



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**

TECNM

Tecnológico Nacional de México

Campus Culiacán

Ingeniería en Sistemas computacionales

Tópicos de Inteligencia artificial

12:00 – 13:00

**Proyecto de investigación de Métodos de Búsqueda heurísticos para
Optimización: Uso del algoritmo de Recocido Simulado para encontrar la ruta
óptima.**

Alumnos:

Caro García Jorge Ariel

Uribe Armenta Javier

Docente:

ZURIEL DATHAN MORA FELIX

12/10/2025

Índice

Introducción	3
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos	4
Justificación	4
Alcance	5
Desarrollo.....	5
Descripción del problema	5
Selección y explicación del algoritmo heurístico.....	6
Implementación computacional	7
Resultados obtenidos	8
Análisis de efectividad	10
Agenda de trabajo	11
Conclusiones	12

Introducción

En el ámbito logístico, la correcta planificación de rutas de distribución es un factor importante para la eficiencia operativa y la competitividad de las organizaciones. Muchas empresas buscan el minimizar costos en cuanto al uso de combustible, distancias y tiempo. Este problema, conocido como el problema del viajero pertenece a una clase de problemas de optimización complejos que crecen exponencialmente conforme aumenta el número de nodos o destinos, lo que hace imposible encontrar una solución exacta por métodos tradicionales.

La primera solución reportada para resolver el problema del Agente Viajero fue en 1954, cuando George Dantzig, Ray Fulkerson, y Selmer Johnson publicaron la descripción de un método de solución del PAV (Problema del Agente Viaje o sus siglas en inglés TSP – Travel Salesman Problem) titulado “Solutions of a large scale traveling salesman problem” (Soluciones de gran escala para el problema del agente viajero) para resolver una instancia de 49 ciudades donde un agente viajero desea visitar un conjunto de ciudades, asignándoles un costo por visitar ciudades contiguas (distancia de traslado entre dos ciudades). Para esta solución se propusieron 2 condiciones: regresar a la misma ciudad de la cual partió y no repetir ciudades con el objetivo de encontrar una ruta o un camino con el menor costo posible. (1, Del Estado De Hidalgo, U. A)

El uso de métodos heurísticos se presenta como una alternativa eficiente para resolver este tipo de problemas, en específico, el algoritmo de Recocido Simulado permite explorar el espacio de soluciones de forma inteligente, aproximándose a resultados óptimos en un tiempo razonable y evitando quedar atrapado en mínimos locales. Esto resulta realmente útil para la optimización de rutas logísticas, donde se busca un equilibrio entre eficiencia, rapidez y ahorro energético.

El presente proyecto se centra en la aplicación del Recocido Simulado para encontrar rutas óptimas que conecten centros de distribución y tiendas en Culiacán. Mediante la integración de datos reales como coordenadas geográficas, matrices de distancia y costos de combustible se busca desarrollar un modelo que permita generar rutas más cortas, con menor gasto energético y económico. Con ello, se pretende demostrar cómo la inteligencia artificial aplicada a la logística puede mejorar la toma de decisiones, optimizar recursos y contribuir al desarrollo de sistemas de distribución más sustentables y tecnológicamente avanzados.

Objetivo General

Diseñar, implementar y evaluar una solución computacional basada en recocido simulado para optimizar las rutas de distribución (minimizar el costo total considerando distancias y combustible) desde centros de distribución hacia sucursales de una cadena de ropa en Culiacán, Sinaloa.

Objetivos Específicos

- Identificar el problema de distribución en Culiacán, identificando los centros de distribución, tiendas y costos de combustible y distancia.
- Formular el modelo conceptual del ruteo como problema de optimización en forma de grafo, colocando los nodos (tiendas y centros) a través de coordenadas y los valores de distancia y/o costo.
- Seleccionar y justificar el uso de Recocido Simulado como enfoque heurístico frente a alternativas, estableciendo lineamientos metodológicos claros.
- Planificar la obtención y preparación de datos, asegurando consistencia y trazabilidad para el contexto local.
- Desarrollar un prototipo experimental que permita ejecutar escenarios representativos y recopilar evidencia cuantitativa del desempeño.
- Analizar e interpretar los resultados, destacando la ruta tomada y el coste.
- Documentar el desempeño del proyecto.

