

# Green Vehicle Routing Problem

---

Benjamín Orrego del Río

Víctor Martínez campos



# Motivación

- Problema: Contaminación vehículos en flotas de reparto
- Desventajas AFV:
  - Baja autonomía combustible
  - Baja disponibilidad de estaciones de recarga de combustible

# Definición del problema

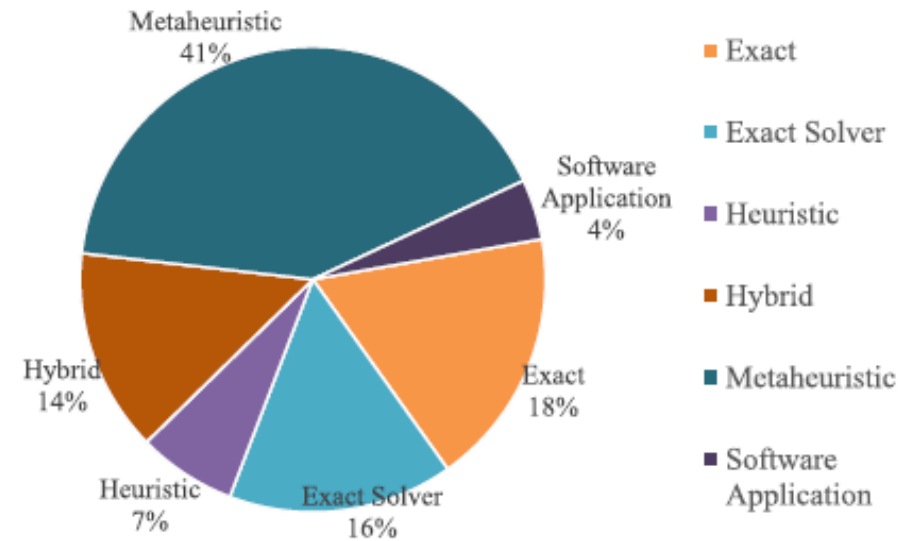
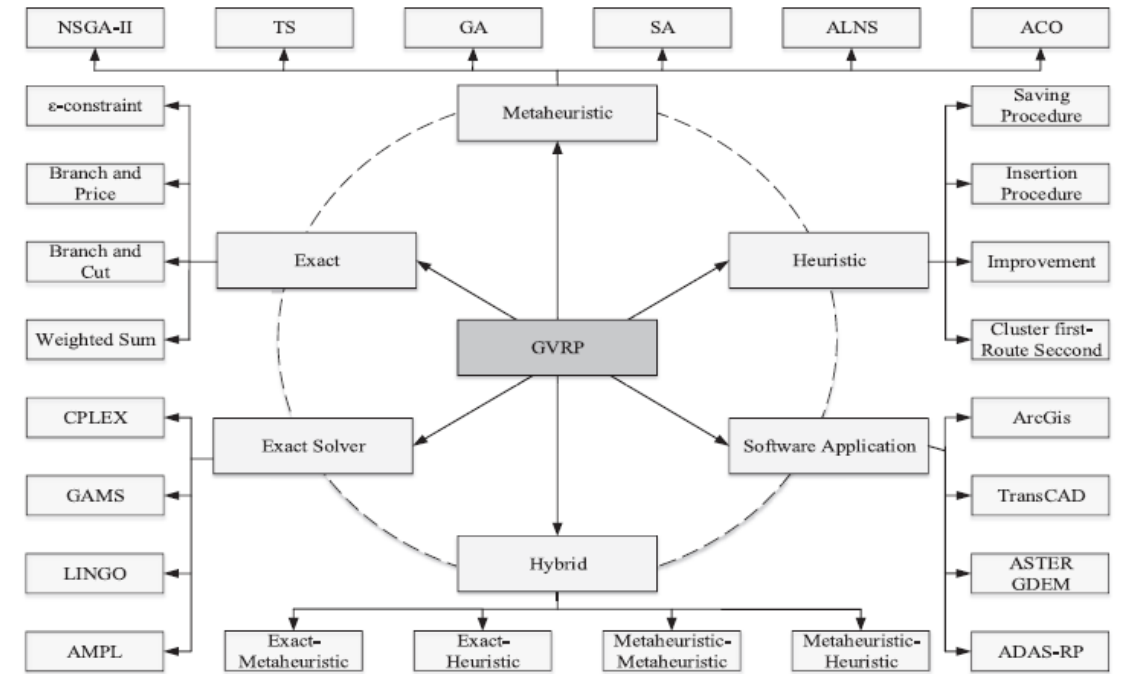
- *Origenes: VRP*
- *¿En que consiste?*
- *Características conceptuales del modelo: Erdogan y Miller-Hooks (2012).*
- *Tipo de problema*

