

AG3 - Actividad Guiada 3

Nombre: Alberto Paparelli

Link: https://colab.research.google.com/drive/1TaO3M7V4vXE3bEd_J75xKqUfPbBQVds?usp=sharing

Github: https://github.com/carpe-diem/VIU-03MIAR-algoritmos-de-optimizacion/blob/main/AG2-Actividad-Guiada-23/Algoritmos_AG3-Alberto_Paparelli.ipynb

Carga de librerias

```
In [12]: !pip install requests      #Hacer llamadas http a paginas de la red
!pip install tsplib95             #Modulo para las instancias del problema del TSP
```

```
Requirement already satisfied: requests in /Users/albertopaparelli/.pyenv/versions/3.12.7/lib/python3.12/site-packages (2.32.3)
Requirement already satisfied: charset-normalizer<4,>=2 in /Users/albertopaparelli/.pyenv/versions/3.12.7/lib/python3.12/site-packages (from requests) (3.4.1)
Requirement already satisfied: idna<4,>=2.5 in /Users/albertopaparelli/.pyenv/versions/3.12.7/lib/python3.12/site-packages (from requests) (3.10)
Requirement already satisfied: urllib3<3,>=1.21.1 in /Users/albertopaparelli/.pyenv/versions/3.12.7/lib/python3.12/site-packages (from requests) (2.3.0)
Requirement already satisfied: certifi>=2017.4.17 in /Users/albertopaparelli/.pyenv/versions/3.12.7/lib/python3.12/site-packages (from requests) (2024.12.14)
```

```
[notice] A new release of pip is available: 25.3 -> 26.0.1
[notice] To update, run: pip install --upgrade pip
Requirement already satisfied: tsplib95 in /Users/albertopaparelli/.pyenv/versions/3.12.7/lib/python3.12/site-packages (0.7.1)
Requirement already satisfied: Click>=6.0 in /Users/albertopaparelli/.pyenv/versions/3.12.7/lib/python3.12/site-packages (from tsplib95) (8.1.8)
Requirement already satisfied: Deprecated~=1.2.9 in /Users/albertopaparelli/.pyenv/versions/3.12.7/lib/python3.12/site-packages (from tsplib95) (1.2.15)
Requirement already satisfied: networkx~=2.1 in /Users/albertopaparelli/.pyenv/versions/3.12.7/lib/python3.12/site-packages (from tsplib95) (2.8.8)
Requirement already satisfied: tabulate~=0.8.7 in /Users/albertopaparelli/.pyenv/versions/3.12.7/lib/python3.12/site-packages (from tsplib95) (0.8.10)
Requirement already satisfied: wrapt<2,>=1.10 in /Users/albertopaparelli/.pyenv/versions/3.12.7/lib/python3.12/site-packages (from Deprecated~=1.2.9->tsplib95) (1.17.0)
```

```
[notice] A new release of pip is available: 25.3 -> 26.0.1
```

```
[notice] To update, run: pip install --upgrade pip
```

