

Una herramienta computacional para la planificación de rutas en el problema de enrutamiento de vehículos considerando una flota heterogénea.

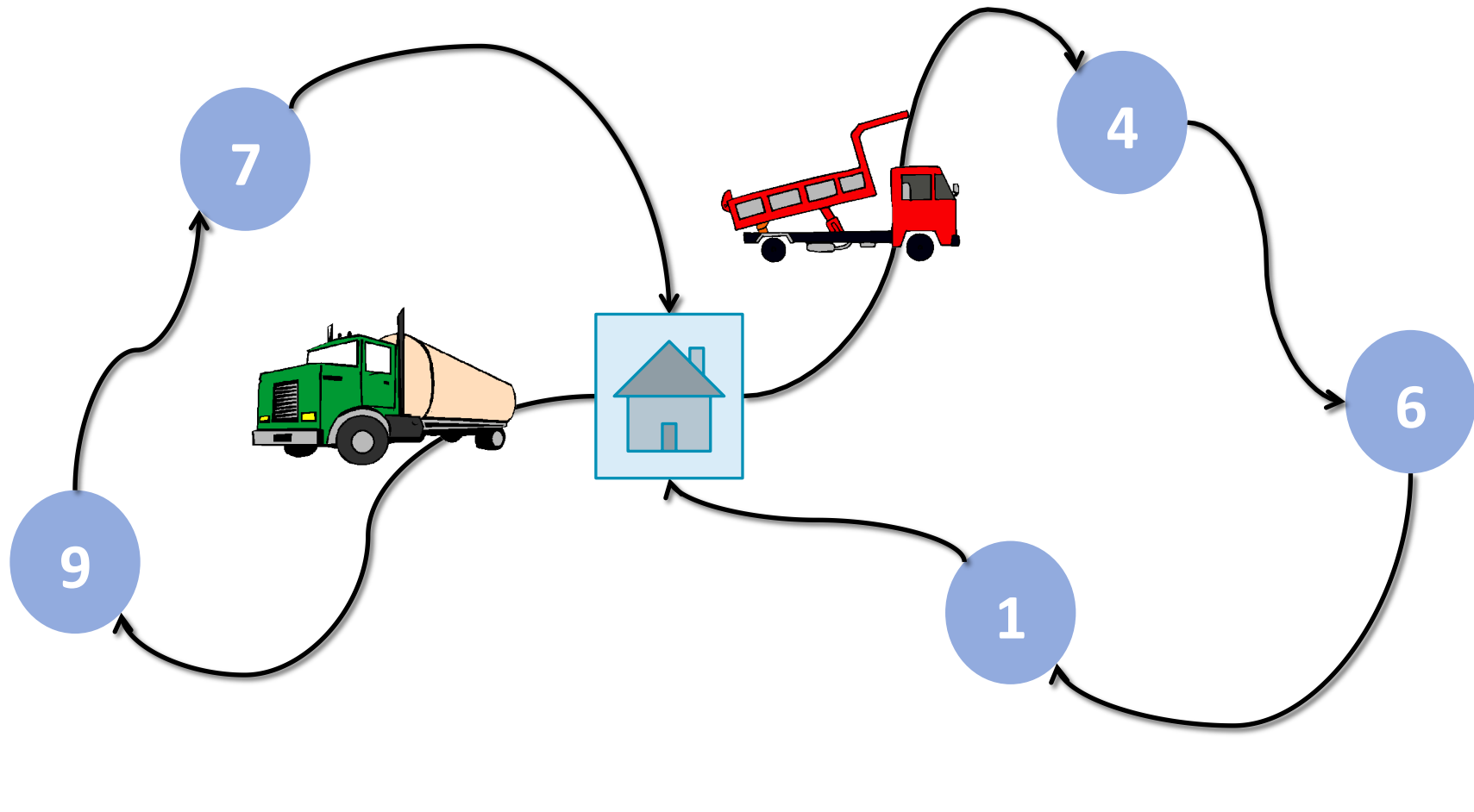
Lic. Dafne García de Armas
Msc. Alina Fernández Arias

Contenido



1. Formalización del HVRP.
2. Estrategia de Solución.
 1. Función de Penalización.
 2. Recocido Simulado.
 3. Post-Optimización.
3. Herramienta computacional y Resultados.
4. Conclusiones y Trabajos Futuros.

