

# **Manual del usuario para el Ruteo Ecológico con Ventanas de Tiempo mediante PL**

Valentina González García <sup>a,c</sup> , Maria Victoria Gutiérrez Padilla <sup>a,c</sup> , Jhoan Manuel Mendoza Torres <sup>a,c</sup>

Daniel Morillo Torres <sup>b,c</sup>

<sup>a</sup>*Estudiante de Ingeniería Industrial*

<sup>b</sup>*Profesor, director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial*

<sup>c</sup>*Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia*

<sup>d</sup>*Entidad y área donde realizó el estudio*

## Introducción

Este manual le permitirá al usuario utilizar de forma correcta el modelo de programación lineal ejecutado en el Software AMPL para el ruteo ecológico de vehículos con consideraciones de ventanas de tiempo y decisiones de velocidad.

### 1) Acciones previas

#### 1. Comprar licencia AMPL

Para ello redirigirse al siguiente enlace: <https://ampl.com/try-ampl/buy-ampl/> en el que AMPL explica las acciones a diligenciar para obtener la licencia y realizar los pagos.

#### 2. Importar datos

Para la inserción de datos el usuario debe suministrar la información en el archivo de extensión .dat, como se muestra en el siguiente formato:

```
1 param n := 10; -----> Número de clientes
2 param CAP := 4500; -----> Capacidad del vehículo
3 param DEM:=
4 0 0
5 1 721
6 2 814
7 3 620
8 4 311 -----> Clientes con su respectiva demanda
9 5 167
10 6 513
11 7 568
12 8 763
13 9 558
14 10 636
15 ;
16 param S:=
17 0 0
18 1 1442 -----> Clientes con sus respectivos tiempos de servicio
19 2 1628
20 3 1240
21 4 622
22 5 334
23 6 1026
24 7 1136
25 8 1526
26 9 1116
27 10 1272
28 ;
29 param a:=
30 0 0
31 1 16298
32 2 22946
33 3 8674 -----> Clientes con sus respectivas ventanas de apertura
34 4 19460
35 5 21211
36 6 7968
37 7 22076
38 8 2560
39 9 19874
40 10 15638
41 ;
42 param b:=
43 0 32400
44 1 19703
45 2 26858 -----> Clientes con sus respectivas ventanas de cierre
46 3 12807
47 4 21987
48 5 23649
49 6 10968
50 7 25101
51 8 4905
52 9 23977
53 10 18155
54 ;
```

```

55 param Grad :
56   0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=
57   0 . -0.9984732 -0.0381034 -0.0568591 0.0407964 -0.0877414 0.0667066 0.0385454 -0.0173487 -0.055747 -0.0183388
58   1 0.0984732 . -0.08731498 0.0999311 0.042922 -0.0539679 -0.051089 0.0898181 0.0274118 0.0656655 0.0841229
59   2 0.0381034 0.00731498 . -0.0462334 -0.0331253 -0.0753184 0.0383038 0.0706044 0.0455044 0.0414179 0.0886161
60   3 0.0568591 -0.0999311 0.0462334 . -0.0556833 -0.00430403 0.0793473 0.0084904 -0.0252514 0.0721999 0.0487704