# Estado del Arte

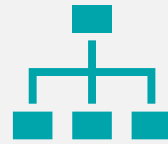
- *Variaciones del problema: PRP, GHRP, EMVRP, TDVRP, etc.*
- *Técnicas usadas:*
  - Heurísticas: the saving procedure, insertion procedure, improvement procedure, etc
  - Metaheurísticas: Algoritmos genéticos (GA), Simulated annealing, TS, ant colony optimization, etc
  - Algoritmos exactos: Flagship algorithms, branch and cut, branch and price, backtracking, entre otros.
  - solver comerciales
  - Híbridos: metaheurísticas-exactas, metaheurísticas-metaheurísticas y heurísticas-heurísticas

# Estado del Arte

1. Metaheurísticas
2. Métodos Exactos
3. Híbridos
4. Solver
5. Heurísticas



# Propuesta: SA + Swap y SA + 2-opt



Representación



Funcionamiento de  
los Algoritmos



## Representación

### Objetos

dataSol
combustRemanente:
distanciaRecorrida
tiempoUsado

Nodo
• id: 0
• tipo: d
• latitud: -77.494339
• longitud: 37.60851

### Restricciones

- Name: AB220
- Customers: 100
- Stations: 26
- MaxTime(min): 660
- MaxDistance(miles): 280
- Speed(miles\ min): 1.0
- ServiceTime(min): 30
- RefuelTime(min): 15

### Arreglos

listaClientes	Nodo	Nodo	....	Nodo	Nodo
	• id: 1 • tipo: c • latitud: -76.076059 • longitud: 39.068651	• id: 2 • tipo: c • latitud: -76.025496 • longitud: 39.031864		• id: 99 • tipo: c • latitud: -79.597331 • longitud: 39.016513	• id: 100 • tipo: d • latitud: -77.631801 • longitud: 36.684050

listaEstaciones	Nodo	Nodo	....	Nodo	Nodo
	• id: 1 • tipo: f • latitud: -77.612242 • longitud: 37.659873	• id: 2 • tipo: f • latitud: -77.064593 • longitud: 38.869453		• id: 24 • tipo: f • latitud: -78.591852 • longitud: 38.914102	• id: 25 • tipo: f • latitud: -80.102566 • longitud: 37.673553

conjunto DataSolucion	dataSol	dataSol	....	dataSol	dataSol
	combustRemanente: distanciaRecorrida tiempoUsado	combustRemanente: distanciaRecorrida tiempoUsado		combustRemanente: distanciaRecorrida tiempoUsado	combustRemanente: distanciaRecorrida tiempoUsado

Solución	Nodo	Nodo	....	Nodo	Nodo
	• id: 0 • tipo: d • latitud: -77.494339 • longitud: 37.60851	• id: 95 • tipo: c • latitud: -77.543774 • longitud: 37.327203		• id: 32 • tipo: c • latitud: -78.502582 • longitud: 39.305657	• id: 0 • tipo: d • latitud: -77.494339 • longitud: 37.60851

# Propuesta: SA + Swap y SA + 2-opt

- Ventajas
- Desventajas



## Representación

conjuntoSoluciones[0]			conjuntoSoluciones[i-1]		conjuntoSoluciones[6]		
conjuntoSoluciones	solucion (ruta vehiculo 1)	solucion (ruta vehiculo 2)	solucion (ruta vehiculo i-esimo)	solucion (ruta vehiculo 7)	solucion (ruta vehiculo 7)		
Text							
conjuntoData	105.775	132.681	97.506	25.4093	47.9481	85.8491	59.9458
solucion	174.225	147.319	182.494	254.591	232.052	331.943	360.361
	624.225	627.319	632.494	644.591	622.052	586.943	645.361

Calidad de la solución [millas]1682.983887 #Clientes atendidos 89 #Vehiculos 7 Tiempo de ejecución[s] 0.035542