Carga de los datos del problema

```
In [13]: import urllib.request      #Hacer llamadas http a paginas de la red
import tsplib95                     #Modulo para las instancias del problema del TSP
import math                         #Modulo de funciones matematicas. Se usa para exp
import random                       #Para generar valores aleatorios

#http://elib.zib.de/pub/mp-testdata/tsp/tsplib/
#Documentacion :
# http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/tsp95.pdf
# https://tsplib95.readthedocs.io/en/stable/pages/usage.html
# https://tsplib95.readthedocs.io/en/v0.6.1/modules.html
# https://pypi.org/project/tsplib95/

#Descargamos el fichero de datos(Matriz de distancias)
file = "swiss42.tsp" ;
# urllib.request.urlretrieve("http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/tsp/", file + '.gz')
# raw.githubusercontent.com/mastqe/tsplib/refs/heads/master/swiss42.tsp
# !gzip -d swiss42.tsp.gz      #Descomprimir el fichero de datos

urllib.request.urlretrieve("https://github.com/coin-or/jorlib/blob/master/jorlib-core/src/test/resources/tsplib/tsp/swiss42.tsp?raw=true", file)
#Coordenas 51-city problem (Christofides/Eilon)
#file = "eil51.tsp" ; urllib.request.urlretrieve("http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/tsp/eil51.tsp.gz", file)

#Coordenadas - 48 capitals of the US (Padberg/Rinaldi)
#file = "att48.tsp" ; urllib.request.urlretrieve("http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/tsp/att48.tsp.gz", file)
```

```
Out[13]: ('swiss42.tsp', <http.client.HTTPMessage at 0x1110d9130>)
```

```
In [14]: #Carga de datos y generación de objeto problem
#####
problem = tsplib95.load(file)

#Nodos
Nodos = list(problem.get_nodes())

#Aristas
Aristas = list(problem.get_edges())
```

```
In [15]: Aristas[:10]
```

```
Out[15]: [(0, 0),
(0, 1),
(0, 2),
(0, 3),
(0, 4),
(0, 5),
(0, 6),
(0, 7),
(0, 8),
(0, 9)]
```

```

NOMBRE: swiss42
TIPO: TSP
COMENTARIO: 42 Staedte Schweiz (Fricker)
DIMENSION: 42
EDGE_WEIGHT_TYPE: EXPLICIT
EDGE_WEIGHT_FORMAT: FULL_MATRIX
EDGE_WEIGHT_SECTION
0 15 30 23 32 55 33 37 92 114 92 110 96 90 74 76 82 72 78 82 159 122 131 206 112 57 28 43 70 1
15 0 34 23 27 40 19 32 93 117 88 100 87 75 63 67 71 69 62 63 96 164 132 131 212 106 44 33 5
30 34 0 11 18 57 36 65 62 84 64 89 76 93 95 100 104 98 57 88 99 130 100 101 179 86 51 4 18
23 23 11 0 11 48 26 54 70 94 69 75 75 84 84 89 92 89 54 78 99 141 111 109 89 89 11 11 11 54
32 27 18 11 0 40 20 58 67 92 61 78 65 76 83 89 91 95 43 72 110 141 116 105 190 81 34 19 35
55 40 57 48 40 0 23 55 96 123 78 75 36 36 66 66 63 95 34 34 137 174 156 129 224 90 15 59 75
33 19 36 26 20 23 0 45 85 111 75 82 69 60 63 70 71 85 44 52 115 161 136 122 210 91 25 37 54
37 32 65 54 58 55 45 0 124 149 118 126 113 80 42 42 40 40 87 87 94 158 158 163 242 135 65 6
92 93 62 70 67 96 85 124 0 28 29 68 63 122 148 155 156 159 67 129 148 78 80 39 129 46 82 65
114 117 84 94 92 123 111 149 28 0 54 91 88 150 174 181 182 181 95 157 159 50 65 27 102 65 11
92 88 64 69 61 78 75 118 29 54 0 39 34 99 134 142 141 157 44 110 161 103 109 52 154 22 63 6
110 100 89 89 78 75 82 126 68 91 39 0 14 80 129 139 135 167 39 98 187 136 148 81 186 28 61 9
96 87 76 75 65 62 69 113 63 88 34 14 0 72 117 128 124 153 26 88 174 136 142 82 187 32 48 79
90 75 93 84 76 36 60 80 122 150 99 80 72 0 59 71 63 116 56 25 170 201 189 151 252 104 44 95
74 63 95 84 83 56 63 42 148 174 134 129 117 59 0 11 8 63 93 35 135 223 195 184 273 146 71 9

```

```
In [16]: #Probamos algunas funciones del objeto problem
```

```

#Distancia entre nodos
problem.get_weight(0, 1)

#Todas las funciones
#Documentación: https://tsplib95.readthedocs.io/en/v0.6.1/modules.html

#dir(problem)