61   4 -0.0407964 -0.042922 0.0331253 0.0556833 . -0.0106592 -0.0109459 0.0639354 -0.0812663 -0.041006 -0.0556652
62   5 0.0877414 0.0539679 0.0753184 0.00430403 0.0106592 . 0.0391797 -0.0504009 -0.0158617 -0.0875781 -0.0434128 -----> Gradiente del cliente i al cliente j
63   6 -0.0667066 0.051089 -0.0383038 -0.0793473 0.0109459 -0.0391797 . 0.00821937 -0.0974596 0.0793911 0.000228663
64   7 -0.0385454 -0.0898181 -0.0706044 -0.0084904 -0.0639354 0.0504009 -0.00821937 . -0.0414325 0.00578243 0.0409684
65   8 0.0173487 -0.0274118 -0.0455044 0.0252514 0.0812663 0.0158617 0.0974596 0.0414325 . 0.0135424 0.0257621
66   9 0.055747 -0.0656655 -0.0414179 -0.0721999 0.041006 0.0875781 -0.0793911 -0.00578243 -0.0135424 . 0.0688748
67 10 0.0183388 -0.0841229 -0.0886161 -0.0487704 0.0556652 0.0434128 -0.000228663 -0.0409684 -0.0257621 -0.0688748 .
68 ;
69 param t:=
70 [*,*,1]:
71   0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=
72   0 . 4938 3081.6 6504 11445.6 1909.2 10675.2 8894.4 3121.2 10581.7 7928.4
73   1 4879.2 . 6237.6 3936 11984.4 5065.2 9079.2 7665.6 2922 8648.4 3150
74   2 3001.2 6213.6 . 7382.4 8886 1546.8 8312.4 6310.8 5149.2 8808 9204
75   3 6512.4 3930 7387.2 . 9243.6 6231.6 5151.6 3830.4 5937.6 4740 3540
76   4 11391.6 12003.6 8888.4 9231.6 . 9751.2 6672 5532 13435.2 7404 12762 -----> Tiempo del recorrido del cliente i
77   5 1899.6 5112 1545.6 6280.8 9726 . 9360 7358.4 4047.6 9855.6 8102.4 al j con la velocidad 1
78   6 10650.1 9084 8316 5163.6 6625.2 9364.8 . 2064 10866 782.4 8256
79   7 8800.8 7612.8 6297.6 3819.6 5571.6 7346.4 2055.6 . 9062.4 2551.2 7350
80   8 3118.8 2922 5253.6 5943.6 13407.6 4081.2 10866 9088.8 . 10675.2 5870.4
81   9 10609.3 8608.8 8810.4 4731.6 7366.8 9859.2 786 2558.4 10659.6 . 7681.2
82 10 7852.8 3150 9211.2 3519.6 12728.4 8038.8 8251.2 7341.6 5870.4 7689.6 .
83 [*,*,2]:
84   0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=
85   0 . 2693.45 1680.87 3547.64 6243.05 1041.38 5822.84 4851.49 1702.47 5771.85 4324.58
86   1 2661.38 . 3402.33 2146.91 6536.95 2762.84 4952.29 4181.24 1593.82 4717.31 1718.18
87   2 1637.02 3389.24 . 4026.76 4846.91 843.709 4534.04 3442.25 2808.65 4804.36 5020.36
88   3 3552.22 2143.64 4029.38 . 5041.96 3399.05 2809.96 2089.31 3238.69 2585.45 1930.91
89   4 6213.6 6547.42 4848.22 5035.42 . 5318.84 3639.27 3017.45 7328.29 4038.55 6961.09 -----> Tiempo del recorrido del cliente i
90   5 1036.15 2788.36 843.055 3425.89 5305.09 . 5105.45 4013.67 2207.78 5375.78 4419.49 al j con la velocidad 2
91   6 5809.16 4954.91 4536 2816.51 3613.75 5108.07 . 1125.82 5926.91 426.764 4503.27