Problema de Enrutamiento de Vehículos con Flota Heterogénea



Formalización del HVRP



Clientes:

- $0 \rightarrow$ Depósito central.
- $I = \{1, 2, \dots, n\} \rightarrow$ clientes.
- $I^+ = I \cup \{0\}$
- $d_i : i \in I \rightarrow$ demanda
- $c_{ij} : i \neq j, j, i \in I^+ \rightarrow$ costo de viaje entre un par de clientes.

Vehículos:

- $K = \{1, 2, \dots, m\} \rightarrow$ tipos

Para cada tipo $k \in K$:

- $q_k \rightarrow$ capacidad
- $f_k \rightarrow$ costo fijo
- $g_k \rightarrow$ costo variable
- $v_k \rightarrow$ cantidad disponible



Factibilidad y Penalización



$k=1$

$d_{\downarrow 3} = 4$

$d_{\downarrow 4} = 1$

$d_{\downarrow 2} = 6$

$L_{\downarrow 1} = 11$
 $Q_{\uparrow 1} = 15$

Factible

$k=2$

$d_{\downarrow 5} = 9$

$d_{\downarrow 1} = 7$

$L_{\downarrow 2} = 16$
 $Q_{\uparrow 2} = 10$

No Factible

Función de Penalización:

$$P(R)_{\downarrow 1} = \max\{0, 11 - 15\} = 0$$

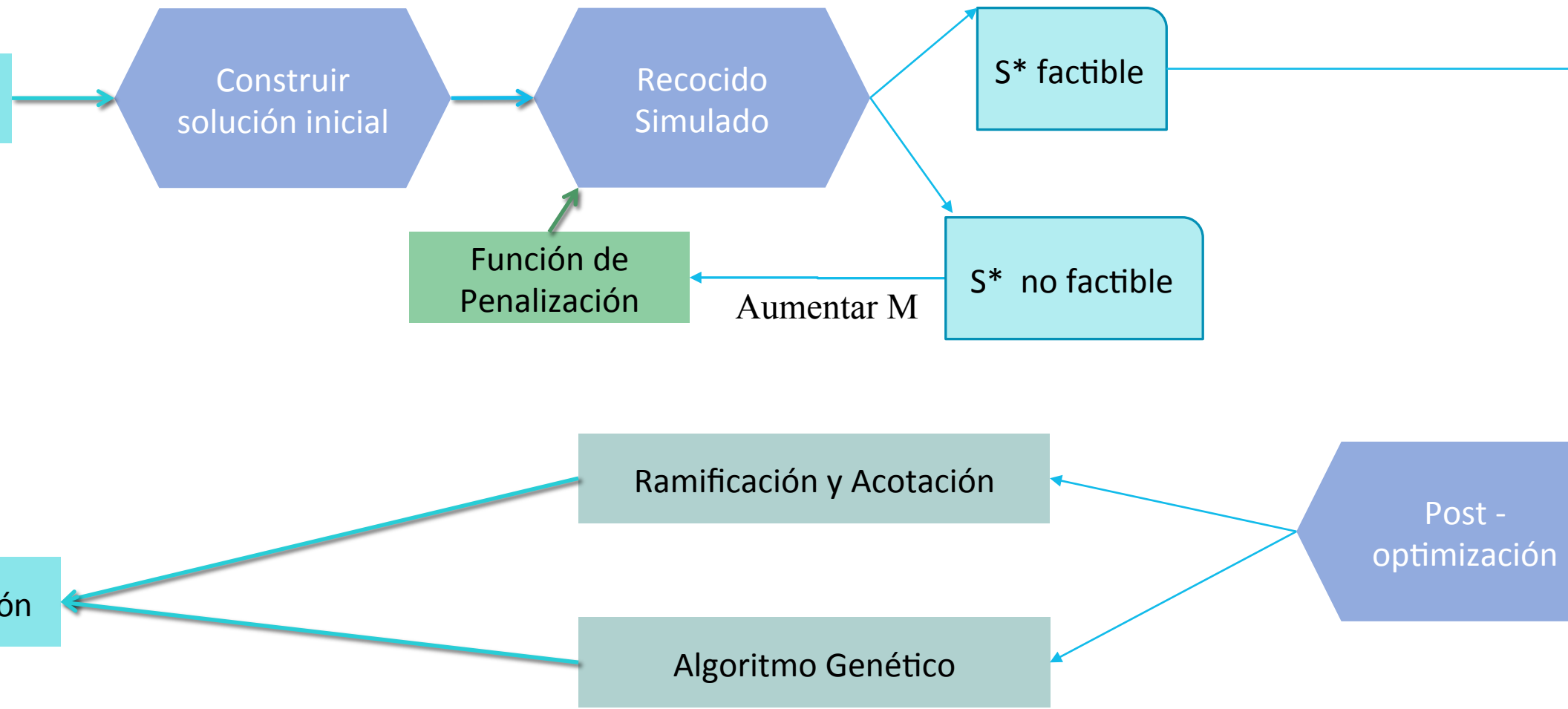
$$P(R)_{\downarrow 2} = \max\{0, 16 - 10\} = 6$$