```

```
Out[16]: 15
```

Funcionas basicas

```
In [17]: #Funcionas basicas
```

```

#####

#Se genera una solucion aleatoria con comienzo en en el nodo 0
def crear_solucion(Nodos):
    solucion = [Nodos[0]]
    for n in Nodos[1:]:
        solucion = solucion + [random.choice(list(set(Nodos) - set({Nodos[0]}) - set(solucion)))]
    return solucion

#Devuelve la distancia entre dos nodos
def distancia(a,b, problem):
    return problem.get_weight(a,b)

#Devuelve la distancia total de una trayectoria/solucion
def distancia_total(solucion, problem):
    distancia_total = 0
    for i in range(len(solucion)-1):
        distancia_total += distancia(solucion[i],solucion[i+1] , problem)
    return distancia_total + distancia(solucion[len(solucion)-1],solucion[0], problem)

sol_temporal = crear_solucion(Nodos)

distancia_total(sol_temporal, problem), sol_temporal

```

```

Out[17]: (4894,
[0,
27,
13,
14,
5,
35,
2,
19,
32,
33,
31,
26,
16,
17,
23,
3,
18,
28,
38,
1,
6,
20,
11,
34,
30,
41,
37,
10,
29,
39,
22,
4,
8,
40,
12,
15,
25,
36,
9,
21,
7,
24])

```

BUSQUEDA ALEATORIA

```
In [18]: #####
# BUSQUEDA ALEATORIA
#####

def busqueda_aleatoria(problem, N):
    #N es el numero de iteraciones
    Nodos = list(problem.get_nodes())

    mejor_solucion = []
    #mejor_distancia = 10e100                      #Inicializamos con un valor alto
    mejor_distancia = float('inf')                #Inicializamos con un valor alto

    for i in range(N):                            #Criterio de parada: repetir N veces pero podemos incluir otros
        solucion = crear_solucion(Nodos)          #Genera una solucion aleatoria
        distancia = distancia_total(solucion, problem) #Calcula el valor objetivo(distancia total)

        if distancia < mejor_distancia:          #Compara con la mejor obtenida hasta ahora
            mejor_solucion = solucion
            mejor_distancia = distancia

    print("Mejor solución:" , mejor_solucion)
    print("Distancia      :" , mejor_distancia)
    return mejor_solucion

#Busqueda aleatoria con 5000 iteraciones
solucion = busqueda_aleatoria(problem, 10000)
```

Mejor solución: [0, 18, 1, 39, 24, 40, 9, 33, 22, 41, 30, 20, 34, 29, 38, 8, 10, 31, 6, 37, 23, 35, 36, 16, 13, 25, 12, 26, 4, 14, 15, 19, 27, 21, 11, 7, 5, 28, 17, 2, 3, 32]
Distancia : 3642

BUSQUEDA LOCAL

```
In [19]: #####
# BUSQUEDA LOCAL
#####
def genera_vecina(solucion):
    #Generador de soluciones vecinas: 2-opt (intercambiar 2 nodos) Si hay N nodos se generan (N-1)x(N-2)/2 soluciones
    #Se puede modificar para aplicar otros generadores distintos que 2-opt
    #print(solucion)
    mejor_solucion = []
    mejor_distancia = 10e100
    for i in range(1, len(solucion)-1):           #Recorremos todos los nodos en bucle doble para evaluar todos los intercambios 2-opt
        for j in range(i+1, len(solucion)):
            #Se genera una nueva solución intercambiando los dos nodos i,j:
            # (usamos el operador + que para listas en python las concatena) : ej.: [1,2] + [3] = [1,2,3]
            vecina = solucion[:i] + [solucion[j]] + solucion[i+1:] + [solucion[i]] + solucion[j+1:]

            #Se evalua la nueva solución ...
            distancia_vecina = distancia_total(vecina, problem)

            #... para guardarla si mejora las anteriores
            if distancia_vecina <= mejor_distancia:
                mejor_distancia = distancia_vecina
                mejor_solucion = vecina
    return mejor_solucion

#solucion = [1, 47, 13, 41, 40, 19, 42, 44, 37, 5, 22, 28, 3, 2, 29, 21, 50, 34, 30, 9, 16, 11, 38, 49, 10, 39, 33, 45, 15, 24, 43, 26, 31, 36, 35, 20, 8]
print("Distancia Solucion Inicial:" , distancia_total(solucion, problem))

nueva_solucion = genera_vecina(solucion)
print("Distancia Mejor Solucion Local:", distancia_total(nueva_solucion, problem))
```