92   7 4800.44 4152.44 3435.05 2083.42 3039.05 4007.13 1121.24 . 4943.13 1391.56 4009.09
93   8 1701.16 1593.82 2865.6 3241.96 7313.24 2226.11 5926.91 4957.53 . 5822.84 3202.04
94   9 5786.9 4695.71 4805.67 2580.87 4018.25 5377.75 428.727 1395.49 5814.33 . 4189.75
95 10 4283.35 1718.18 5024.29 1919.78 6942.76 4384.8 4500.65 4004.51 3202.04 4194.33 .
96 [*,*,3]:
97   0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=
98   0 . 1851.75 1155.6 2439 4292.1 715.95 4003.2 3335.4 1170.45 3968.14 2973.15
99   1 1829.7 . 2339.1 1476 4494.15 1899.45 3404.7 2874.6 1095.75 3243.15 1181.25
100  2 1125.45 2330.1 . 2768.4 3332.25 580.05 3117.15 2366.55 1930.95 3303 3451.5 -----> Tiempo del recorrido del cliente i
101  3 2442.15 1473.75 2770.2 . 3466.35 2336.85 1931.85 1436.4 2266.6 1777.5 1327.5 al j con la velocidad 3
102  4 4271.85 4501.35 3333.15 3461.85 . 3656.7 2502 2074.5 5038.2 2776.5 4785.75
103  5 712.35 1917 579.6 2355.3 3647.25 . 3510 2759.4 1517.85 3695.85 3038.4
104  6 3993.8 3406.5 3118.5 1936.35 2484.45 3511.8 . 774 4074.75 293.4 3096
105  7 3300.3 2854.8 2361.6 1432.35 2089.35 2754.9 770.85 . 3398.4 956.7 2756.25
106  8 1169.55 1095.75 1970.1 2228.85 5027.85 1530.45 4074.75 3408.3 . 4003.2 2201.4
107  9 3978.49 3228.3 3303.9 1774.35 2762.55 3697.2 294.75 959.4 3997.35 . 2880.45
108 10 2944.8 1181.25 3454.2 1319.85 4773.15 3014.55 3094.2 2753.1 2201.4 2883.6 .
109 ;
110 param C:= 1270.4; -----> Costo por km recorrido vigente
111 param CE:= 0.89; -----> Costo por emisión de CO2 en g vigente
112 param M:= 100000000; -----> Constante
113 param Vel:=
114   1 30 -----> Velocidades en km/h
115   2 55
116   3 80
117 ;
118 param d:
119   0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=
120   0 . 41.15 25.68 54.2 95.38 15.91 88.96 74.12 26.01 88.181 66.07
121   1 40.66 . 51.98 32.8 99.87 42.21 75.66 63.88 24.35 72.07 26.25
122   2 25.01 51.78 . 61.52 74.05 12.89 69.27 52.59 42.91 73.4 76.7
123   3 54.27 32.75 61.56 . 77.03 51.93 42.93 31.92 49.48 39.5 29.5
124   4 94.93 100.03 74.07 76.93 . 81.26 55.6 46.1 111.96 61.7 106.35
125   5 15.83 42.6 12.88 52.34 81.05 . 78 61.32 33.73 82.13 67.52 -----> Distancia entre clientes i y j
126   6 88.751 75.7 69.3 43.03 55.21 78.04 . 17.2 90.55 6.52 68.8
127   7 73.34 63.44 52.48 31.83 46.43 61.22 17.13 . 75.52 21.26 61.25
128   8 25.99 24.35 43.78 49.53 111.73 34.01 90.55 75.74 . 88.96 48.92
129   9 88.411 71.74 73.42 39.43 61.39 82.16 6.55 21.32 88.83 . 64.01
130 10 65.44 26.25 76.76 29.33 106.07 66.99 68.76 61.18 48.92 64.08 .
131 ;

