



Centro de Ciencias Básicas.

Ingeniería en Computación Inteligente

Departamento de Ciencias de la Computación.

Optimización Inteligente.

Proyecto “Recocido simulado”

Maestra: Dra. Aurora Torres Soto.

**Sebastián Eudave Patiño
Erick Emmanuel Gutiérrez Jiménez
Alejandro Pérez Velasco**

Fecha: 24 de noviembre de 2019

INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto consiste en la solución del problema del agente viajero (TSP) a partir de dos instancias extraídas de MP-TESTDATA - The TSPLIB Symmetric Traveling Salesman Problem Instances, esto con el algoritmo metaheurístico conocido como Recocido Simulado.

El TSP, por sus siglas en ingles Travelling Salesman Problem, es un problema de optimización que busca dar solución a la siguiente cuestión: teniendo un grupo de ciudades y las distancia entre cada una de las ciudades ¿Cuál es la ruta más corta para recorrer todas las ciudades una vez y volver a la ciudad donde se empezó el recorrido? Teniendo en cuenta esto el espacio de soluciones está dado por el factorial del número de ciudades menos uno ($(N-1)!$) lo que dificulta la búsqueda exhaustiva de una solución. Por lo tanto, se requiere del uso de una metaheurística para dar una posible solución al problema.

En este caso la metaheurística modelada será la de Recocido Simulado. Dicha metaheurística emula al procedimiento conocido como Recocido en el campo de la metalurgia, el cual consiste en calentar un material a la temperatura de recocido, luego mantener la temperatura un tiempo determinado y finalmente dejar enfriar gradualmente el material, esto con la finalidad de eliminar las tensiones internas producidas por tratamientos anteriores (como el templado) así como aumentar la plasticidad, la ductilidad y la tenacidad del material.

Esto se logra computacionalmente a partir del ajuste de diversos parámetros de control, que modelan el comportamiento de las soluciones del problema como si fueran el material, donde para buscar soluciones usa un sistema probabilístico para pasar de una búsqueda local a otra. De esta manera podemos definir al recocido simulado como una técnica de búsqueda aleatoria que busca la solución óptima o cercana a la óptima en un problema de combinatoria.

Las instancias con las que se probará el modelo propuesto serán dos, una instancia grande de 101 ciudades y otra pequeña de 29 ciudades, la primera dada a partir de un conjunto de ciudades con sus respectivas coordenadas en un plano X,Y y la segunda esta dada por la matriz de distancias que hay entre cada una de las ciudades.

En resumen, se espera que el programa lea los datos de cada uno de las instancias del problema del agente viajero, los organice de manera que sean manejables para dar soluciones, genere y modifique dichas soluciones a partir de la técnica de recocido simulado, para finalmente arrojar una solución óptima o cercana a la óptima.

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

1.Representacion de soluciones

Para representar las posibles soluciones al problema del TSP se decidió usar un vector que contuviera el índice de una ciudad en cada posición. El orden como se encuentran las ciudades en el vector representa el orden como se recorre las ciudades.

Solución: Ciudad0->Ciudad1->Ciudad9->Ciudad7->Ciudad5->Ciudad4->Ciudad8, Ciudad2->Ciudad6->Ciudad3->Ciudad0

Representación:

0	1	9	7	5	4	8	2	6	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

En la representación omitimos la ciudad final ya que se sabe que es la misma que la ciudad inicial.

El ancho del vector esta dado por el número más grande de ciudades dado por las instancias, en este caso 101 que es la instancia grande que fue asignada para el proyecto.

1.1 Solución inicial

Para la generación de la solución inicial se define una ciudad inicial, luego se escogen las siguientes ciudades siguiendo el algoritmo primero el mejor.

Pseudocódigo

Mientras que no este lleno el vector solución

 Elegir ciudad adyacente más cercana que no esté en la solución

Fin Mientras

Como se puede ver el algoritmo primero el mejor se queda con el mejor camino inmediato que encuentra evitando ciudades que ya recorrio.

1.2 Generación de soluciones

Vecindad: Para este problema se considero que la vecindad de una solución estaba dada por un recorrido que cambiara dos de sus ciudades al azar con respecto a la solución anterior.

Para generar soluciones dentro del vecindario de la solución inicial lo que el programa hace es elegir dos números al azar que van de 1 al número de casillas del vector solución. Con estos dos números lo que se hace es cambiar entre si los valores de los vectores en las posiciones de esos números aleatorios.