Distancia Solucion Inicial: 3642
Distancia Mejor Solucion Local: 3234

```
In [20]: #Busqueda Local:
# - Sobre el operador de vecindad 2-opt(funcion genera_vecina)
# - Sin criterio de parada, se para cuando no es posible mejorar.
def busqueda_local(problem):
    mejor_solucion = []

    #Generar una solucion inicial de referencia(aleatoria)
    solucion_referencia = crear_solucion(Nodos)
    mejor_distancia = distancia_total(solucion_referencia, problem)

    iteracion=0                #Un contador para saber las iteraciones que hacemos
    while(1):
        iteracion +=1          #Incrementamos el contador
        #print('#',iteracion)

        #Obtenemos la mejor vecina ...
        vecina = genera_vecina(solucion_referencia)

        #... y la evaluamos para ver si mejoramos respecto a lo encontrado hasta el momento
        distancia_vecina = distancia_total(vecina, problem)

        #Si no mejoramos hay que terminar. Hemos llegado a un minimo local(según nuestro operador de vecindad 2-opt)
        if distancia_vecina < mejor_distancia:
            #mejor_solucion = copy.deepcopy(vecina)    #Con copia profunda. Las copias en python son por referencia
            mejor_solucion = vecina                    #Guarda la mejor solución encontrada
            mejor_distancia = distancia_vecina

        else:
            print("En la iteracion ", iteracion, ", la mejor solución encontrada es:" , mejor_solucion)
            print("Distancia      :" , mejor_distancia)
            return mejor_solucion

    solucion_referencia = vecina
```

```
sol = busqueda_local(problem )
```

En la iteración 33, la mejor solución encontrada es: [0, 7, 1, 6, 5, 13, 19, 14, 16, 15, 37, 17, 36, 35, 31, 9, 23, 8, 2, 27, 28, 30, 38, 22, 39, 21, 24, 40, 41, 25, 11, 10, 29, 34, 33, 20, 32, 26, 18, 12, 4, 3]
Distancia : 1743

SIMULATED ANNEALING

```
In [21]: #####  
# SIMULATED ANNEALING  
#####
```

```
#Generador de 1 solución vecina 2-opt 100% aleatoria (intercambiar 2 nodos)  
#Mejorable eligiendo otra forma de elegir una vecina.  
def genera_vecina_aleatorio(solucion):  
  
    #Se eligen dos nodos aleatoriamente  
    i,j = sorted(random.sample( range(1,len(solucion)) , 2))  
  
    #Devuelve una nueva solución pero intercambiando los dos nodos elegidos al azar  
    return solucion[:i] + [solucion[j]] + solucion[i+1:j] + [solucion[i]] + solucion[j+1:]  
  
#Funcion de probabilidad para aceptar peores soluciones  
def probabilidad(T,d):  
    if random.random() < math.exp( -1*d / T) :  
        return True  
    else:  
        return False  
  
#Funcion de descenso de temperatura  
def bajar_temperatura(T):  
    return T*0.99
```

```
In [22]: def recocido_simulado(problem, TEMPERATURA ):  
    #problem = datos del problema  
    #T = Temperatura  
  
    solucion_referencia = crear_solucion(Nodos)  
    distancia_referencia = distancia_total(solucion_referencia, problem)  
  
    mejor_solucion = []           #x* del pseudocódigo  
    mejor_distancia = 10e100      #F* del pseudocódigo  
  
    N=0  
    while TEMPERATURA > .0001:  
        N+=1  
        #Genera una solución vecina  
        vecina =genera_vecina_aleatorio(solucion_referencia)  
  
        #Calcula su valor(distancia)  
        distancia_vecina = distancia_total(vecina, problem)  
  
        #Si es la mejor solución de todas se guarda(¡¡¡¡¡)  
        if distancia_vecina < mejor_distancia:  
            mejor_solucion = vecina  
            mejor_distancia = distancia_vecina  
  
        #Si la nueva vecina es mejor se cambia  
        #Si es peor se cambia según una probabilidad que depende de T y delta(distancia_referencia - distancia_vecina)  
        if distancia_vecina < distancia_referencia or probabilidad(TEMPERATURA, abs(distancia_referencia - distancia_vecina) ) :  
            #solucion_referencia = copy.deepcopy(vecina)  
            solucion_referencia = vecina  
            distancia_referencia = distancia_vecina  
  
        #Bajamos la temperatura  
        TEMPERATURA = bajar_temperatura(TEMPERATURA)  
  
    print("La mejor solución encontrada es " , end="")  
    print(mejor_solucion)  
    print("con una distancia total de " , end="")  
    print(mejor_distancia)  
    return mejor_solucion  
  
sol = recocido_simulado(problem, 10000000)
```