# Propuesta: SA + Swap y SA + 2-opt

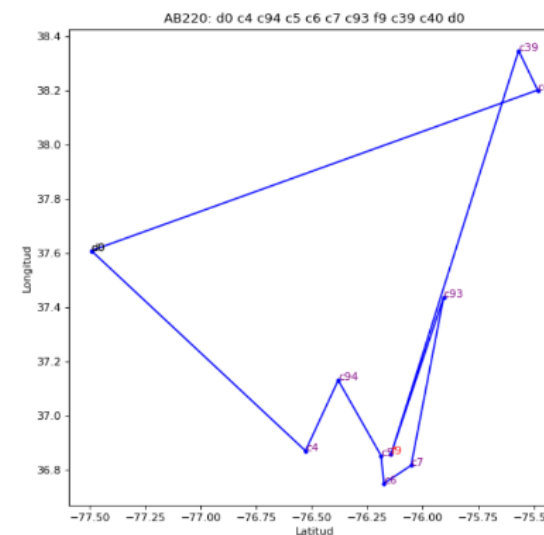
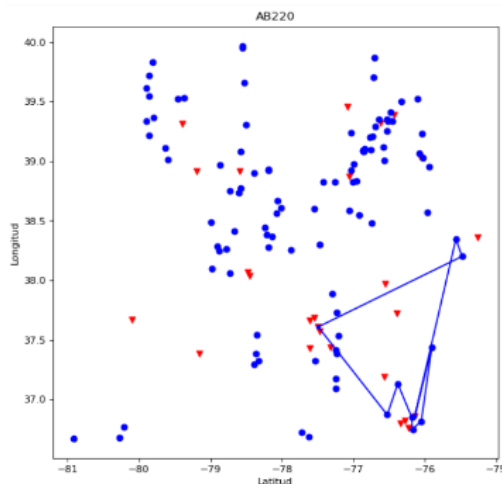
## Ejemplo Solución Instancia

conjuntoSoluciones[6]

solucion	Nodo											
	id:0	id:4	id:94	id:5	id:6	id:7	id:93	id:9	id:39	id:40	id:0	
	tipo:d	tipo:c	tipo:c	tipo:c	tipo:c	tipo:c	tipo:c	tipo:f	tipo:c	tipo:c	tipo:d	
	lat:-77.494339 lon: 37.60851	lat:-76.528864 lon: 36.870277	lat:-76.381254 lon: 37.130676	lat:-76.187627 lon: 36.851916	lat:-76.175055 lon: 36.749879	lat:-76.052564 lon: 36.816489	lat:-75.905739 lon: 37.437020	lat:-76.143283 lon: 36.857578	lat:-75.567773 lon: 38.346276	lat:-75.482084 lon: 38.200749	lat:-77.494339 lon: 37.60851	

d0 c4 c94 c5 c6 c7 c93 f9 c39 c40 d0

Distancia recorrida: 331.942810 [milla]  
Tiempo transcurrido: 586.942810 [min]  
Distancia excedida: 0.000 [milla]