[illegible]

1200	0	0.85	200	0.85	500	2921	2717.667	1000	0	0.85	200	0.85	500	2670	2584.267
1200	0	0.85	200	0.85	500	2524		1000	0	0.85	200	0.85	500	2655	
1200	0	0.85	200	0.85	500	2504		1000	0	0.85	200	0.85	500	3056	
1200	0	0.85	200	0.85	500	3015		1000	0	0.85	200	0.85	500	2884	
1200	0	0.85	200	0.65	500	2793		1000	0	0.85	200	0.85	500	2837	
1200	0	0.85	200	0.65	500	2267		1000	0	0.85	200	0.85	500	2264	
1200	0	0.85	200	0.65	500	2903		1000	0	0.85	200	0.85	500	2615	
1200	0	0.85	200	0.65	500	2778		1000	0	0.85	200	0.85	500	2439	
1200	0	0.85	200	0.65	500	2811		1000	0	0.85	200	0.85	500	2553	
1200	0	0.85	200	0.65	500	2979		1000	0	0.85	200	0.85	500	2499	
1200	0	0.85	200	0.65	500	2744		1000	0	0.85	200	0.85	500	2328	
1200	0	0.85	200	0.65	500	2236		1000	0	0.85	200	0.85	500	2703	
1200	0	0.85	200	0.65	500	2327		1000	0	0.85	200	0.85	500	2332	
1200	0	0.85	200	0.65	500	2953		1000	0	0.85	200	0.85	500	2491	
1200	0	0.85	200	0.65	500	3010		1000	0	0.85	200	0.85	500	2432	
1200	0	0.85	200	0.65	500	1516.27		1000	0	0.85	200	0.85	500	1368.91	
1200	0	0.85	200	0.65	500	1694.58		1000	0	0.85	200	0.85	500	1221.39	
1200	0	0.85	200	0.65	500	1405.25		1000	0	0.85	200	0.85	500	1358.47	
1200	0	0.85	200	0.65	500	1530.16		1000	0	0.85	200	0.85	500	1317.4	
1200	0	0.85	200	0.65	500	1543.77		1000	0	0.85	200	0.85	500	1373.67	
1200	0	0.85	200	0.65	500	1550.41	1000	0	0.85	200	0.85	500	1209.65		
1200	0	0.85	200	0.65	500	1523.92	1000	0	0.85	200	0.85	500	1381.12		
1200	0	0.85	200	0.65	500	1618.49	1000	0	0.85	200	0.85	500	1342.41		
1200	0	0.85	200	0.65	500	1386.41	1000	0	0.85	200	0.85	500	1241.22		
1200	0	0.85	200	0.65	500	1607.33	1000	0	0.85	200	0.85	500	1421.69		
1200	0	0.85	200	0.65	500	1591.34	1000	0	0.85	200	0.85	500	1313.44		
1200	0	0.85	200	0.65	500	1493.82	1000	0	0.85	200	0.85	500	1279.14		
1200	0	0.85	200	0.65	500	1551.88	1000	0	0.85	200	0.85	500	1380.11		
1200	0	0.85	200	0.65	500	1540.14	1000	0	0.85	200	0.85	500	1252.11		
1200	0	0.85	200	0.65	500	1610.67	1000	0	0.85	200	0.85	500	1324.7		
1200	0	0.85	200	0.65	500	1578.82	1000	0	0.85	200	0.85	500	1341.54		
1000	300	0.85	200	0.85	500	2867	1548.866	1000	300	0.85	200	0.65	500	2638	1317.204
1000	300	0.85	200	0.85	500	2478		1000	300	0.85	200	0.65	500	2838	
1000	300	0.85	200	0.85	500	2346		1000	300	0.85	200	0.65	500	2970	
1000	300	0.85	200	0.85	500	2660		1000	300	0.85	200	0.65	500	2975	
1000	300	0.85	200	0.85	500	2645		1000	300	0.85	200	0.65	500	2540	
1000	300	0.85	200	0.85	500	2902		1000	300	0.85	200	0.65	500	2705	
1000	300	0.85	200	0.85	500	2488		1000	300	0.85	200	0.65	500	2709	
1000	300	0.85	200	0.85	500	2760		1000	300	0.85	200	0.65	500	2844	
1000	300	0.85	200	0.85	500	2752		1000	300	0.85	200	0.65	500	2387	
1000	300	0.85	200	0.85	500	2509		1000	300	0.85	200	0.65	500	2438	
1000	300	0.85	200	0.85	500	2433		1000	300	0.85	200	0.65	500	2823	
1000	300	0.85	200	0.85	500	2308		1000	300	0.85	200	0.65	500	2524	
1000	300	0.85	200	0.85	500	2798		1000	300	0.85	200	0.65	500	2227	
1000	300	0.85	200	0.85	500	2758		1000	300	0.85	200	0.65	500	2786	
1000	300	0.85	200	0.85	500	2653		1000	300	0.85	200	0.65	500	2684	
1000	300	0.85	200	0.85	500	1416.39		1000	300	0.85	200	0.65	500	1662.88	