La mejor solución encontrada es [0, 20, 33, 34, 30, 32, 35, 36, 15, 14, 16, 1, 4, 8, 23, 41, 10, 12, 18, 28, 29, 9, 39, 38, 27, 2, 3, 6, 19, 13, 5, 26, 11, 25, 21, 40, 24, 22, 31, 17, 37, 7]
con una distancia total de 2060

Mejora: Búsqueda Local con Entornos Variables (VNS)

La búsqueda local anterior se atasca en mínimos locales porque solo usa un operador de vecindad (swap de 2 nodos). Cuando no hay mejora posible con ese operador, se detiene aunque existan mejores soluciones alcanzables con otros movimientos.

Variable Neighborhood Search (VNS) resuelve esto usando **múltiples operadores de vecindad** y alternando entre ellos:

- **Operador 1 - Swap:** Intercambio de 2 nodos (el ya existente)
- **Operador 2 - Inversion:** Inversión de una sub-ruta (2-opt clásico)
- **Operador 3 - Inserción (Or-opt):** Extraer un nodo y reinsertarlo en otra posición

El algoritmo:

1. Aplicar búsqueda local con operador k=0
2. Si no mejora, pasar al operador k+1 (perturbación + búsqueda local)
3. Si mejora, volver al operador k=0
4. Terminar cuando ningún operador mejora

```
In [23]: def genera_vecina_inversion_aleatorio(solucion):  
    """Genera una vecina aleatoria invirtiendo una sub-ruta."""  
    i, j = sorted(random.sample(range(1, len(solucion)), 2))  
    return solucion[:i] + solucion[i:j+1][::-1] + solucion[j+1:]
```

```

def genera_mejor_vecina_inversion(solucion):
    """Genera la mejor vecina posible por inversion de sub-ruta (exhaustiva)."""
    mejor_solucion = []
    mejor_distancia = 10e100
    for i in range(1, len(solucion) - 1):
        for j in range(i + 1, len(solucion)):
            vecina = solucion[:i] + solucion[i:j+1][::-1] + solucion[j+1:]
            d = distancia_total(vecina, problem)
            if d <= mejor_distancia:
                mejor_distancia = d
                mejor_solucion = vecina
    return mejor_solucion

def genera_vecina_insercion_aleatorio(solucion):
    """Genera una vecina aleatoria extrayendo un segmento (1-3 nodos) y reinsertandolo."""
    L = random.choice([1, 2, 3])
    max_start = len(solucion) - L
    if max_start < 1:
        max_start = 1
    i = random.randint(1, max_start)
    segmento = solucion[i:i+L]
    resto = solucion[:i] + solucion[i+L:]
    j = random.randint(1, len(resto))
    return resto[:j] + segmento + resto[j:]

def genera_mejor_vecina_insercion(solucion):
    """Genera la mejor vecina posible por insercion de 1 nodo (exhaustiva)."""
    mejor_solucion = []
    mejor_distancia = 10e100
    for i in range(1, len(solucion)):
        nodo = solucion[i]
        resto = solucion[:i] + solucion[i+1:]
        for j in range(1, len(resto) + 1):
            vecina = resto[:j] + [nodo] + resto[j:]
            d = distancia_total(vecina, problem)
            if d <= mejor_distancia:
                mejor_distancia = d
                mejor_solucion = vecina
    return mejor_solucion

def busqueda_local_generica(solucion, operador_vecindad):
    """Busqueda local generica: aplica el operador de vecindad hasta que no mejore."""
    mejor_distancia = distancia_total(solucion, problem)
    while True:
        vecina = operador_vecindad(solucion)
        d = distancia_total(vecina, problem)
        if d < mejor_distancia:
            solucion = vecina
            mejor_distancia = d
        else:
            return solucion

# Test de los operadores
print("Test operador inversion:")
sol_test = crear_solucion(Nodos)
print(" Solucion original:", distancia_total(sol_test, problem))
sol_inv = genera_mejor_vecina_inversion(sol_test)
print(" Mejor vecina inversion:", distancia_total(sol_inv, problem))

print("Test operador insercion:")
sol_ins = genera_mejor_vecina_insercion(sol_test)
print(" Mejor vecina insercion:", distancia_total(sol_ins, problem))

