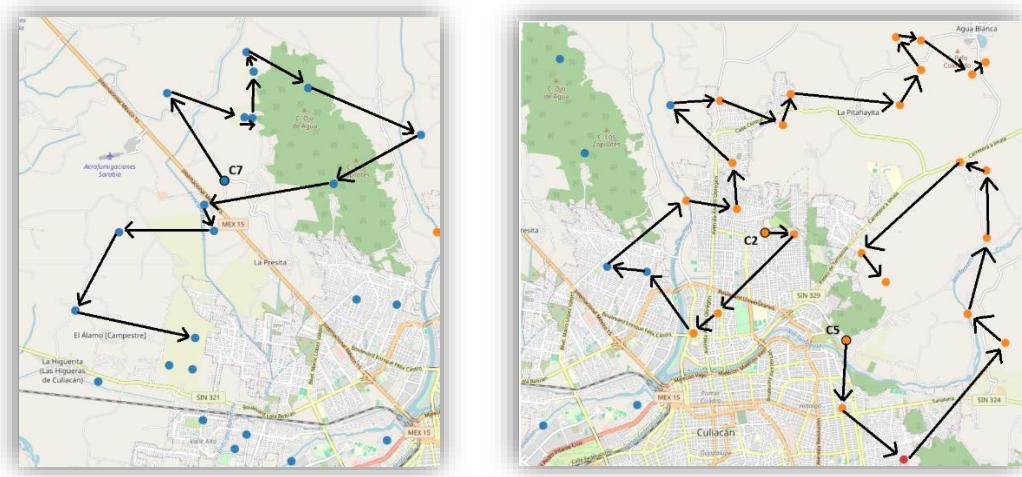


Ilustración 2: “Zona Noroeste & Noreste”

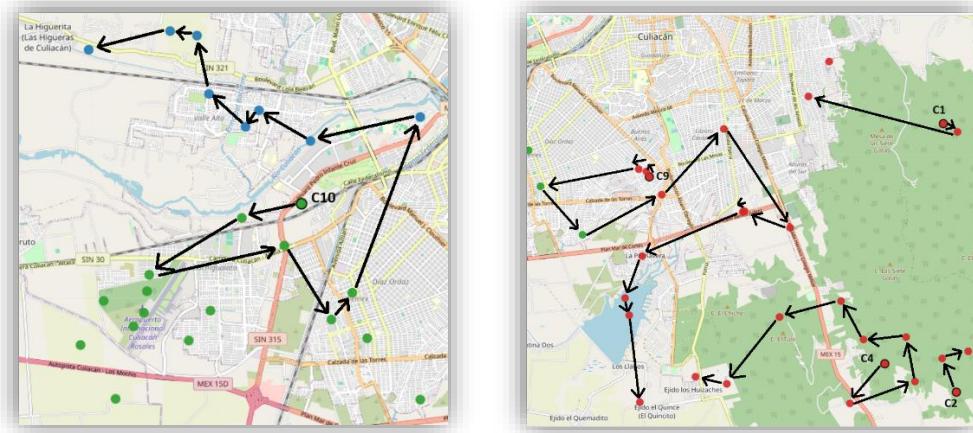


Ilustración 3: “Zona Suroeste y Sureste”

### 3. Selección y Explicación del Algoritmo Heurístico: Recocido Simulado

Se seleccionó el algoritmo de **Recocido Simulado (Simulated Annealing)**.

**Justificación:** El VRP es un problema con un panorama de soluciones lleno de “óptimos locales”: rutas que son buenas pero no las mejores, y desde las cuales cualquier pequeño cambio solo empeora la solución. La principal fortaleza del Recocido Simulado es su capacidad para **escapar de estos óptimos locales**. Lo hace aceptando, con una cierta probabilidad, soluciones peores. Esta probabilidad disminuye a medida que el algoritmo avanza, imitando el proceso físico de recocido de metales, donde un enfriamiento lento permite que los átomos se asienten en una estructura de mínima energía (la solución óptima).

### **Funcionamiento:**

1. **Inicio:** Se genera una solución inicial aleatoria (una ruta cualquiera) y se establece una "temperatura" T alta.
2. **Iteración:** Se genera una "solución vecina" realizando un pequeño cambio en la ruta actual (e.g., intercambiando la posición de dos sucursales en la ruta).
3. **Evaluación:** Se calcula la diferencia de costo  $\Delta C$  entre la nueva ruta y la actual.
4. **Decisión:**
  - o Si la nueva solución es mejor ( $\Delta C < 0$ ), se acepta siempre.
  - o Si es peor ( $\Delta C > 0$ ), se acepta con una probabilidad  $P = e^{-\Delta C/T}$ . Al principio (T alta), la probabilidad de aceptar una mala solución es alta, permitiendo explorar. Al final (T baja), esta probabilidad es casi nula, enfocándose en la explotación de buenas soluciones.
5. **Enfriamiento:** La temperatura T se reduce gradualmente según un "esquema de enfriamiento".
6. **Fin:** El proceso se detiene cuando la temperatura es muy baja o se alcanza un número máximo de iteraciones.