1000	300	0.85	200	0.85	500	1340.26		1000	300	0.85	200	0.65	500	1627.42	
1000	300	0.85	200	0.85	500	1391.85		1000	300	0.85	200	0.65	500	1670.94	
1000	300	0.85	200	0.85	500	1519.76		1000	300	0.85	200	0.65	500	1539.36	
1000	300	0.85	200	0.85	500	1473.47		1000	300	0.85	200	0.65	500	1496.01	
1000	300	0.85	200	0.85	500	1282.39	1000	300	0.85	200	0.65	500	1614.85		
1000	300	0.85	200	0.85	500	1482.63	1000	300	0.85	200	0.65	500	1635.83		
1000	300	0.85	200	0.85	500	1403.92	1000	300	0.85	200	0.65	500	1644.53		
1000	300	0.85	200	0.85	500	1324.33	1000	300	0.85	200	0.65	500	1561.33		
1000	300	0.85	200	0.85	500	1367.03	1000	300	0.85	200	0.65	500	1611.12		
1000	300	0.85	200	0.85	500	1363.55	1000	300	0.85	200	0.65	500	1552.45		
1000	300	0.85	200	0.85	500	1341.63	1000	300	0.85	200	0.65	500	1631.81		
1000	300	0.85	200	0.85	500	1443.38	1000	300	0.85	200	0.65	500	1663.04		
1000	300	0.85	200	0.85	500	1409.18	1000	300	0.85	200	0.65	500	1669.01		
1000	300	0.85	200	0.85	500	1358.68	1000	300	0.85	200	0.65	500	1568.27		
1000	300	0.85	200	0.85	500	1520.26	1000	300	0.85	200	0.65	500	1623.96		
1200	300	0.85	200	0.65	500	2811	2708	1000	300	0.85	200	0.75	500	2854	2632.067
1200	300	0.85	200	0.65	500	2727		1000	300	0.85	200	0.75	500	3056	
1200	300	0.85	200	0.65	500	2838		1000	300	0.85	200	0.75	500	2506	
1200	300	0.85	200	0.65	500	2889		1000	300	0.85	200	0.75	500	2589	
1200	300	0.85	200	0.65	500	2796		1000	300	0.85	200	0.75	500	2890	
1200	300	0.85	200	0.65	500	2768		1000	300	0.85	200	0.75	500	2939	
1200	300	0.85	200	0.65	500	2773		1000	300	0.85	200	0.75	500	2593	
1200	300	0.85	200	0.65	500	2464		1000	300	0.85	200	0.75	500	2639	
1200	300	0.85	200	0.65	500	2784		1000	300	0.85	200	0.75	500	2916	
1200	300	0.85	200	0.65	500	2890		1000	300	0.85	200	0.75	500	2467	
1200	300	0.85	200	0.65	500	2429		1000	300	0.85	200	0.75	500	2813	
1200	300	0.85	200	0.65	500	2660		1000	300	0.85	200	0.75	500	2864	
1200	300	0.85	200	0.65	500	2659		1000	300	0.85	200	0.75	500	2424	
1200	300	0.85	200	0.65	500	2678		1000	300	0.85	200	0.75	500	2778	
1200	300	0.85	200	0.65	500	2454		1000	300	0.85	200	0.75	500	2363	
1200	300	0.85	200	0.65	500	1570.13		1000	300	0.85	200	0.75	500	1401.88	
1200	300	0.85	200	0.65	500	1576.76		1000	300	0.85	200	0.75	500	1605.85	
1200	300	0.85	200	0.65	500	1537.5		1000	300	0.85	200	0.75	500	1408.49	
1200	300	0.85	200	0.65	500	1617.4		1000	300	0.85	200	0.75	500	1627.23	
1200	300	0.85	200	0.65	500	1593.4		1000	300	0.85	200	0.75	500	1611	
1200	300	0.85	200	0.65	500	1593.4	1000	300	0.85	200	0.75	500	1526.07		
1200	300	0.85	200	0.65	500	1600.46	1000	300	0.85	200	0.75	500	1604.6		
1200	300	0.85	200	0.65	500	1648.32	1000	300	0.85	200	0.75	500	1658.83		
1200	300	0.85	200	0.65	500	1453.39	1000	300	0.85	200	0.75	500	1531.48		
1200	300	0.85	200	0.65	500	1562.07	1000	300	0.85	200	0.75	500	1616.33		
1200	300	0.85	200	0.65	500	1543.45	1000	300	0.85	200	0.75	500	1495.77		
1200	300	0.85	200	0.65	500	1581	1000	300	0.85	200	0.75	500	1492.2		
1200	300	0.85	200	0.65	500	1579.39	1000	300	0.85	200	0.75	500	1540.97		
1200	300	0.85	200	0.65	500	1550.8	1000	300	0.85	200	0.75	500	1437.97		
							1707.151	1000	300	0.85	200	0.75	500	1567.82	
								1000	300	0.85	200	0.75	500	1562.84	1545.610