Justificación

La problemática es optimizar la distribución de productos para reducir costos y tiempos sin afectar la calidad del servicio.

Este proyecto busca dar solución a este reto de logística, encontrar rutas de distribución más eficientes que reduzcan costos y tiempos de entrega. Para lograr esto proponemos el uso de métodos de búsqueda heurísticos, en particular el algoritmo de Recocido Simulado, como una alternativa práctica y efectiva para resolver problemas complejos de planificación de rutas, donde las posibles combinaciones aumentan de manera exponencial y es imposible analizarlas todas manualmente.

El Recocido Simulado nos da una forma inteligente de explorar distintas alternativas, como lo es en ocasiones aceptar rutas menos favorables con el objetivo de escapar de

soluciones limitadas y acercarse a un resultado global más eficiente. Gracias a esto, es posible optimizar la planificación de rutas, disminuir las distancias recorridas y reducir el consumo de combustible, lo que significa beneficios para para la empresa de distribución a la que se le desarrolle esta tecnología.

Aplicar este tipo de enfoques heurísticos fortalece la toma de decisiones estratégicas en el ámbito logístico, ya que proporciona resultados rápidos, flexibles y basados en modelos computacionales que pueden reproducirse o ajustarse según las necesidades reales. El proyecto no solo demuestra la utilidad del recocido simulado como herramienta de optimización, sino que también impulsa la integración de la inteligencia artificial en los procesos de distribución, promoviendo una gestión más eficiente, sostenible y tecnológicamente avanzada en el contexto local de Culiacán.