Función Objetivo:

$$\sum C(R) + F(R) + M * P(R)$$



Estrategia de Solución





Solución Inicial

Aleatoria:

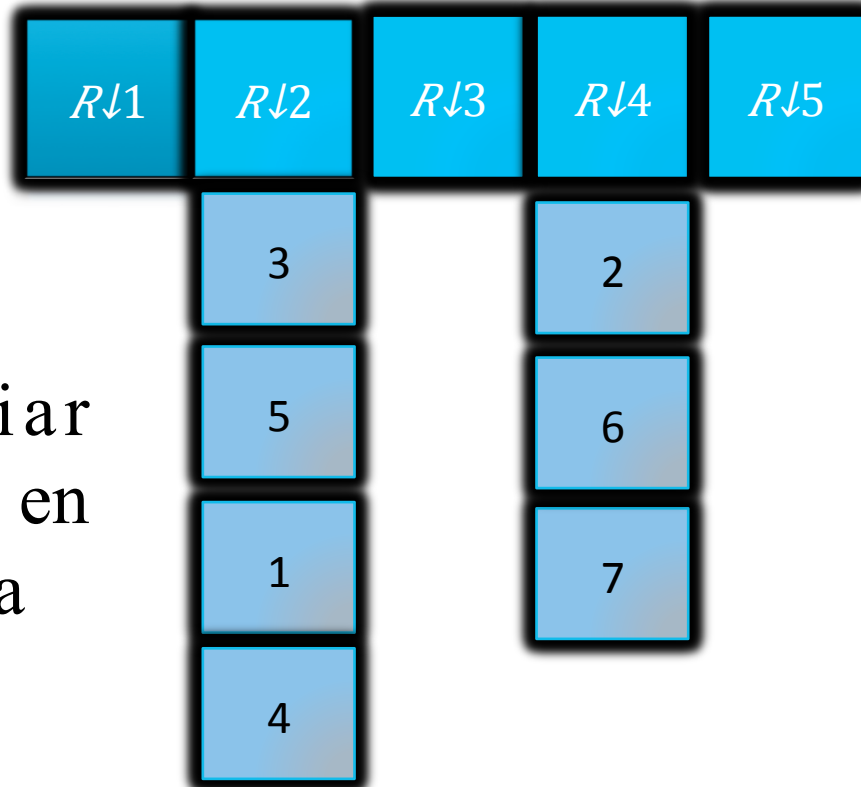
- Seleccionar los clientes y vehículos de forma aleatoria.
- Intentar conservar la factibilidad de la ruta.

Golosa:

- Ordenar los vehículos por capacidad y los clientes por demanda.
- Ordenar los clientes por cercanía al depósito y ubicarlos en la mejor posición posible.
- Preservar la factibilidad de las rutas.