4. Instancias

Para probar el modelo y programa propuesto para la solución del TSP se utilizaron dos instancias obtenidas de MP-TESTDATA - The TSPLIB Symmetric Traveling Salesman Problem Instances.

1era Instancia (Corta)

bays29

29 cities in Bavaria, street distances (Groetschel, Juenger, Reinelt)

La primera instancia asignada consiste en la matriz de distancias de un problema con 29 ciudades:

```
0 107 241 190 124 80 316 76 152 157 283 133 113 297 228 129 348 276 188 150 65 341 184 67 221 169 108 45 167
107 0 148 137 88 127 336 183 134 95 254 180 101 234 175 176 265 199 182 67 42 278 271 146 251 105 191 139 79
241 148 0 374 171 259 509 317 217 232 491 312 280 391 412 349 422 356 355 204 182 435 417 292 424 116 337 273 77
190 137 374 0 202 234 222 192 248 42 117 287 79 107 38 121 152 86 68 70 137 151 239 135 137 242 165 228 205
124 88 171 202 0 61 392 202 46 160 319 112 163 322 240 232 314 287 238 155 65 366 300 175 307 57 220 121 97
80 127 259 234 61 0 386 141 72 167 351 55 157 331 272 226 362 296 232 164 85 375 249 147 301 118 188 60 185
316 336 509 222 392 386 0 233 438 254 202 439 235 254 210 187 313 266 154 282 321 298 168 249 95 437 190 314 435
76 183 317 192 202 141 233 0 213 188 272 193 131 302 233 98 344 289 177 216 141 346 108 57 190 245 43 81 243
152 134 217 248 46 72 438 213 0 206 365 89 209 368 286 278 360 333 284 201 111 412 321 221 353 72 266 132 111
157 95 232 42 160 167 254 188 206 0 159 220 57 149 80 132 193 127 100 28 95 193 241 131 169 200 161 189 163
283 254 491 117 319 351 202 272 365 159 0 404 176 106 79 161 165 141 95 187 254 103 279 215 117 359 216 308 322
133 180 312 287 112 55 439 193 89 220 404 0 210 384 325 279 415 349 285 217 138 428 310 200 354 169 241 112 238
113 101 280 79 163 157 235 131 209 57 176 210 0 186 117 75 231 165 81 85 92 230 184 74 150 208 104 158 206
297 234 391 107 322 331 254 302 368 149 106 384 186 0 69 191 59 35 125 167 255 44 309 245 169 327 246 335 288
228 175 412 38 240 272 210 233 286 80 79 325 117 69 0 122 122 56 56 108 175 113 240 176 125 280 177 266 243
129 176 349 121 232 226 187 98 278 132 161 279 75 191 122 0 244 178 66 160 161 235 118 62 92 277 55 155 275
348 265 422 152 314 362 313 344 360 193 165 415 231 59 122 244 0 66 178 198 286 77 362 287 228 358 299 380 319
276 199 356 86 287 296 266 289 333 127 141 349 165 35 56 178 66 0 112 132 220 79 296 232 181 292 233 314 253
188 182 355 68 238 232 154 177 284 100 95 285 81 125 56 66 178 112 0 128 167 169 179 120 69 283 121 213 281
150 67 204 70 155 164 282 216 201 28 187 217 85 167 108 160 198 132 128 0 88 211 269 159 197 172 189 182 135
65 42 182 137 65 85 321 141 111 95 254 138 92 255 175 161 286 220 167 88 0 299 229 104 236 110 149 97 108
341 278 435 151 366 375 298 346 412 193 103 428 230 44 113 235 77 79 169 211 299 0 353 289 213 371 290 379 332
184 271 417 239 300 249 168 108 321 241 279 310 184 309 240 118 362 296 179 269 229 353 0 121 162 345 80 189 342
67 146 292 135 175 147 249 57 221 131 215 200 74 245 176 62 287 232 120 159 104 289 121 0 154 220 41 93 218
221 251 424 137 307 301 95 190 353 169 117 354 150 169 125 92 228 181 69 197 236 213 162 154 0 352 147 247 350
169 105 116 242 57 118 437 245 72 200 359 169 208 327 280 277 358 292 283 172 110 371 345 220 352 0 265 178 39
108 191 337 165 220 188 190 43 266 161 216 241 104 246 177 55 299 233 121 189 149 290 80 41 147 265 0 124 263
45 139 273 228 121 60 314 81 132 189 308 112 158 335 266 155 380 314 213 182 97 379 189 93 247 178 124 0 199
167 79 77 205 97 185 435 243 111 163 322 238 206 288 243 275 319 253 281 135 108 332 342 218 350 39 263 199 0
```