Alcance

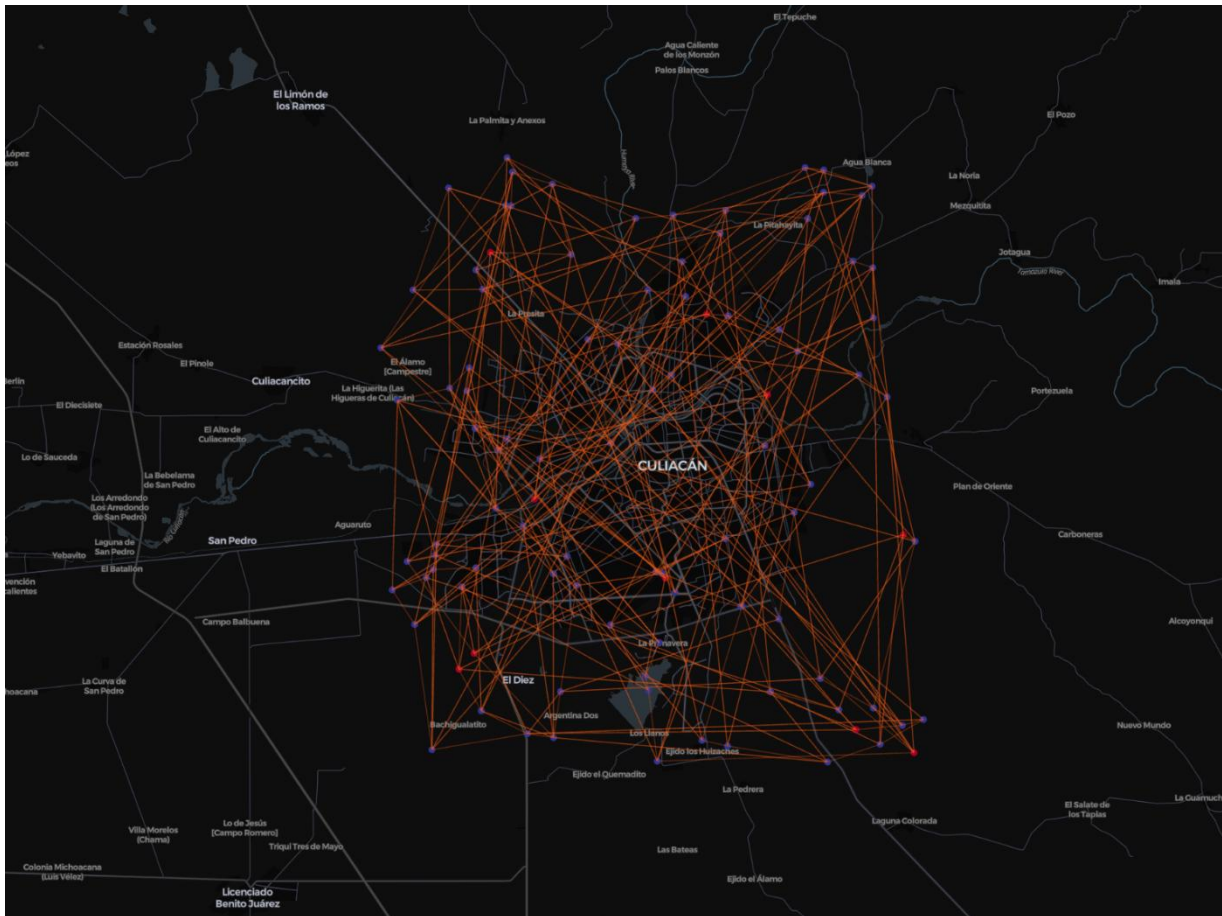
El alcance se delimita a un escenario ficticio de la ciudad de Culiacán, Sinaloa, modelado como un grafo (centros y sucursales) para definir las rutas a seguir. No se consideran ventanas de tiempo, múltiples vehículos, capacidades ni tráfico; las aristas solo ponderan distancia y/o costo de combustible. El objetivo es encontrar la ruta óptima posible que minimice el consumo de combustible y/o la distancia total recorrida, entregando un resultado claro y directo para la operación.

Desarrollo

Descripción del problema

Se tienen que planear rutas entre centros de distribución y sucursales en un escenario ficticio de Culiacán, Sinaloa para una tienda de ropa, con el propósito de pasar por todas las tiendas y centros de distribución de la ciudad. El objetivo es gastar menos combustible y/o recorrer menos distancia. Modelamos el contexto como un grafo, donde, cada nodo es un punto (CD o sucursal) y cada arista representa una ruta viable con un peso (distancia/costo) de esta forma, tratamos de buscar la ruta óptima.

Hicimos un mapa para representar visualmente estas rutas y poder tener una mejor idea de como se vería el grafo.



Selección y explicación del algoritmo heurístico

Elegimos el algoritmo de recocido simulado, porque es con el que más tenemos experiencia y es que mejor sabemos cómo funciona.

Este consta de varias partes

- **Variables:**
 - Temperatura inicial (T_0)
 - Temperatura mínima (T_{min})
 - L (iteraciones por temperatura)
 - Alpha
- **Estado**
 - Un tour: el orden en que visitamos los nodos de la componente (centros/sucursales).
- **Vecindario (cómo generamos candidatos)**
 - Usamos swaps: tomamos dos posiciones del tour y las intercambiamos.

Como necesitamos arrancar en un centro de distribución, armamos una lista de CDs presentes en la componente y elegimos uno al azar para fijarlo al inicio (posición 0). El resto del tour sí puede mutar libremente con swaps.

Si en algún experimento no queremos forzar el inicio, podemos desactivar esa restricción y permitir swaps en cualquier posición.

- **Criterio de aceptación**

Si el vecino mejora el costo, se acepta.