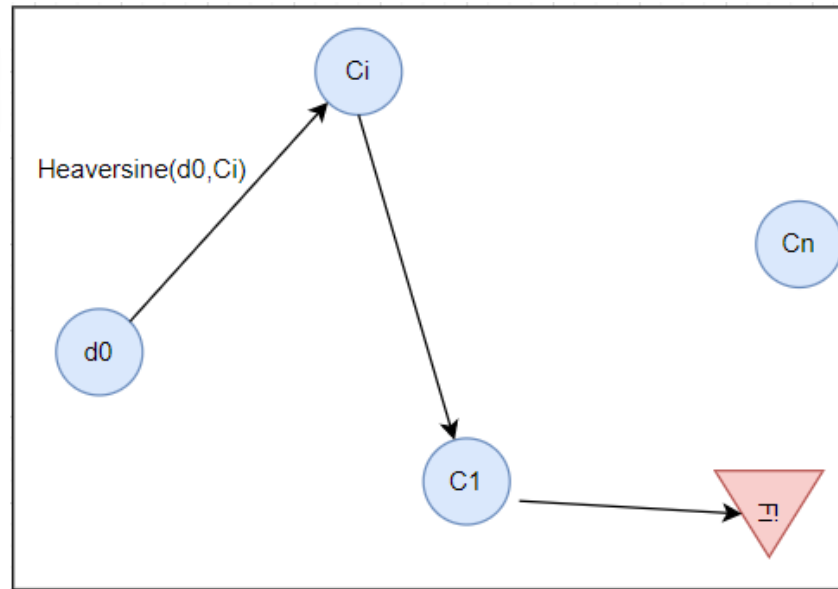






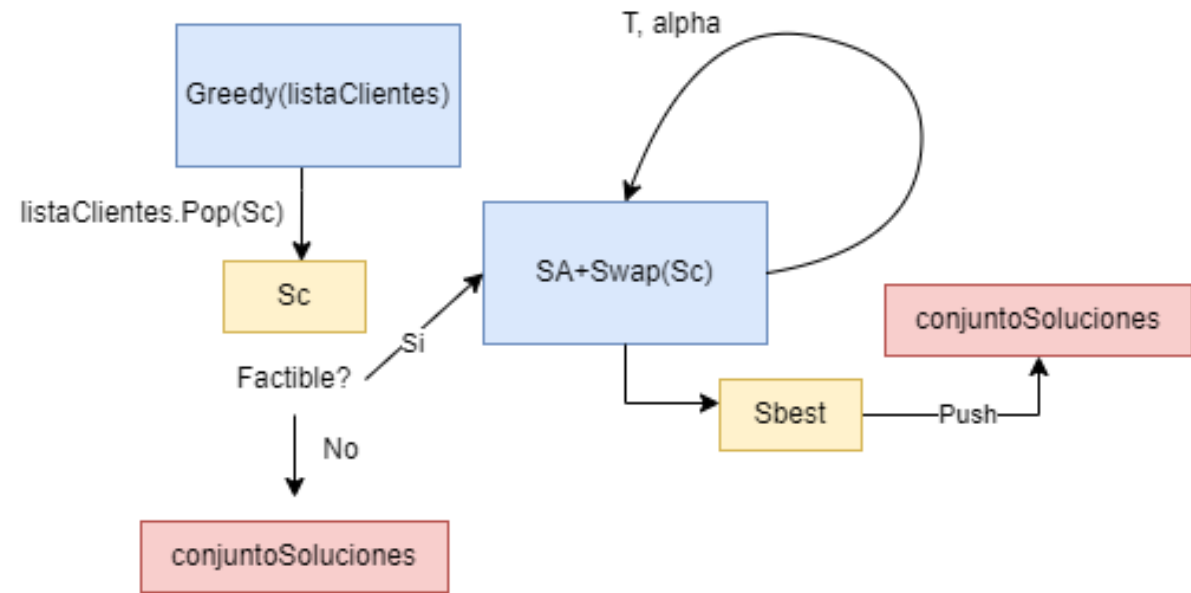
# Propuesta: Greedy

- Búsqueda de óptimos locales
- Prioriza agregar clientes sobre estaciones
- Evalua impacto de agregar cada nodo
- Nodos clientes se van eliminando del arreglo listaClientes
- Por construcción asegura ruta factible





# Propuesta: SA + Swap



- ¿Manejo infactibilidad?