Para su lectura solo fue necesario encontrar la matriz y guardar los valores en una matriz.

El resultado óptimo descrito de TSPLIB es de 2020, el óptimo encontrado por el programa propuesto fue de 2096.

```
0 27 5 11 8 4 25 28 2 1 20 19 9 3 14 17 16 13 21 10 18 12
23 7 26 22 6 24 15 0
Solucion final:
0 27 5 11 8 4 25 28 2 1 20 19 9 3 14 17 16 13 21 10 18 12
23 7 26 22 6 24 15 0
Evaluacion de la solucion:
2096.000000
```

2nda Instancia (Larga)

eil101

101-city problem (Christofides/Eilon)

Esta instancia desplegaba una lista de ciudades junto con sus coordenadas en un eje X-Y.

```
1 41 49 37 20 20 72 47 16
2 35 17 38 5 5 73 44 17
3 55 45 39 60 12 74 46 13
4 55 20 40 40 25 75 49 11
5 15 30 41 42 7 76 49 42
6 25 30 42 24 12 77 53 43
7 20 50 43 23 3 78 61 52
8 10 43 44 11 14 79 57 48
9 55 60 45 6 38 80 56 37
10 30 60 46 2 48 81 55 54
11 20 65 47 8 56 82 15 47
12 50 35 48 13 52 83 14 37
13 30 25 49 6 68 84 11 31
14 15 10 50 47 47 85 16 22
15 30 5 51 49 58 86 4 18
16 10 20 52 27 43 87 28 18
17 5 30 53 37 31 88 26 52
18 20 40 54 57 29 89 26 35
19 15 60 55 63 23 90 31 67
20 45 65 56 53 12 91 15 19
21 45 20 57 32 12 92 22 22
22 45 10 58 36 26 93 18 24
23 55 5 59 21 24 94 26 27
24 65 35 60 17 34 95 25 24
25 65 20 61 12 24 96 22 27
26 45 30 62 24 58 97 25 21
27 35 40 63 27 69 98 19 21
28 41 37 64 15 77 99 20 26
29 64 42 65 62 77 100 18 18
30 40 60 66 49 73 101 35 35
31 31 52 67 67 5
32 35 69 68 56 39
33 53 52 69 37 47
34 65 55 70 37 56
35 63 65 71 57 68
36 2 60
```

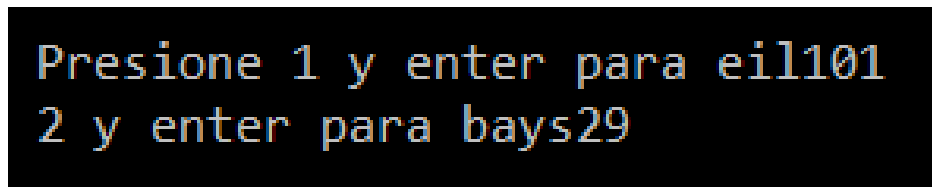
Para leer los datos se guardaron en una matriz de 101 por 3, después se calculaban las distancias entre cada ciudad con el teorema de Pitágoras.