Si empeora, se acepta con probabilidad: $\exp(\text{delta} - T)$, donde delta es la diferencia entre el costo del candidato con el costo actual del nodo, y T es la temperatura actual. Con una temperatura alta somos más tolerantes; con una temperatura baja somos más rígidos con los resultados.

- **Enfriamiento**

Al llegar a la temperatura máxima y esta ir descendiendo, se tiene que tener una forma de que se baje la temperatura una vez cumplidas con las iteraciones, para eso está el Alpha, que multiplica la temperatura actual por el Alpha, que va a ir decrementando la temperatura hasta que se llegue a la temperatura mínima.

Implementación computacional

- **Datos:**

datos_distribucion_tiendas.xlsx (se obtienen los nombres de los nodos, coordenadas y otros datos).

matriz_distancias.xlsx y/o matriz_costos_combustible.xlsx (se leen quitando el header y recortando la matriz para obtener los datos).

rutas.csv (define las rutas que se van a tomar, este mismo archivo nos sirvió para visualizar el mapa en Kepler).

- **Grafo**

Se agregan todos los nodos y luego las aristas del CSV con su peso (distancia o costo).

- **Clausura métrica:** calculamos una matriz W (guarda el costo mínimo entre i y j) con los costos de caminos más cortos entre los nodos de la mayor componente, usando Dijkstra (una corrida por cada nodo como origen). De esta forma, si el CSV no es un grafo completo, el Recosido Simulado trabaja con “distancias válidas” (el costo real del mejor camino en el grafo).

- **Recocido Simulado:** tour inicial simple (rotado para fijar CD al inicio), parámetros típicos (T_0 , α , L , T_{min}) y registro del mejor costo por iteración.

Resultados obtenidos

Al correr el programa, se obtiene la mejor ruta que inicia desde un centro de distribución aleatorio y pasa por todos los nodos hasta terminar.

Prueba 1:

```
Nodo inicial: Centro de Distribución 2
```

```
Ruta óptima:
```

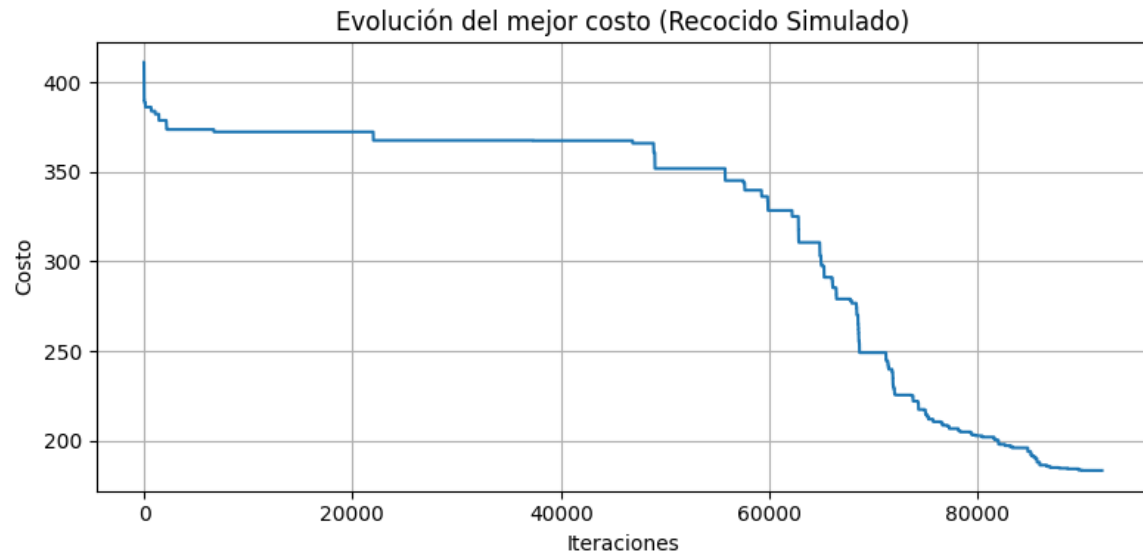
```
01. Centro de Distribución 2  
02. Tienda 15  
03. Tienda 6  
04. Tienda 79  
05. Tienda 87  
06. Tienda 36  
07. Tienda 12  
08. Tienda 25  
09. Tienda 65  
10. Tienda 57  
11. Tienda 5  
12. Tienda 24  
13. Tienda 70  
14. Tienda 44  
15. Tienda 59
```