```

```

Test operador inversion:
Solucion original: 4615
Mejor vecina inversion: 4275
Test operador insercion:
Mejor vecina insercion: 4152
Mejor vecina insercion: 4152

```

In [24]: # MEJORA: Busqueda por Entornos Variables (VNS)

```

def busqueda_VNS(problem, max_iteraciones=50):
    Nodos = list(problem.get_nodos())

    operadores_busqueda = [genera_vecina, genera_mejor_vecina_inversion, genera_mejor_vecina_insercion]

    operadores_shaking = [genera_vecina_aleatorio, genera_vecina_inversion_aleatorio, genera_vecina_insercion_aleatorio]

    nombres = ["Swap", "Inversion", "Insercion"]

    # Solucion inicial aleatoria
    solucion_actual = crear_solucion(Nodos)
    mejor_distancia = distancia_total(solucion_actual, problem)
    mejor_solucion = solucion_actual

    # Aplicar busqueda local inicial con el primer operador (swap)
    solucion_actual = busqueda_local_generica(solucion_actual, operadores_busqueda[0])
    d = distancia_total(solucion_actual, problem)
    if d < mejor_distancia:
        mejor_distancia = d
        mejor_solucion = solucion_actual
    print(f"Solucion inicial tras busqueda local (swap): {mejor_distancia}")

    iteracion = 0
    k = 0

    while iteracion < max_iteraciones and k < len(operadores_busqueda):
        iteracion += 1

        vecina_perturbada = operadores_shaking[k](solucion_actual)

        vecina_optimizada = busqueda_local_generica(vecina_perturbada, operadores_busqueda[k])
        d = distancia_total(vecina_optimizada, problem)

```

```

if d < mejor_distancia:
    mejor_solucion = vecina_optimizada
    mejor_distancia = d
    solucion_actual = vecina_optimizada
    print(f" Iteracion {iteracion}: Mejora con {nombres[k]}! Distancia = {d}")
    k = 0
else:
    k += 1
    if k >= len(operadores_busqueda):
        print(f" Iteracion {iteracion}: Sin mejora en ningun entorno. Fin.")

print()
print("Mejor solucion VNS:", mejor_solucion)
print("Distancia:", mejor_distancia)
return mejor_solucion

sol_vns = busqueda_VNS(problem, max_iteraciones=50)

```

Solucion inicial tras busqueda local (swap): 1689
 Iteracion 2: Mejora con Inversion! Distancia = 1319
 Iteracion 5: Mejora con Insercion! Distancia = 1301
 Iteracion 8: Sin mejora en ningun entorno. Fin.

Mejor solucion VNS: [0, 1, 6, 4, 3, 27, 2, 28, 29, 30, 32, 20, 33, 34, 38, 22, 39, 21, 24, 40, 23, 41, 9, 8, 10, 25, 11, 12, 18, 26, 5, 13, 19, 14, 16, 15, 37, 36, 35, 31, 17, 7]
 Distancia: 1301