En el documento de TSPLIB no se describía ningún óptimo, pero el encontrado por el algoritmo fue de 765.50.

```
3 67 76 2 78 32 80 8 50 19 29 69 30 87 6 81 47 46 35 48
18 10 61 9 31 89 62 63 45 7 44 16 83 4 59 82 17 51 88 5 93
94 96 91 58 95 98 92 84 90 99 36 97 60 15 43 13 41 86 1 5
6 14 42 37 85 12 25 27 49 79 11 53 23 28 77 33 34 70 65 64
75 0
Solucion final:
0 68 26 100 52 57 39 20 72 71 73 21 40 74 55 22 66 24 54 38
3 67 76 2 78 32 80 8 50 19 29 69 30 87 6 81 47 46 35 48
18 10 61 9 31 89 62 63 45 7 44 16 83 4 59 82 17 51 88 5 93
94 96 91 58 95 98 92 84 90 99 36 97 60 15 43 13 41 86 1 5
6 14 42 37 85 12 25 27 49 79 11 53 23 28 77 33 34 70 65 64
75 0
Evaluacion de la solucion:
765.503540
```

DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA

1. Al iniciar el programa se despliega la siguiente instrucción:



Hay que presionar un 1 y el botón enter si se quiere resolver la instancia larga eil101.

Para resolver la instancia corta bays29 se debe presionar 2 y enseguida enter.

1.1 Si se meten los datos correctos se desplegará la matriz de distancias del programa escogido con dos decimales, en este caso se seleccionó la instancia bays29, así que se despliega una matriz de 29 por 29:

```
Presione 1 y enter para eil101
2 y enter para bays29
2
Matriz de distancias:
0.00 107.00 241.00 190.00 124.00 80.00 316.00 76.00 152.00 157.00 283.00 133.00 113.00 297.00 228.00 129.00 348.00 276.00 188.00 1
50.00 65.00 341.00 184.00 67.00 221.00 169.00 108.00 45.00 167.00
187.00 0.00 148.00 137.00 88.00 127.00 336.00 183.00 134.00 95.00 254.00 188.00 101.00 234.00 175.00 176.00 265.00 199.00 182.00 6
7.00 42.00 278.00 271.00 146.00 251.00 185.00 191.00 139.00 79.00
241.00 148.00 0.00 174.00 171.00 259.00 509.00 317.00 217.00 232.00 491.00 312.00 280.00 391.00 412.00 349.00 422.00 356.00 355.00
204.00 182.00 435.00 417.00 292.00 424.00 116.00 337.00 273.00 77.00
190.00 137.00 374.00 0.00 202.00 234.00 222.00 192.00 248.00 42.00 117.00 287.00 79.00 187.00 38.00 121.00 152.00 86.00 68.00 70.0
0 137.00 151.00 239.00 135.00 137.00 242.00 165.00 228.00 205.00
124.00 88.00 171.00 202.00 0.00 61.00 302.00 202.00 46.00 160.00 319.00 112.00 163.00 322.00 240.00 232.00 314.00 287.00 238.00 15
5.00 65.00 366.00 300.00 175.00 307.00 57.00 220.00 121.00 97.00
88.00 127.00 259.00 234.00 61.00 0.00 386.00 141.00 72.00 167.00 351.00 55.00 157.00 331.00 272.00 226.00 362.00 296.00 232.00 164
.00 85.00 375.00 249.00 147.00 301.00 118.00 188.00 60.00 185.00
316.00 336.00 509.00 222.00 392.00 186.00 0.00 233.00 418.00 254.00 202.00 439.00 235.00 254.00 218.00 187.00 313.00 266.00 154.00
282.00 321.00 298.00 168.00 249.00 95.00 437.00 190.00 314.00 435.00
76.00 183.00 317.00 192.00 202.00 141.00 233.00 0.00 213.00 188.00 272.00 193.00 131.00 302.00 233.00 98.00 344.00 289.00 177.00 2
16.00 141.00 346.00 108.00 57.00 190.00 249.00 43.00 81.00 243.00
152.00 134.00 217.00 248.00 46.00 72.00 438.00 213.00 0.00 286.00 365.00 89.00 289.00 368.00 286.00 278.00 360.00 333.00 284.00 28
1.00 111.00 412.00 321.00 221.00 353.00 72.00 266.00 132.00 111.00
157.00 95.00 232.00 42.00 160.00 167.00 254.00 188.00 206.00 0.00 159.00 220.00 57.00 149.00 80.00 112.00 193.00 127.00 180.00 28.
80 95.00 193.00 241.00 131.00 169.00 280.00 161.00 189.00 163.00
283.00 254.00 491.00 117.00 319.00 351.00 202.00 272.00 365.00 159.00 0.00 404.00 176.00 186.00 79.00 161.00 185.00 141.00 95.00 1
87.00 254.00 183.00 279.00 215.00 117.00 359.00 216.00 308.00 322.00
133.00 180.00 312.00 287.00 112.00 55.00 439.00 193.00 89.00 220.00 404.00 0.00 210.00 384.00 325.00 279.00 415.00 349.00 285.00 2
17.00 138.00 428.00 310.00 200.00 354.00 169.00 241.00 112.00 238.00
113.00 181.00 280.00 79.00 163.00 157.00 235.00 131.00 209.00 57.00 176.00 218.00 0.00 186.00 117.00 75.00 231.00 165.00 81.00 85.
80 92.00 230.00 184.00 74.00 158.00 208.00 104.00 158.00 286.00
297.00 234.00 391.00 187.00 322.00 331.00 254.00 302.00 368.00 149.00 180.00 384.00 186.00 0.00 69.00 191.00 59.00 35.00 125.00 16
7.00 255.00 44.00 309.00 245.00 169.00 327.00 246.00 335.00 288.00
228.00 175.00 412.00 38.00 240.00 272.00 210.00 233.00 286.00 80.00 79.00 325.00 117.00 69.00 0.00 122.00 122.00 56.00 56.00 188.0
```