Aquí se puede observar que inició desde el centro de distribución 2, y de ahí fue a la tienda 15, 6, 79, etc. Esta solo es una pequeña parte de la impresión en consola, pero itera por los 100 nodos (10 centros de distribución y 90 tiendas).

```
99. Centro de Distribución 8  
100. Tienda 48
```

```
Mejor costo total: 183.408
```

Podemos ver que el mejor costo de combustible fue de 183.408



Y aquí podemos observar una gráfica de como va variando el costo, como va bajando conforme va bajando la temperatura.

Prueba 2:

Ahora en vez de costo de combustible, se hará por la distancia.

Nodo inicial: Centro de Distribución 1

Ruta óptima:

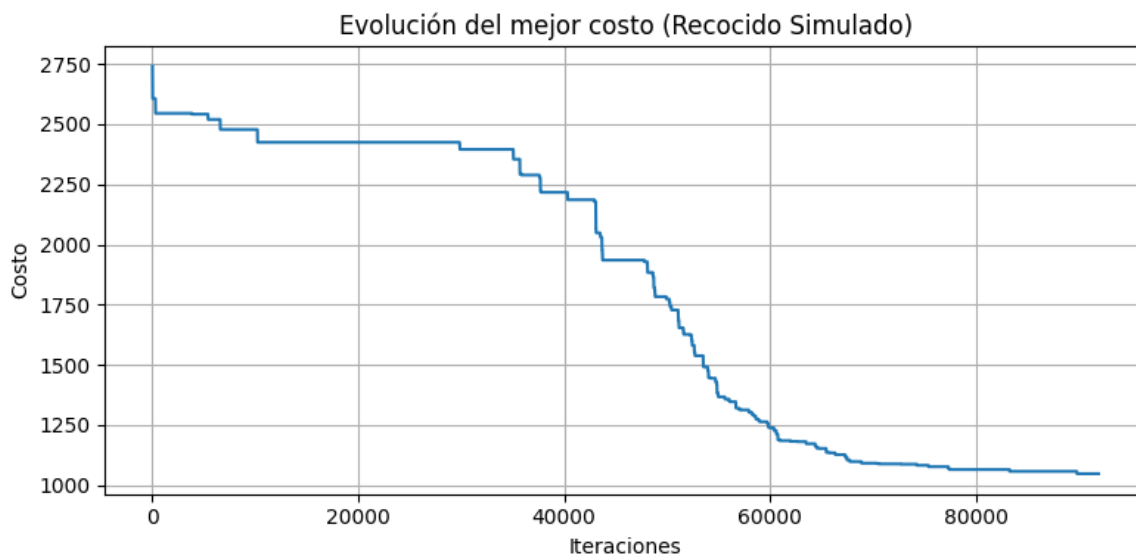
01. Centro de Distribución 1
02. Tienda 73
03. Tienda 55
04. Tienda 11
05. Tienda 53
06. Tienda 4
07. Tienda 1
08. Tienda 2
09. Tienda 14
10. Tienda 13
11. Centro de Distribución 9
12. Tienda 42
13. Tienda 39
14. Tienda 62
15. Tienda 47

Aquí inicio por el centro 1, se fue a la tienda 73, 55, etc.

```
99. Tienda 31
100. Tienda 34

Mejor costo total: 1,048.218
```

Finalmente nos dio el costo de distancia de 1,048.218 (digamos km)



Y esta es la gráfica que muestra como va bajando el costo, conforme va bajando la temperatura.