SA: Vecindades Básicas



Intercambiar dos clientes en la misma ruta

Mover un cliente de una ruta a otra

Intercambiar dos clientes de rutas distintas

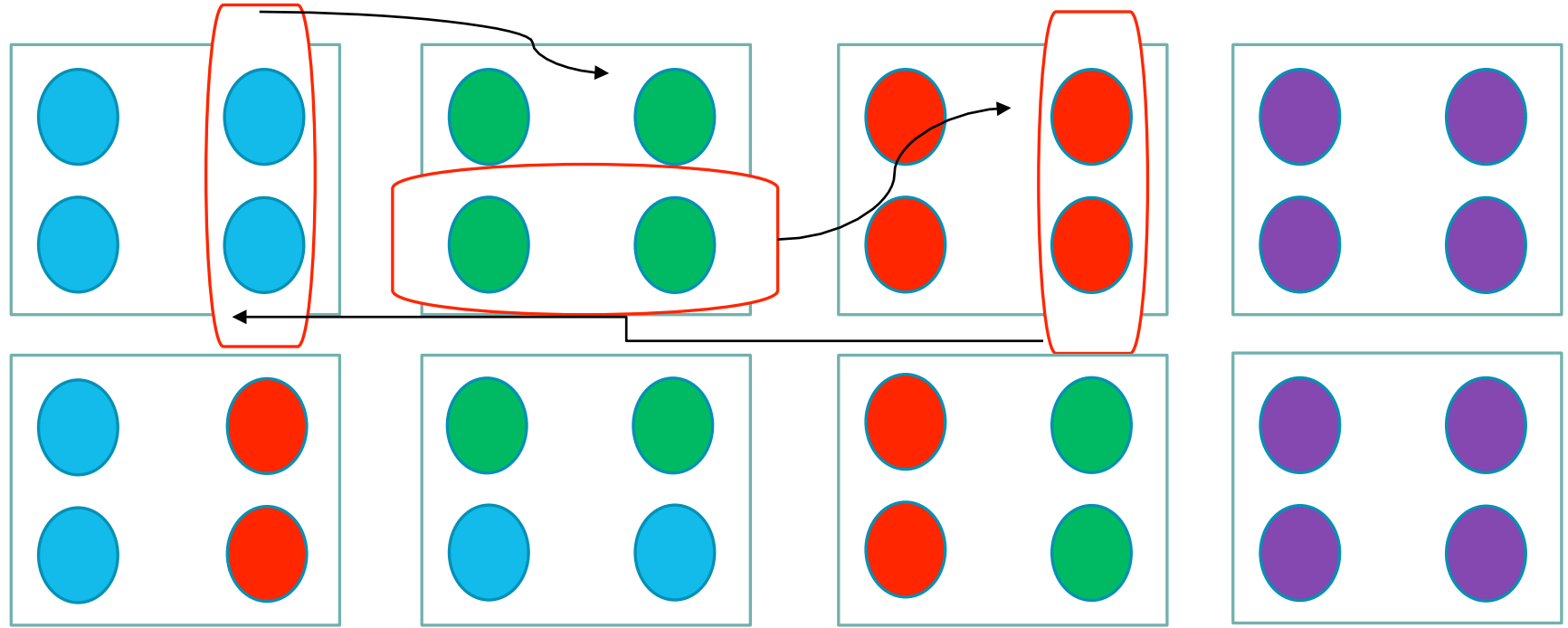
SA: Mejoras a las vecindades



- Seleccionar una ruta factible.
- Insertar en la posición de menor costo.
- Seleccionar rutas no factibles para eliminar clientes.

SA: Otras Vecindades

Transferencias Cíclicas: b -ciclos, k -transferencias



$k=2$
 $b=2$ o *vario*



Post-optimización: B&B por matriz reducida

Entrada: Submatriz de la matriz de costos de viaje del HVRP que solo contiene a los clientes de la ruta R.

Ramificación: Se construye una rama por cada uno de los posibles caminos a seguir desde el nodo actual.

Cálculo de cota inferior: Se basa en un esquema de emparejamiento.

Salida: Un recorrido óptimo del TSP.

Post-optimización: Algoritmo Genético



- **Población Inicial:**

Proporcional a la Proximidad.

- **Estrategia de Mutación:**

Intercambio Aleatorio.

- **Estrategia de Selección:**

Torneo Binario.

Estrategia de Cruzamiento:

- Cruzamiento con Orden (OX)
- Cruzamiento por Partición
- Variante del OX

Experimentación



- Se crea una librería desarrollada para resolver el HVRP :
 - Implementada en lenguaje C#, en la plataforma .Net
- Características de la máquina empleada:
 - Procesador: Intel(R) Atom(TM) CPU N270 @1.60GHz @1.60GHz
 - RAM: 2.00GB
- Instancias de Taillard

Diseño de los experimentos



- Análisis de las soluciones iniciales
- Efectividad de las vecindades y función de penalización
- Post-optimización

Resultados



Mejores Soluciones Iniciales:

- Aleatoria que intenta conservar la factibilidad.
- Golosa por cercanía al depósito y conserva la factibilidad de la ruta.
- Se selecciona la golosa por brindar los mejores resultados en instancias de mayor dimensión.