1.2 En el caso de dar un valor diferente a 1 o 2 se vuelve a desplegar la misma instrucción:

```
Presione 1 y enter para eil101
2 y enter para bays29
3

Presione 1 y enter para eil101
2 y enter para bays29
```

En este ejemplo se selecciono 3, el cual no está en las opciones, por lo tanto se vuelven a mostrar las instrucciones.

2.Después nos pide seleccionar la ciudad inicial desde la cual empezara a generar las soluciones. Los valores por introducir deben estar entre 0 que es la primera ciudad y el número total de ciudades menos uno:

[illegible]

2.1 Al meter un valor aceptado, se empieza a desplegar las soluciones que encuentra en cada iteración:

[illegible]

Seguendo el ejemplo de la primera parte se seleccionó la ciudad cero la cuál esta en el rango de 0 a 28 que son las ciudades del problema bays29.

2.2 En caso de meter un valor invalido vuelve a preguntar por la ciudad inicial:

```
149.00 290.00 80.00 41.00 147.00 265.00 0.00 124.00 263.00
45.00 139.00 273.00 228.00 121.00 60.00 314.00 81.00 132.00 189.00 3
08.00 112.00 158.00 335.00 266.00 155.00 380.00 314.00 213.00 182.00
97.00 379.00 189.00 93.00 247.00 178.00 124.00 0.00 199.00
167.00 79.00 77.00 205.00 97.00 185.00 435.00 243.00 111.00 163.00 3
22.00 238.00 206.00 288.00 243.00 275.00 319.00 253.00 281.00 135.00
108.00 332.00 342.00 218.00 350.00 39.00 263.00 199.00 0.00
Dame la posicion inicial: 30
Dame la posicion inicial:
```

