



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Industrial



## PROGRAMACIÓN APLICADA A LA INGENIERÍA INDUSTRIAL

### TAREA 3

**Profesor:** Carlos Contreras Bolton

**Fecha:** 5 de julio 2022

## 1. Entrega

Viernes 15 de julio del 2022 hasta las 23:59 hrs en Canvas.

## 2. Objetivo de la tarea

- a) Uso de algoritmos modernos y modelos en solvers para optimización.
- b) Trabajo en equipo.

## 3. Enunciado

Implementar dos algoritmos metaheurísticos y dos modelos de programación matemática para el problema del vendedor viajero con ventanas de tiempo (PVVVT). Para la implementación de las metaheurísticas se puede utilizar cualquiera de las vistas en clases. El objetivo es que las implementaciones obtengan resultados robustos en el costo promedio, costo mínimo y tiempo computacional de la mejor solución encontrada, para 50 instancias del problema (que se encuentran en Canvas). Se pueden implementar algoritmos (heurísticas, reglas, operadores, etc) y modelos desde libros, artículos científicos u otros medios, agregando las referencias en un archivo `readme.txt` (también, comentarios en el código). El programa principal debe contener un menú con las cuatro opciones (dos algoritmos y dos modelos), para ser ejecutado con una o las 50 instancias y 10 veces con semillas independientes.

## 4. Problema del vendedor viajero con ventanas de tiempo

El PVVVT se puede definir formalmente dado un grafo dirigido  $G = (V, A)$  donde  $V$  es el conjunto de vértices y  $A$  es el conjunto de los arcos. Cada vértice  $i \in V$  posee una ventana de tiempo  $[a_i, b_i]$ , donde  $a_i$  corresponde al tiempo inicial de la ventana de tiempo y  $b_i$  al tiempo donde la ventana de tiempo termina. Así, las ventanas de tiempo definen el periodo de tiempo donde la visita a un vértice debe ocurrir. Para cada arco  $(i, j) \in A$  existe un costo  $c_{ij}, \forall i, j \in V : i \neq j$ . Para este problema no existirán tiempos de servicio y para llegadas prematuras, los tiempos de espera están permitidos, pero el conductor debe esperar hasta  $b_i$ . El modelo de programación lineal entera para el PVVVT se representa en las Ecuaciones (1)–(7), con  $x_{ij}$  ( $i, j \in V$ ) es 1 si el vértice  $j$  es visitado inmediatamente después del nodo  $i$  (y 0 en caso contrario).  $u_i$  especifica el tiempo acumulado en un vértice  $i \in V$ . A continuación se presenta el modelo:

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{i\}} x_{ij} = 1, \quad i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N \setminus \{j\}} x_{ij} = 1, \quad j \in V \quad (3)$$

$$u_i - u_j + Mx_{ij} \leq M - c_{ij}, \quad \forall i, j \in V \quad (4)$$

$$a_i \leq u_i \leq b_i, \quad \forall i \in V : i \neq j \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \in V \quad (6)$$

$$u_i \geq 0, \quad \forall i, j \in V \quad (7)$$

La función objetivo (1) minimiza la duración total de la ruta hamiltoniana. Las restricciones (2) y (3) respectivamente, imponen tener exactamente un arco saliente de cada vértice. Las restricciones (4) garantizan que no se generen subrutas basada en MTZ. Las restricciones Además, las restricciones (5) garantizan que se cumplan las ventanas de tiempo en los vértices. Finalmente, las restricciones (6) y (7) definen el dominio de las variables.

## 5. Entrada y salida

La entrada es un archivo **entrada.txt** que contiene una o varias instancias del PVVVT disponibles en el Canvas del curso. Además, ccada línea del archivo contiene el nombre de la instancia y el tiempo límite de ejecución. La salida para cada algoritmo debe entregar: el nombre de la instancia resuelta, el mejor costo, el error relativo ((costo obtenido - costo óptimo) / costo óptimo)  $\times 100$ , el costo promedio entre las 10 ejecuciones y el tiempo promedio (tiempo en que se encontró la mejor solución por primera vez) entre las 10 ejecuciones, en un archivo para cada algoritmo (**salidaA1.txt** y **salidaA2.txt**). Además, la salida para los modelos (**salidaM1.txt** y **salidaM2.txt**), debe ser la siguiente: el nombre de la instancia resuelta, el costo de la cota inferior, el mejor costo entero encontrado, el error relativo ((costo obtenido - costo de la cota inferior) / costo de la cota inferior)  $\times 100$ , el tiempo de ejecución del solver.