D0 c1 c4 c8 c5 c40 c14 f2 d0

D0 c1 c40 c8 c5 c4 c14 f2 d0

Cambio Neto: 3 arcos

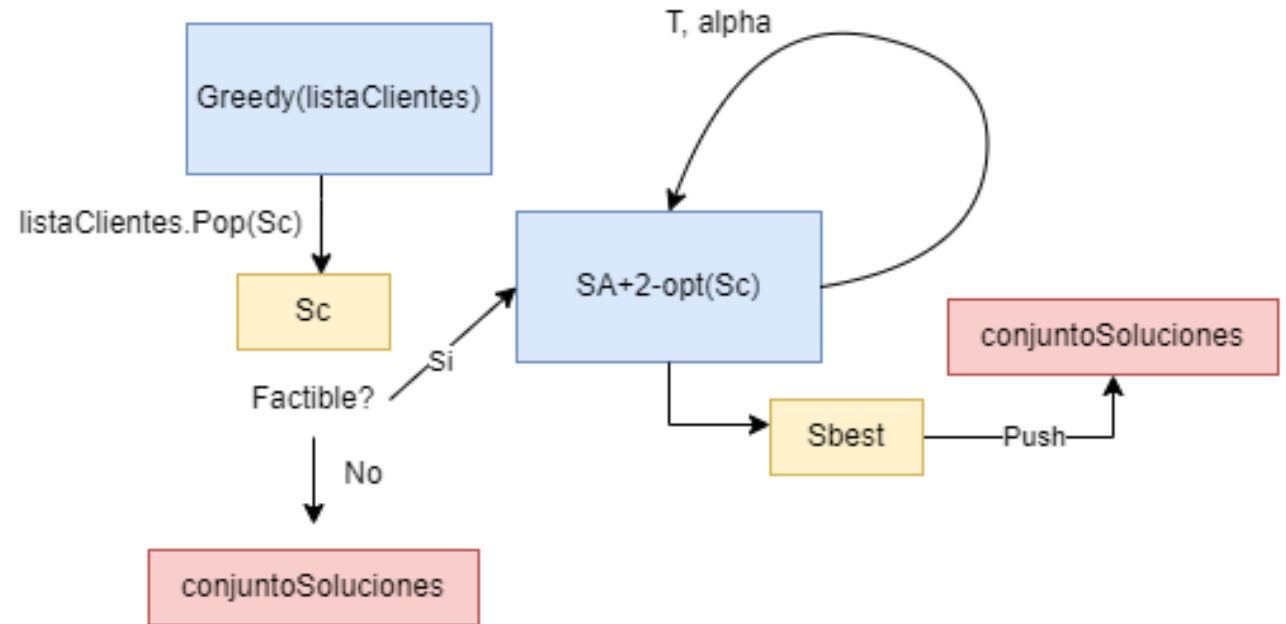


# Propuesta: SA + 2-opt

D0 c1 c4 c8 c5 c40 c14 f2 d0

D0 c1 c40 c5 c8 c4 c14 f2 d0

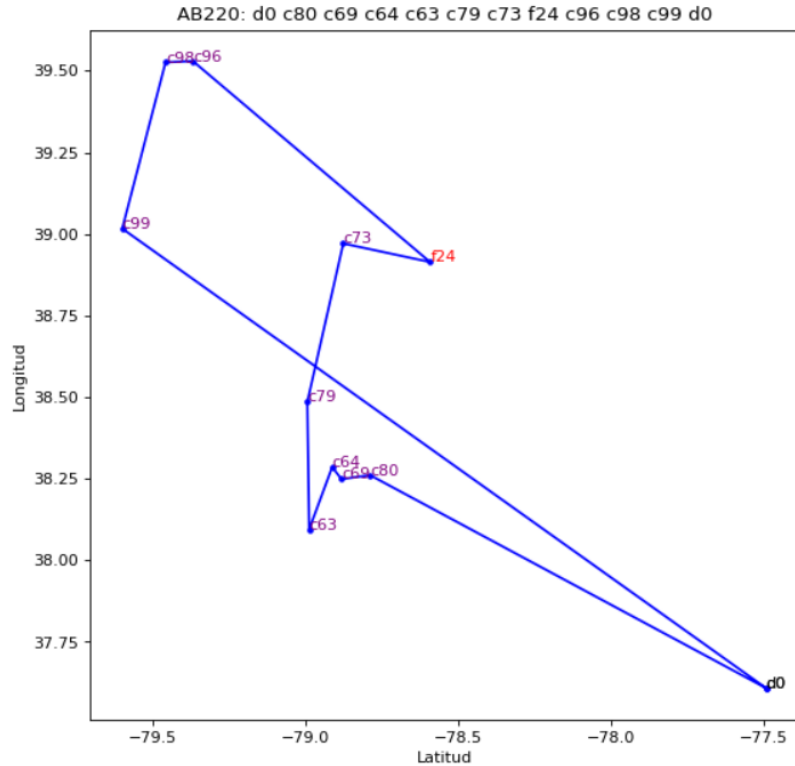
Cambio Neto: 2 arcos



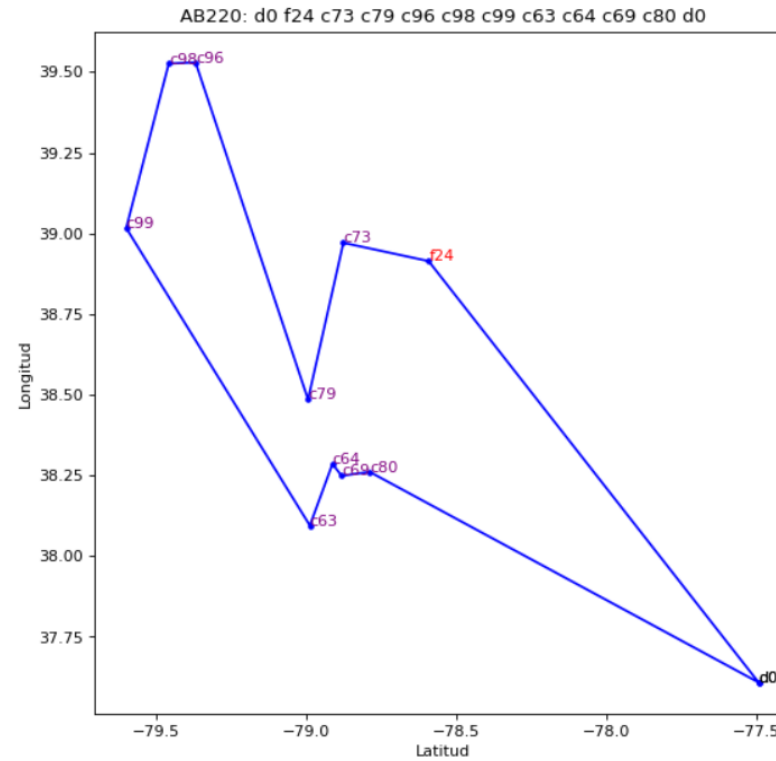
- ¿Cómo funciona 2-opt?
- ¿Manejo infactibilidad?



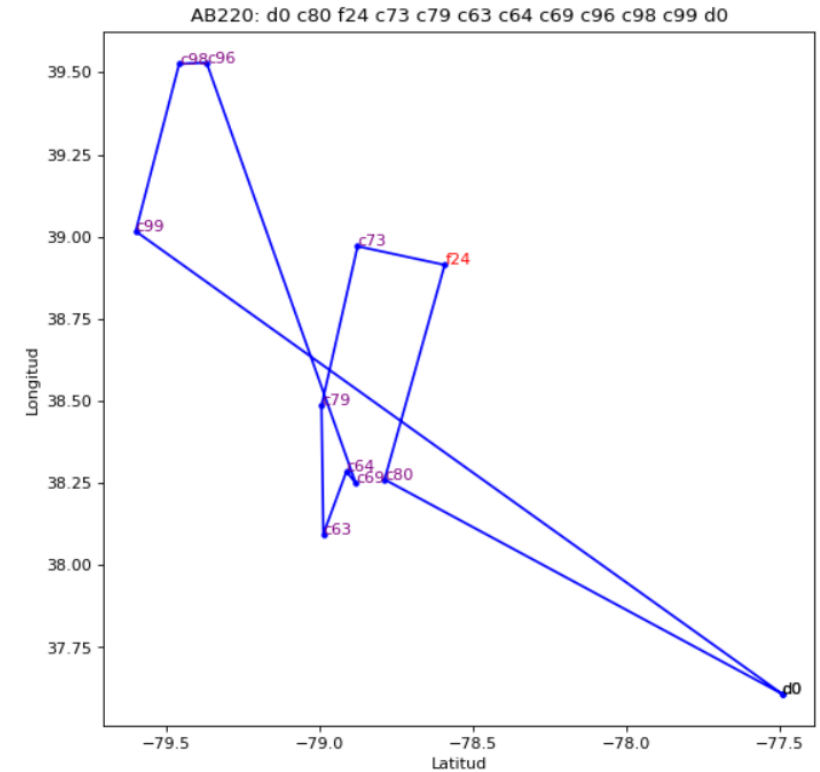
## Funcionamiento



Solo Greedy  
dist: 360.360596 milla  
tiempo: 645.360657 min



Solo SA+Swap  
dist: 305.178009 milla  
tiempo: 590.178040 min



Solo SA+2-OPT  
dist: 353.313995 milla  
tiempo: 638.314026 min



## Experimentos

- **Set de datos:**

- set AB usado por Andelmin y Bartolini (2017)
- 40 instancias con #clientes entre 50 y 100
- Todos los clientes son alcanzables desde el depósito.
- Cada instancia posee información sobre el número de clientes, número de estaciones, tiempo máximo de cada ruta, velocidad (milla/min), tiempo de servicio(min) y tiempo de recarga(min).