Resultados



Vecindades del SA:

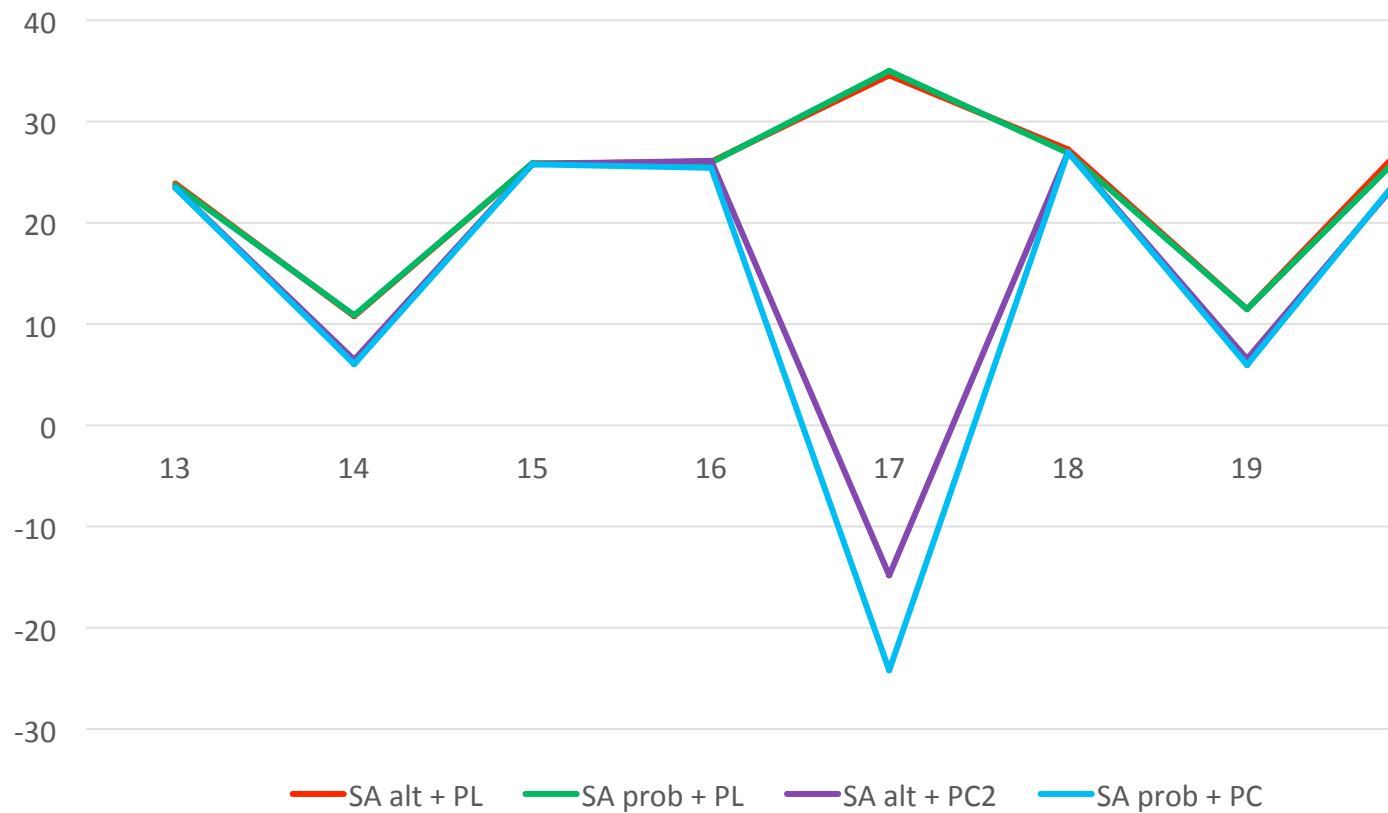
- Se implementaron 10 variantes.
- Las mejores fueron las que tenían un marcado patrón aleatorio:
 - Mover un cliente de una ruta a otra diferente.
 - Reordenar una ruta.
 - Intercambiar dos clientes de rutas distintas.
 - Transferencia cíclica: con 2 ciclos y 2 transferencias.



Resultados

Se obtienen los mejores
costos y porcentajes de
factibilidad utilizando la
penalización lineal.