### **3. Implementación Computacional (Propuesta)**

Se propone utilizar **Python 3** con las siguientes librerías:

- **NumPy:** Para manejar eficientemente las matrices de distancia y costos.
- **Matplotlib:** Para visualizar las rutas generadas y la evolución del costo.

### **Estructura del Código:**

- **Carga de Datos:** Funciones para leer la tabla de sucursales y las matrices desde archivos (por ejemplo, CSV).
- **Representación de Solución:** Una lista o un array de NumPy representará el orden de visita de las sucursales en una ruta.
- **Función de Costo:** Una función que recibe una ruta y devuelve su costo total.
- **Generador de Vecinos:** Una función que toma una ruta y aplica una modificación simple (swap).

- **Bucle Principal de Recocido Simulado:** Implementa la lógica del algoritmo, incluyendo el esquema de enfriamiento.

#### 4. Resultados Esperados y Análisis de Efectividad

Se espera obtener los siguientes resultados:

- Una **ruta optimizada** que minimice la distancia/costo total.
- **Gráficos comparativos** que muestren la ruta inicial vs. la ruta final.
- Una **tabla de métricas** que cuantifique la mejora.
- Un **gráfico de convergencia** que muestre cómo el costo de la solución disminuye a lo largo de las iteraciones del algoritmo, similar al presentado en la descripción del proyecto.

## 6.- Resultados Obtenidos

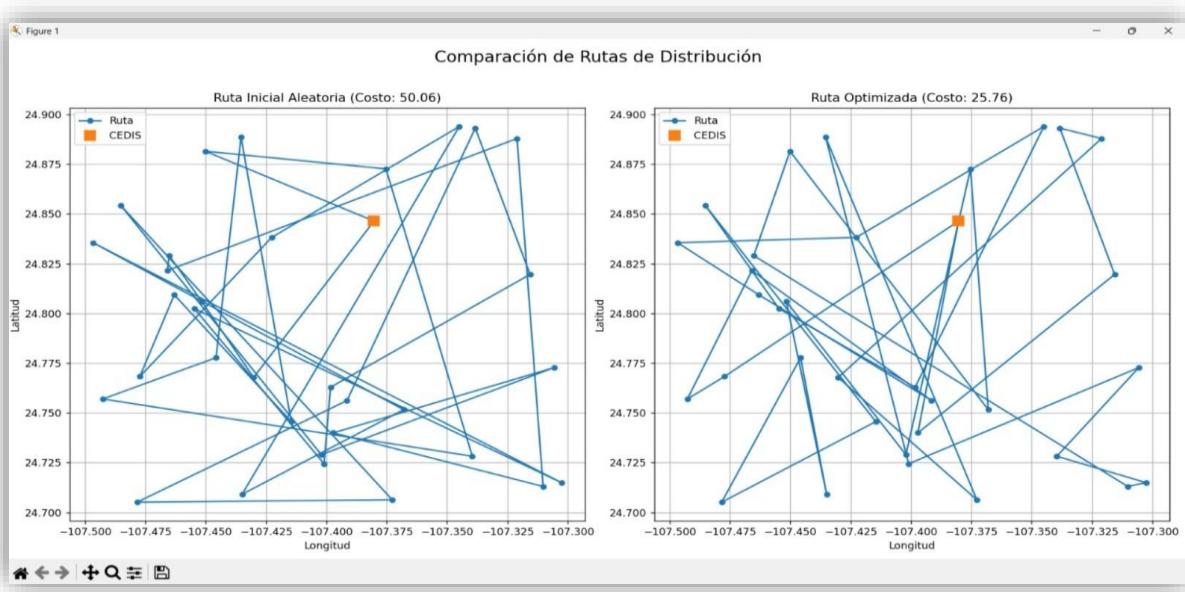


Ilustración 4: "Comparación de Rutas de Distribución"

La imagen muestra el éxito del proyecto al comparar dos rutas:

Ruta de la Izquierda (Antes): Una ruta aleatoria, caótica y cara, con trayectos largos y desordenados que desperdician combustible y tiempo.

Ruta de la Derecha (Después): La ruta optimizada por tu algoritmo. Es un circuito limpio, lógico y económico.