De todos modos, se debe entregar un excel final (que se adjuntan en Canvas) con las 50 instancias. Las 50 instancias corresponden a las mostradas en la Tabla 1. Cabe destacar que cada algoritmo y modelo se puede ejecutar con el tiempo que ustedes estimen necesario.

El formato de cada instancia (ejemplo, **instancia.txt**) es el siguiente: la primera línea contiene comentarios como el nombre y datos del problema (no útiles para este PVVVT). Cuarta línea contiene las etiquetas de las columnas de la instancia. Para este problema son reelevantes: CUST NO. (id del cliente) – XCOORD. (coordenada x) – YCOORD. (coordenda y) – READY TIME ( $a_i$ ) – DUE DATE ( $b_i$ ). Por tanto, las líneas siguientes se deben leer solo las columnas de las etiquetas anteriores.

entrada.txt

1	n20w120.001.txt	5.0
2	n20w120.002.txt	10.0
3	n20w120.003.txt	6.0
4	n20w120.004.txt	4.0

salidaA1.txt

1	n20w120.001	337	0.000	338.2	1.1
2	n20w120.002	246	0.000	247.0	1.2
3	n20w120.003	347	0.000	347.2	1.4
4	n20w120.004	353	0.000	353.5	2.1
5	n20w120.005	315	0.000	315.0	2.1

salidaA2.txt

1	n20w120.001	337	0.000	339.1	1.5
2	n20w120.002	246	0.000	248.0	1.9
3	n20w120.003	347	0.000	347.0	1.9
4	n20w120.004	353	0.000	353.6	2.2
5	n20w120.005	315	0.000	315.1	2.5

salidaM1.txt

1	n20w120.001	337	337	0.0	10.0
2	n20w120.002	246	246	0.0	10.0
3	n20w120.003	347	347	0.0	10.0
4	n20w120.004	353	353	0.0	10.0
5	n20w120.005	314	315	1.0	10.0

salidaM2.txt

1	n20w120.001	337	337	0.0	10.0
2	n20w120.002	246	246	0.0	10.0
3	n20w120.003	347	347	0.0	10.0
4	n20w120.004	353	353	0.0	10.0
5	n20w120.005	315	315	0.0	10.0

instancia.txt

1	!!	n20w120.001	16.75	391
2				
3				
4	CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND READY TIME DUE DATE SERVICE TIME
5				
6				
7	1	16	23	0 0 458 0
8	2	22	4	0 12 118 0
9	3	12	6	0 131 255 0
10	4	47	38	0 256 374 0
11	5	11	29	0 164 267 0
12	6	25	5	0 1 111 0
13	7	22	31	0 52 179 0
14	8	0	16	0 125 236 0
15	9	37	3	0 200 313 0
16	10	31	19	0 0 73 0
17	11	38	12	0 0 99 0
18	12	36	1	0 29 140 0
19	13	38	14	0 28 146 0
20	14	4	50	0 90 204 0
21	15	5	4	0 304 436 0
22	16	16	3	0 0 113 0
23	17	25	25	0 0 63 0
24	18	31	15	0 0 92 0
25	19	36	14	0 0 83 0
26	20	28	16	0 0 71 0
27	21	20	35	0 225 350 0
28	999	0	0	0 0 0 0

Tabla 1: Instancias del SkCP.

