

# Curso: Teoría, Algoritmos y Aplicaciones de Gestión Logística.

## Laboratorio 2: modelos de localización y ruteo fecha entrega: 25 de octubre 2023

Departamento de Investigación Operativa  
Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería  
Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

dictado semestre 2 - 2023

Pautas generales: debe entregarse un informe (formato .pdf) con carátula (título identificando entrega, autores, fecha, curso y docentes referentes del curso). Cada ejercicio debe ser desarrollado en una sección separada. En los casos en que exista código y eventualmente otros archivos de entrada para la ejecución del mismo, todos los archivos deben ser entregados en un mismo .zip con el informe principal. En los experimentos computacionales, se debe reportar qué software se utilizó para los mismos, y en qué modelo y características de computador (CPU, memoria, S.Operativo) se realizaron las mismas.

- Ejercicio 2.1 (problema de localización):

Sea un conjunto de puntos de venta conocidos  $N = \{1, \dots, n\}$ , distribuidos de manera geográficamente dispersa en una región, cada uno de demanda  $w_i$  unidades de producto,  $1 \leq i \leq n$ . Es posible instalar almacenes de dos clases, grandes (con capacidad para atender una demanda de hasta  $Q_G$  unidades de producto), y pequeños, (con capacidad para atender una demanda de hasta  $Q_P$  unidades de producto). Existe un conjunto  $M_G = \{1, \dots, m_G\}$  de posibles ubicaciones para localizar almacenes grandes, y un conjunto  $M_P = \{1, \dots, m_P\}$  de posibles ubicaciones para localizar almacenes pequeños. El costo de apertura de un almacén grande es  $C_G$ , y de uno pequeño es  $C_P$ . Se conocen los costos de transporte por unidad de producto  $c_{ij}$  entre cada sitio  $j \in M_G \cup M_P$  a cada sitio  $i \in N$ . Los clientes pueden ser atendidos desde los almacenes, aceptando partir las demandas (es decir, un cliente puede tener su demanda satisfecha desde más de un almacén). El objetivo consiste en elegir en dónde instalar almacenes dentro

de los lugares disponibles, teniendo en cuenta las restricciones de capacidad, y minimizando la suma de costos de instalación y de transporte.

- a) Modelar el problema anterior (una variante de problema de localización de instalaciones) utilizando programación matemática.
- b) Resolver utilizando glpk o similar, para el caso de los siguientes datos:  $N = \{\text{Atlántida, Canelones, Colonia del Sacramento, Montevideo, Neptunia, Pando, Piriápolis, Punta del Este, San José}\}$ ,  $M_G = \{\text{Las Piedras, Nueva Helvecia, Pan de Azúcar}\}$ ,  $M_P = \{\text{San Carlos, Santa Lucía, Soca}\}$ ,  $Q_G = 56$ ,  $Q_P = 28$ ,  $C_G = 100$ ,  $C_P = 35$ ,  $w_i = 12, \forall i \in N$ , y  $c_{ij}$  dados por  $c_{ij} = K \cdot d_{ij}$ , con  $K = 0.25$ , y  $d_{ij}$  igual a la distancia en ruta en kilómetros entre ciudades de Uruguay (tomar de Internet, por ejemplo de <https://www.google.com/maps/> o de <http://uy.lasdistancias.net/>).

Explicar los resultados dados por el programa (en términos de qué almacenes se abren, y cual es la asignación de clientes a almacenes).

- Ejercicio 2.2 (ruteo): Considere una situación en la que hay un depósito (nodo 0) y cinco clientes (numerados 1 a 5) a visitar. Las distancias entre los nodos está dada por la siguiente matriz  $d_{ij}$  (expresada en km):

	$d_{ij}$					
	D	1	2	3	4	5
D	-	3	5	4	5	3
1	3	-	4	5	7.5	6
2	5	4	-	3	6	7.5
3	4	5	3	-	3	5
4	5	7.5	6	3	-	4
5	3	6	7.5	5	4	-

- a) Formular el problema de recorrer todos los clientes desde el depósito y volver al depósito con el menor costo (calculado como suma de distancias) como un TSP. Resolverlo utilizando glpk (u otro solver equivalente), dar el costo óptimo.

Comentario: es posible usar alguna de las formulaciones alternativas disponibles en Internet, en lugar de la formulación con cantidad exponencial de restricciones vista en clase. En caso de usar una formulación alternativa, incluir la formulación completa e indicar cuál es la fuente utilizada para la misma.

- b) Supongamos que la demanda de producto de los clientes 1, 2 y 5 es de 3 unidades de producto, y de los clientes 3 y 4 de 2 unidades de producto; y que contamos con vehículos de capacidad 5 unidades de producto.
  - b1) discutir porqué no es factible la solución del TSP en este caso.

- b2) Enumerar los recorridos factibles (recorridos que salen de depósito, recorren algunos clientes y vuelven al depósito, cumpliendo la restricción de capacidad del vehículo), y calcular el costo (la distancia) de cada recorrido.
- b3) Formular el problema de recorrer todos los clientes desde el depósito, con la cantidad de vehículos que sea necesario (VRP con capacidades), al menor costo de recorrido posible, utilizando la formulación basada en rutas vista en clase. Resolver (directamente la formulación) utilizando glpk, discutir la solución (en términos de qué rutas se utilizan). Discutir las limitaciones de este enfoque cuando crece el número de recorridos factibles, y porqué en el curso se discutió otras formas de resolución (mediante generación de columnas y planos de corte).
- b4) Suponer que los clientes tienen las siguientes ventanas de tiempo para las visitas (expresadas en horas de inicio y fin): cliente 1, [8 : 00 – 9 : 00]; cliente 2, [8 : 00 – 12 : 00]; cliente 3, [8 : 00 – 9 : 30]; cliente 4, [11 : 00 – 12 : 00]; cliente 5, [8 : 30 – 9 : 30]. Resolver utilizando el problema VRPTW (ruteo con ventanas de tiempo) con una formulación basada en rutas factibles como la del punto b3, teniendo en cuenta esta información y que la velocidad de los camiones es de 30km/h (si las ventanas de tiempo no son compatibles entre dos clientes, no se admite que un camión quede esperando en la calle). Comparar la solución contra la obtenida en el punto b3.