Aquí se introdujo un valor mayor al número de ciudades en el problema bays29.

```
08.00 112.00 158.00 335.00 266.00 155.00 380.00 314.00 213.00 182.00
97.00 379.00 189.00 93.00 247.00 178.00 124.00 0.00 199.00
167.00 79.00 77.00 205.00 97.00 185.00 435.00 243.00 111.00 163.00 3
22.00 238.00 206.00 288.00 243.00 275.00 319.00 253.00 281.00 135.00
108.00 332.00 342.00 218.00 350.00 39.00 263.00 199.00 0.00
Dame la posicion inicial: 30
Dame la posicion inicial: -2
Dame la posicion inicial: _
```

Para otro ejemplo se introdujo un número negativo, el cual no cumple con la restricción de mayor a 0, por eso podemos ver que vuelve a desplegar la petición.

```
15.23 18.00 22.36 25.00 20.62 11.18 21.21 26.25 32.02 25.50 33.54
5.00 11.18 32.02 30.41 29.15 30.41 15.81 32.02 31.62 18.03 26.93 3
.06 30.00 33.54 11.18 5.00 6.32 29.83 25.50 17.46 34.00 24.76 36.0
41.04 41.40 21.21 42.43 33.97 11.18 28.86 25.50 34.18 31.89 29.15
35.47 34.21 27.80 43.93 16.97 26.93 11.31 4.47 22.80 30.46 29.21
3.19 9.06 17.80 18.03 25.50 25.50 34.93 46.52 49.93 40.50 43.86 21
38 12.17 21.10 39.66 22.47 20.12 24.60 27.78 15.65 19.70 31.06 25.
5 21.10 27.59 23.32 21.10 24.33 23.02 35.36 18.38 19.24 9.00 32.25
25.61 18.38 20.25 12.04 14.87 15.26 17.20 21.26 17.49 24.04 0.00
Dame la posicion inicial: 102
Dame la posicion inicial: _
```

Finalmente, también se puede ver que eligiendo el problema de eil101 no se puede dar datos que sean menores a 0 o mayores a 100, pues es un problema con solo 101 ciudades.

[illegible]

CONCLUSIÓN

La modelación de un problema es probablemente la segunda parte más importante para el diseño de una buena metaheurística, se tiene que pensar en una representación fácil de decodificar, así como de manipular. En el desarrollo de este proyecto se decidió representar soluciones con un vector, la cual, siendo una estructura simple, fácil de implementar facilitó en gran medida el proceso de generar soluciones y el manipularlas.

La estructuración de la función objetivo, que es parte de la modelación de una metaheurística, ayuda a calificar las soluciones representadas, con el apoyo de una buena función objetivo podemos discernir si que tan buena o que tan mala es una solución con respecto a otras. Para este proyecto calificar soluciones no presentó un problema, ya que la misma función que describe el problema, que es la suma de las distancias del recorrido, fue usada para darle valor a soluciones. Aunque también hubo otras propuestas como dividir la distancia del recorrido entre la distancia de la solución, esto para ver que tanto mejoraban las soluciones respecto al inicio del algoritmo.

El recocido simulado es un algoritmo muy voluble por la gran cantidad de parámetros que aneja para su ejecución. Esto permite que con la combinación de diferentes valores de cada parámetro se pueda llegar a soluciones más óptimas. Para poder determinar los parámetros que mejor se ajusten al problema a resolver es necesario cambiar muchas veces los parámetros, además de analizar los datos arrojados con cada conjunto de parámetros. Esto porque no se puede tomar a la ligera la definición de los valores, un solo resultado con un grupo de parámetros no nos dice nada, hay que profundizar en el comportamiento de los datos a través de repetidas ejecuciones, con el propósito de definir un intervalo aproximado de soluciones y/o un promedio.

Finalmente podemos decir que la parte más importante, que requiere más atención para poder hacer una metaheurística que satisfaga la búsqueda de una solución óptima o cercana a la óptima, es el conocimiento del problema. Si no se conoce a fondo, de manera detallada el problema que se piensa resolver, modelar una buena metaheurística se vuelve una tarea complicada. Al conocer de manera concreta lo que es una solución para nuestro problema se puede modelar una representación adecuada donde todas las soluciones puedan ser descritas. Si se sabe que es lo que hace que una solución sea correcta, sea factible, sea buena la formulación de una función objetivo se vuelve una tarea sencilla. Así en orden para terminar con un proyecto bien desarrollado se tuvo que entender claramente lo que se pedía, entender que es el Problema del Agente Viajero, cuál es su objetivo, así como el funcionamiento de la metaheurística que se pedía usar para resolver el problema.