#	instancias	óptimo
1	n20w120.001.txt	267
2	n20w120.002.txt	218
3	n20w120.003.txt	303
4	n20w120.004.txt	300
5	n20w120.005.txt	240
6	n20w140.001.txt	176
7	n20w140.002.txt	272
8	n20w140.003.txt	236
9	n20w140.004.txt	255
10	n20w140.005.txt	225
11	n20w160.001.txt	241
12	n20w160.002.txt	201
13	n20w160.003.txt	201
14	n20w160.004.txt	203
15	n20w160.005.txt	245
16	n20w180.001.txt	253
17	n20w180.002.txt	265
18	n20w180.003.txt	271
19	n20w180.004.txt	201
20	n20w180.005.txt	193
21	n20w200.001.txt	233
22	n20w200.002.txt	203
23	n20w200.003.txt	249
24	n20w200.004.txt	293
25	n20w200.005.txt	227
26	n40w120.001.txt	434
27	n40w120.002.txt	445
28	n40w120.003.txt	357
29	n40w120.004.txt	303
30	n40w120.005.txt	350
31	n40w140.001.txt	328
32	n40w140.002.txt	383
33	n40w140.003.txt	398
34	n40w140.004.txt	342
35	n40w140.005.txt	371
36	n40w160.001.txt	348
37	n40w160.002.txt	337
38	n40w160.003.txt	346
39	n40w160.004.txt	288
40	n40w160.005.txt	315
41	n40w180.001.txt	337
42	n40w180.002.txt	347
43	n40w180.003.txt	279
44	n40w180.004.txt	354
45	n40w180.005.txt	335
46	n40w200.001.txt	330
47	n40w200.002.txt	303
48	n40w200.003.txt	339
49	n40w200.004.txt	301
50	n40w200.005.txt	296

## 6. Evaluación

La tarea es evaluada de acuerdo a los siguientes criterios:

- Implementación de la metaheurística 1 (1 pto).
- Implementación de la metaheurística 2 (1 pto).

- Implementación del modelo 1 (1 pto).
- Implementación del modelo 2 (1 pto).
- Resultados robustos (principalmente para las metaheurísticas) según los resultados del excel (2 ptos).
- Bonificación por realizar hibridaciones de metaheurísticas o con el modelo matemático. Solo se bonificará en caso que se mejoren los resultados. (máx. 1,0 punto).

## 7. Condiciones de la tarea

- La tarea es en parejas.
- Las dudas respecto al trabajo, se realizan de manera personal (vía Teams) o vía correo electrónico.
- Se pueden usar códigos externos o implementar ideas de otras fuentes, se debe referenciar. Caso contrario será considerado una copia.
- El lenguaje a utilizar es Python 3.x de manera estándar.
- Se deben usar solo algoritmos vistos en clases y utilizar solo solvers vistos en clases (Guroby o Cplex).
- El enunciado podría sufrir modificaciones que serán publicadas en Canvas.
- Formato de entrega:
  - El sistema debe ser robusto, se penalizarán las caídas de cualquier tipo.
  - Debe estar bien documentado.
  - La entrega se hace mediante la plataforma Canvas, en el link disponible para subir la tarea.
  - En caso de detectarse copia, los estudiantes involucrados tendrán la nota mínima sin apelación.
  - El archivo final subido a la plataforma debe ser un archivo comprimido con el siguiente formato:  
`ApellidoPaterno1_ApellidoMaterno1_ApellidoPaterno2_ApellidoMaterno2.extensión`
  - Ejemplo: 1) Juan Pérez Valdivia, 2) Armando Casas Rojas: `Pérez_Valdivia_Casas_Rojas.zip`
  - Esta carpeta debe contener un código con extensión `.py`. Pueden ser varios códigos, uno para cada algoritmos, o todo dentro del mismo archivo. Además, más otros archivos que que estime necesario para el correcto funcionamiento de su programa. El archivo principal (ejecutable) de extensión `.py` debe ser nombrado igual que el archivo comprimido y la carpeta.
  - Si considera necesario, se puede agregar un archivo de texto plano, llamado `LEEME.txt`, donde se pueden agregar instrucciones para que el profesor pueda ejecutar de manera correcta su tarea. Sin embargo, no se permiten instrucciones en la cuales se deba intervenir el código para el buen funcionamiento.
- En caso de no seguir alguna de las condiciones o instrucciones será penalizado con 1.0 punto por cada infracción.
- En caso de detectarse copia, los estudiantes involucrados tendrán la nota mínima sin apelación.