```

### 3. Establecer el tiempo límite

El modelo tiene un tiempo predeterminado de 300 segundos (5 minutos), si el usuario desea modificarlo, puede cambiarlo en la línea 12 del archivo .run, señalada en la siguiente figura:

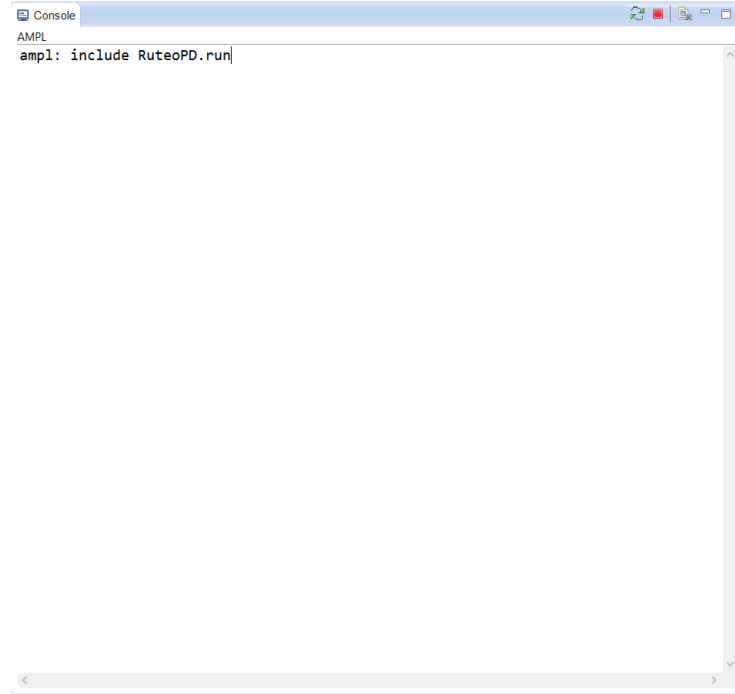
```

1  reset;
2
3  option omit_zero_cols 1;
4  option omit_zero_rows 1;
5  #option display_precision 6;
6  #option display_icol 10000;
7
8  model RuteoPD.mod;
9  data RuteoPD.dat;
10
11 option solver cplex;
12 option cplex_options 'timelimit=300 outlev=1 mipdisplay=3'; -----> Cambiar timelimit por el tiempo de computo deseado
13 #option solver gurobi;
14 #option gurobi_options 'timelim=28800 outlev=1';
15
16 solve;
17
18 #display _nvars, _ncons;
19 display z, U, Y, CapU, X, W, LC, GC;
20
21 display CostDist, TotalEmi, CLE;
22 #display _solve_elapsed_time; #tiempo de cómputo
23 #display solve_result_num, solve_result; #display solve_message;

```

## 2) Ejecución del modelo

Para ejecutar el modelo el usuario debe llamar el archivo .run en la consola como se muestra a continuación:



## 3) Interpretación de resultados

Posterior a la ejecución del modelo se mostrará en la consola el costo total de ruteo, llamado z y otros datos, como se ilustra en la siguiente figura:

```

CPLEX solution status 5 with fixed integers:
    optimal with unscaled infeasibilities
CPLEX 12.10.0.0: optimal integer solution; objective 872199.2763
4760 MIP simplex iterations
43 branch-and-bound nodes
absmipgap = 1.16415e-10, relmipgap = 1.33473e-16
z = 872199 -----> Costo total de ruteo

```

```

CapU [*] :=
1 1950 -----> Vehículo 1 con la cantidad de unidades transportadas
5 3721 -----> Vehículo 2 con la cantidad de unidades transportadas
;

```



```

X :=
0 6 1 1 1
0 8 5 3 1
1 5 5 3 1
2 0 5 1 1
3 10 5 1 1
4 9 1 3 1
5 2 5 1 1
6 4 1 2 1
7 0 1 3 1
8 3 5 1 1
9 7 1 3 1
10 1 5 3 1

```



Nodo origen i

Adicionalmente, las rutas a seguir estarán definidas por X, teniendo en cuenta que el primer valor corresponde al nodo i y el segundo valor al nodo j

Según el ejemplo de la figura, la interpretación sería la siguiente:

Se establecen 2 vehículos con las siguientes rutas

Vehículo	Ruta
1	0 → 6 → 4 → 9 → 7 → 0
2	0 → 8 → 3 → 10 → 1 → 5 → 2 → 0

Por otro lado, para obtener resultados de los costos de recorrido, costos de emisión de CO<sub>2</sub>, emisión de CO<sub>2</sub> en g o distancia total recorrida en km el usuario debe agregar en el archivo .run “display” seguido de la variable que desea visualizar.

Estas variables son las siguientes:

CostDist	Costo de la distancia recorrida
CostTotalEmi	Costo de emisiones de CO <sub>2</sub>
DistTotal	Distancia total recorrida en km
EmiTotal	Emisión total de CO <sub>2</sub> en g
z	Costo total de ruteo