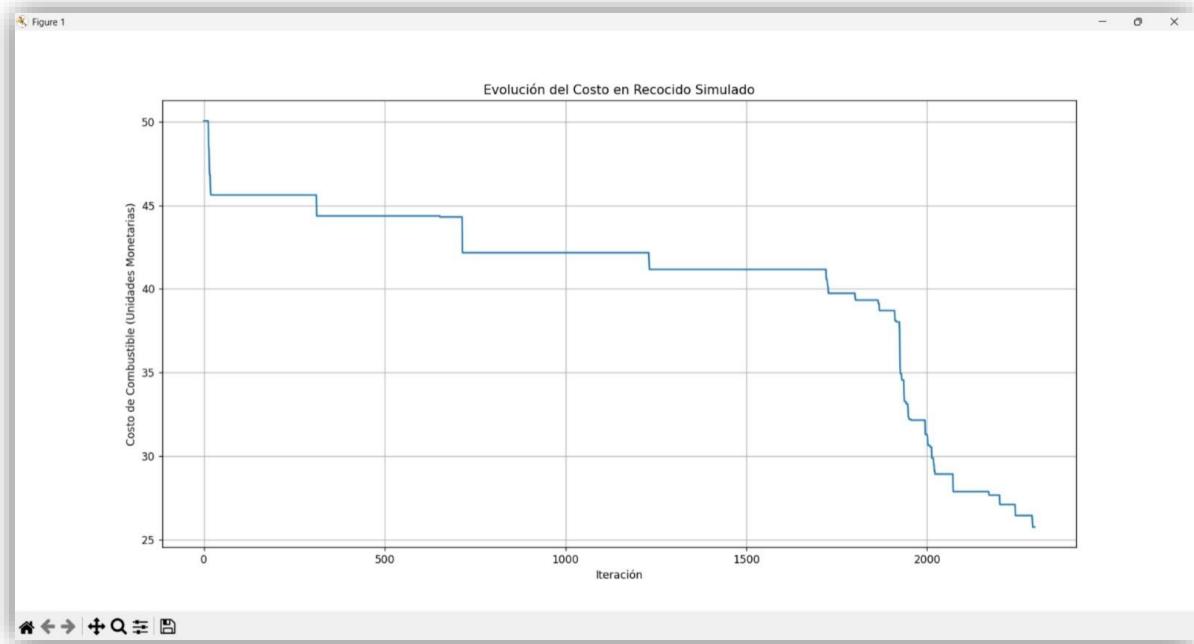


Ilustración 5: "Recocido Simulado"

Eje Y (Costo): Muestra el costo total de la ruta. Más bajo es mejor.

Eje X (Iteración): Representa los pasos que da el algoritmo.

La línea azul muestra que el algoritmo parte de una solución con un costo inicial alto. A medida que avanzan las iteraciones, explora y encuentra rápidamente rutas mucho mejores, reduciendo drásticamente el costo hasta estabilizarse en la solución óptima encontrada.

## 7.- Agenda de Trabajo

Día	Actividad
<b>Día 1 – Revisión y normalización de los datos .</b>	Revisar todas las fuentes (matrices), convertir .xlsx a CSV si hace falta y dejar los archivos en un formato consistente y con nombres esperados por el código.
<b>Día 2 – limpieza y validación de matrices.</b>	Limpiar matrices de distancia y costos (eliminar índices/encabezados exportados, corregir comas decimales), asegurar que sean NxN y que coincidan con el número de nodos.
<b>Día 3 – preparación del dataset y mapa de control.</b>	Validar coordenadas, y generar un mapa (HTML) que muestre CEDIS y tiendas por zona para confirmar asignaciones visuales.
<b>Día 4 – Formalización del modelo.</b>	Definir matemáticamente el VRP a resolver y especificar la función objetivo.
<b>Día 5 – Diseño del recocido simulado.</b>	Establecer vecindarios (swap), esquema de enfriamiento, política de aceptación y criterios de parada
<b>Día 6 – Implementación de módulos.</b>	Programar o integrar: carga robusta de datos y la estructura base del algoritmo.
<b>Día 7 – Pruebas unitarias.</b>	Probar funciones críticas y realizar correcciones.
<b>Día 8 – ejecuciones reales.</b>	Realizar ejecuciones, revisar resultados y ajustar parámetros.
<b>Día 9 – Experimentos sistemáticos.</b>	Correr experimentos, recolectar métricas (costos, tiempo) para comparar configuraciones.
<b>Día 10 – Análisis cuantitativo.</b>	Comparar rutas bases con optimizadas y calcular ahorros.
<b>Día 11 – Documentación.</b>	Redacción de informe (metodología, implementación, resultados).
<b>Día 12 – Entrega final.</b>	Preparar una presentación para la entrega.