Análisis de efectividad

El recocido simulado nos ofrece un balance entre calidad de datos y tiempo, usualmente la curva de costo baja muy rápido al inicio y luego se estabiliza, lo que en la práctica nos da soluciones suficientemente buenas dentro de un margen determinado. El hecho de que parámetros como la temperatura inicial, el Alpha o las iteraciones por temperatura, deban ponerse “a mano”, hace que se deban hacer pruebas con distintos valores para ver cual tiene mejor rendimiento, cual gasta menos recursos, etc. En cuanto a robustez, el enfoque tolera datos del mundo real (nombres no uniformes, rutas incompletas) porque trabajamos por componentes conectadas y usamos clausura métrica para evaluar tramos con los mejores caminos disponibles.

Agenda de trabajo

Fase	Descripción	Duración estimada
1. Análisis del problema y recolección de datos	Identificación de los centros de distribución y tiendas, recopilación de coordenadas, distancias y matriz de costos de combustible.	1 semana
2. Modelado del sistema como grafo	Representación de los puntos (Centros de distribución y tiendas) como nodos y las conexiones como aristas con pesos (distancia/costo).	1 semana
3. Selección del método heurístico	Justificación del uso de Recocido Simulado frente a otros métodos y definición de parámetros.	1 semana
4. Implementación	Programación del algoritmo, integración de datos.	2 semanas
5. Ejecución de pruebas y validación de resultados	Corrida de experimentos con matrices de distancia y combustible, análisis de convergencia y comparación de resultados.	2 semanas
6. Análisis de efectividad	Evaluación del rendimiento del algoritmo, ajuste de parámetros, comparación de tiempos y costos.	1 semana
7. Documentación del proyecto y presentación final	Redacción de conclusiones, justificación final, integración de gráficas y mapas en Kepler.	1 semana

Conclusiones

La implementación del algoritmo de Recocido Simulado en el presente proyecto permitió comprobar su efectividad para resolver problemas de optimización, como la planificación de rutas en redes de distribución. A través de su mecanismo de búsqueda inteligente y adaptativo, fue posible obtener soluciones eficientes en menor tiempo, reduciendo distancias totales y costos de combustible comparado a métodos mas tradicionales como sería manualmente.

El uso de este método heurístico no solo representa una mejora técnica, sino también una herramienta de apoyo en la **toma de decisiones estratégicas**, ya que puede apoyar al análisis de alternativas logísticas que no se hayan planteado. Asimismo, su flexibilidad permite ajustar los parámetros del modelo a diferentes escenarios operativos como puede ser el cambio de locaciones o en su caso el agregar más puntos, lo que lo convierte en una solución práctica y escalable para empresas con distintas necesidades de transporte y cobertura.

En cuanto aprendizajes obtenidos, destacamos la importancia de combinar datos reales con este tipo de modelos para lograr resultados más precisos y aplicables. Además, llegamos a la conclusión que los métodos heurísticos como el Recocido Simulado pueden integrarse con técnicas de aprendizaje automático o inteligencia artificial para mejorar aún más la eficiencia en la planificación de rutas.

Finalmente, reconocemos que este proyecto puede ser la base si en un futuro se quiere desarrollar a mayor escala y se puedan implementar más factores que influyen realmente en este tipo de trabajos de logística, como el tráfico en tiempo real, la capacidad de los vehículos o las ventanas horarias de entrega. Con ello, sería posible construir sistemas de optimización logística más robustos, inteligentes y sostenibles, fortaleciendo la gestión de distribución en el contexto real como lo es en Culiacán.

Referencias

1. Del Estado De Hidalgo, U. A. (n.d.). *Problema del agente viajero*.
<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tlahuelilpan/n3/e5.html>

Link de repositorio de GitHub: <https://github.com/EUavi115/Topicos-de-IA/tree/main/UNIDAD-2/1>