- $AB = AB1 \cup AB2$

- AB2

- Vehículos tienen menos autonomía de combustible (distancia máxima menor)
- Viajan a mayor velocidad (60 [milla/hora])

- **Estación:**

- Subsistema Linux WSL2 para Windows11 64-bits, utilizando un computador LENOVO 82H7 con un procesador 11th Gen Intel(R) Co-re(TM) i7-1165G7 de 2.8GHz, con una memoria RAM 8192 MB.
- Código escrito en C++ usando compilador g++ (Ubuntu 9.4.0).

## Experimentos

- *Experimento 1:*  
Comparar el desempeño de los tres algoritmos por separado en las instancias del set AB1.  
Los parámetros de SA son  $\alpha = 0.8$  y  $T=665$ .
- *Experimento 2: Idem, pero para instancias de AB2*

- *Experimento 3:*  
Se mide el impacto de la temperatura  $T$  inicial con  $\alpha = 0.8$  fijo en SA. Se compara el desempeño de SA con swap y con 2-opt en las instancias del set AB2. Se utilizan las temperaturas  $T=100$ ,  $T=50$  y  $T=10$ .



## Resultados

Valores promedio	CalidadSolucion	nClientes	nClientes sin atender	nvehiculos	tiempo Ejecucion
AB1Greedy	1683,781690	71,10	10,15	7,6	0,001428550
AB1_2opt	1525,566571	73,25	8	6,2	0,018343150
AB1_Swap	1510,167380	73,25	8	6,2	0,014878200

Cuadro 1: Valores promedio para las instancias del set AB1 del experimento 1

Valores promedio	CalidadSolucion	nClientes	nClientes sin atender	nvehiculos	tiempo Ejecucion
AB2Greedy	1537,813425	73,25	8	6,2	0,00134450
AB2_2opt	1525,566571	73,25	8	6,2	0,01834315
AB2_Swap	1510,167380	73,25	8	6,2	0,01487820

Cuadro 2: Valores promedio para las instancias del set AB2 del experimento 2

Temperatura	CalidadSolucion Prom	nClientes Prom	nvehiculos Prom	tiempo Ejecución Prom
AB2_2opt				
100	1533,486646	73,25	6,2	0,00769455
50	1524,600549	73,25	6,2	0,00691155
10	1533,213696	73,25	6,2	0,0047513

Cuadro 3: Resultados del experimento 3 para SA más 2-opt con  $\alpha = 0,8$  constante

Temperatura	CalidadSolucion Prom	nClientes Prom	nvehiculos Prom	tiempo Ejecucion Prom
AB2_Swap				
100	1522,133582	73,25	6,2	0,00635715
50	1517,010974	73,25	6,2	0,00585845
10	1526,411865	73,25	6,2	0,00405385

Cuadro 4: Resultados del experimento 3 para SA más Swap con  $\alpha = 0,8$  constante



## Experimentos

- *Experimento 4:*  
Se mide el impacto de la tasa de enfriamiento  $\alpha$  en SA con una temperatura  $T=100$  fija. Se compara el desempeño de SA con swap y con 2-opt en las instancias del set AB2. Se utilizan las tasas  $\alpha=0.99$ ,  $\alpha=0.80$  y  $\alpha=0.50$



## Resultados

Tasa Enfriamiento	CalidadSolucion Prom	nClientes Prom	nvehiculos Prom	tiempo Ejecucion Prom
AB2_2opt				
0,5	1534,6283750	73,25	6,2	0,00382370
0,8	1533,4866460	73,25	6,2	0,00769455
0,99	1510,693958	73,25	6,2	0,12637840

Cuadro 5: Resultados del experimento 4 para SA más 2opt con  $T = 100$  constante

Tasa Enfriamiento	CalidadSolucion Prom	nClientes Prom	nvehiculos Prom	tiempo Ejecucion Prom
AB2_Swap				
0,5	1529,209500	73,25	6,2	0,00318150
0,8	1522,133582	73,25	6,2	0,00635715
0,99	1470,317276	73,25	6,2	0,10087005