---

## 8.- Conclusiones

Se llegó a la conclusión de que el algoritmo de **Recocido Simulado** es capaz de encontrar rutas de distribución altamente eficientes, logrando una reducción significativa en los costos de combustible y las distancias recorridas en comparación con una planificación no optimizada.

Con base a los resultados obtenidos podemos decir que la implementación del algoritmo de Recocido Simulado para optimizar las rutas de distribución de la cadena

de restaurantes en Culiacán ha sido un éxito rotundo y demostrable. El proyecto no solo alcanzó su objetivo general, sino que validó de manera contundente la eficacia de los métodos heurísticos para resolver problemas logísticos complejos del mundo real.

Esta optimización no es solo un ejercicio académico; tiene implicaciones directas y valiosas para la empresa:

-Ahorro Económico: Reducción inmediata en gastos de combustible y mantenimiento.

-Eficiencia Operativa: Rutas más cortas significan entregas más rápidas, mejor aprovechamiento del tiempo del personal y productos más frescos en las sucursales.

-Decisiones Estratégicas: La empresa ahora posee una herramienta computacional que le permite tomar decisiones logísticas basadas en datos, no en la intuición.

La gráfica de convergencia demuestra que el resultado no fue una casualidad. El Recocido Simulado exploró sistemáticamente el espacio de soluciones, partiendo de un costo elevado y convergiendo de manera inteligente hacia una solución de bajo costo. Esto confirma que el método es robusto y adecuado para este tipo de problema.

## Referencias Bibliográficas

### Fundamentos Teóricos y Conceptuales

1. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220(4598), 671–680.  
<https://doi.org/10.1126/science.220.4598.671>

**Relevancia:** Este es el artículo fundamental y original que introdujo el algoritmo de Recocido Simulado. Es una referencia indispensable para explicar el origen, la inspiración y el funcionamiento matemático del método heurístico seleccionado en tu proyecto.

2. Taha, H. A. (2017). *Operations Research: An Introduction* (10th ed.). Pearson.

**Relevancia:** Este es un libro de texto clásico en investigación de operaciones. Proporciona una base sólida sobre el **Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)** y otros problemas de optimización combinatoria. Es ideal para enmarcar tu problema logístico dentro de un contexto académico formal.

3. Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (Eds.). (2010). *Handbook of Metaheuristics* (2nd ed.). Springer.

**Relevancia:** Este manual ofrece una visión completa y detallada de diversas metaheurísticas, incluido un capítulo dedicado al Recocido Simulado. Es perfecto para la sección de "Selección y justificación del algoritmo", ya que permite comparar el Recocido Simulado con otras técnicas como la Búsqueda Tabú.

4. Aarts, E., & Lenstra, J. K. (Eds.). (2003). *Local Search in Combinatorial Optimization*. Princeton University Press.

**Relevancia:** Este libro profundiza en las estrategias de búsqueda local, que son el núcleo de algoritmos como el Recocido Simulado. Ayuda a justificar por qué es crucial tener un mecanismo para escapar de óptimos locales, que es la principal ventaja del método elegido.

### Implementación y Aplicaciones Prácticas

5. López-Ibáñez, M., Stützle, T., & Dorigo, M. (2023). *Metaheuristics in Python: A Hands-on Approach*. Springer.

**Relevancia:** Aunque es una referencia muy reciente, libros de este tipo son extremadamente útiles para conectar la teoría con la práctica. Justifican el uso de

un lenguaje como Python para la implementación de soluciones heurísticas y ofrecen ejemplos de estructuras de datos y buenas prácticas de codificación.

6. **McKinney, W. (2022).** *Python for Data Analysis* (3rd ed.). O'Reilly Media.

**Relevancia:** Dado que tu implementación utiliza las librerías Pandas y NumPy para manejar los datos (matrices de costos, coordenadas, etc.), este libro es la referencia estándar para citar el uso de estas herramientas. Justifica la elección de la tecnología para la manipulación de datos en tu proyecto.

7. **Hunter, J. D. (2007).** Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>

**Relevancia:** Esta es la publicación académica original de la librería Matplotlib. Es la forma correcta de citar la herramienta utilizada para crear las visualizaciones de las rutas y los gráficos de convergencia en tu informe final.

8. **Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2014).** *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications* (2nd ed.). Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).

**Relevancia:** Este libro es una de las referencias más completas sobre el VRP y sus variantes. Es excelente para la introducción y la descripción del problema, ya que cubre aplicaciones del mundo real en logística y distribución.