Los mejores valores
máximos se obtienen con
vecindad aleatoria.





Resultados

Post-optimización:

- Se aprecia un leve decrecimiento de la función objetivo.

Inst.	SI (Costo)	SA (%)	Post- Optimización (%)
13	4571.43	24.41	0.25
14	11691.98	10.32	0.33
15	4340.65	25.91	0.18
16	4742.67	25.94	0.14
17	3282.14	36.29	0.66
18	6099.27	29.74	0.68
19	12622.42	12.79	0.16
20	7513.31	29.61	0.18



Software

The screenshot shows a software interface with two tabs: "Instance" and "Strategy". The "Strategy" tab is active. On the left, there is a "Solve" button with a play icon. Below it, three radio buttons are visible: "No Penalization" (selected), "Lineal Penalization", and "Cuadratic Penalization". The "Penalization Type" label is positioned below these options. To the right, a table of "SA Parameters" is displayed with the following values:

Worst Solution	Probability	Cooling Rate	Repetitions	Repetitions Factor	Cooler
0.2	0.3	0.97	20	1.001	500



Software

The screenshot shows a software interface with a menu structure. On the left, there are three main categories: 'Initial Solution', 'Local Search', and 'SA'. The 'Initial Solution' category is currently selected, and its dropdown menu is open, displaying the following options: 'BuildRandomSolution', 'InitialSolutionRandom', 'InitialSolutionGreedy_ByCapacited', 'InitialSolutionGreedy_ByClosest', and 'InitialSolutionGreedy_ByClosest_Feasible'. Below the 'Initial Solution' category, the following options are listed: 'RandomClientM', 'RandomClientSwap', 'RandomReorderRoute', 'MoveCustomerV2', 'MoveCustomerV3', 'MoveCustomerV4', 'SwapCustomersV2', and 'SwapCustomersV3'. A vertical scrollbar is visible on the right side of the menu.

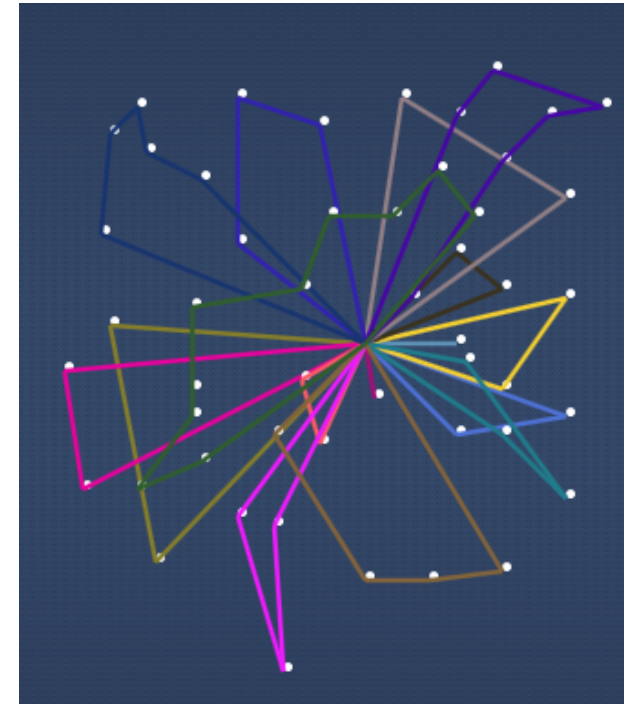
■ Post-Optimización 10

Software



Resultados en cada fase:

- Fichero de texto con la solución.
- Valores de costos
- Tiempo de ejecución
- Representación gráfica de las soluciones





Conclusiones

- Mayor dimensión probada 100 clientes.
- Ejecución de toda la estrategia en el orden de los milisegundos.
- Estrategia de solución: *Recocido Simulado con selección aleatoria de las mejores vecindades y empleando penalización lineal.*

Trabajos Futuros



- Ajuste de parámetros.
- Incluir otras metaheurísticas e investigar posibles soluciones empleando matheuristics.
- Continuar enriqueciendo la biblioteca de soluciones a problemas de enrutamiento de vehículos.

Una herramienta computacional para la planificación de rutas en el problema de enrutamiento de vehículos considerando una flota heterogénea.

Lic. Dafne García de Armas
Msc. Alina Fernández Arias