Cuadro 6: Resultados del experimento 4 para SA más Swap con  $T = 100$  constante



## Conclusiones

Se concluye que algoritmo de búsqueda Greedy genera una calidad de solución similar a los otros algoritmos, pero con un tiempo de computación un orden de magnitud menor. El efecto del aumento de velocidad y menor autonomía de combustible en las instancias AB2 implica un mejor resultado inicial para Greedy y resultados más homogéneos entre los tres algoritmos. Además, el efecto del aumento de velocidad y menor autonomía de combustible en las instancias AB2 implica un mejor resultado inicial para Greedy y resultados más homogéneos entre los tres algoritmos.

Se concluye que el algoritmo que mejores resultados genera es SA más swap, el cual se desempeña mejor con una tasa de enfriamiento  $\alpha$  de 0.99. Swap genera una mayor variación en las rutas de vehículos, esto combinado con una tasa de enfriamiento  $\alpha$  de 0.99 (mayor número de iteraciones) permite una fuerte exploración inicial.

Se concluye que para esta implementación en particular, no es claro el efecto de la temperatura en los algoritmos de SA más heurísticas.



# Propuesta: GBJ



Representación



Algoritmo implementado

# Propuesta: GBJ

## Representación

Párametros:

Instance  
numClients  
numStations  
maxTime  
maxDistance  
speed  
serviceTime  
refuelTime

int i = numClients

int s = 1

int Distance

int VehiculoMaxDistance

int VehiculoMaxTime

Matriz para instancia AB101

NodeID	NodeType	Longitud	Latitud
0	d	-77.4943926500	37.6085124500
1	f	-77.6122426000	37.6598733400
...	...	...	...
1	c	-80.2164056600	36.7724658500
2	c	-77.1808549400	39.6921523900

string sol = ""

int calidadSol

# Propuesta: GBJ

Solución para instancia AB105

String sol = "Nuevo vehiculo D/F0 1c 2c 3c 4c 5c 6c 18f D/F0fin  
385 Nuevo vehiculo D/F0 7c 8c 9c 10c ... Distancia total 2.543,  
7 vehículos, Tiempo de ejecución: 0.00032 segundos"

**Calidad: 2.534**

**7 vehículos usados**

**Tiempo: 0.00032**

En la implementación se usó a GBJ como si fuera  
Backtracking.

# Propuesta: GBJ

## Experimentos

Para GBJ se usaron las instancias de AB101 a AB110 en donde iban variando entre tener 50 o 75 clientes y entre 22 a 26 estaciones de gasolina.

Instancia	Tiempo ejecución [s]	# Vehículos	Calidad solución
AB101 (50c y 22e)	0.00009	16	6460
AB102 (50c y 22e)	0.00083	12	4280
AB103 (50c y 22e)	0.00021	15	5669
AB104 (50c y 26e)	0.00032	7	2543
AB105 (75c y 22e)	0.004	10	3479
AB106 (75c y 22e)	0.007	24	9792
AB107 (75c y 22e)	0.0012	22	8718
AB108 (75c y 22e)	0.0011	20	7574
AB109 (75c y 25e)	0.0053	21	7922
AB110 (75c y 25e)	0.0033	22	8502

# Propuesta: GBJ

## Resultados

- AB101 AB102 AB103
- AB104
- AB105 AB106 AB107 AB108
- AB109 AB110



# Propuesta: GBJ

## Aportes y conclusiones

- Dificultad del problema.
- GBJ como BT en GVRP.
- Mejoras a implementación.



## Comparativa

Algoritmo	GBJ	SA + 2 opt	SA + Swap	Greedy
Calidad Solución (rango)	[2543 - 9792]	[1510 - 1525]	[1470-1529]	[1537-1680]
Tiempo Ejecución (rango)	Orden $10^{-5}$ a $10^{-3}$	Orden $10^{-3}$	Orden $10^{-3}$ a $10^{-2}$	Orden $10^{-3}$
Cantidad Vehículos (rango)	[7 - 24]	[6-7]	[6-7]	[6-7]
Clientes Atendidos (rango)	[50 - 75]	--	--	--
Cli sin visitar prom	--	8	8	8

# Green Vehicle Routing Problem

---

Benjamín Orrego del Río

Víctor Martínez campos

