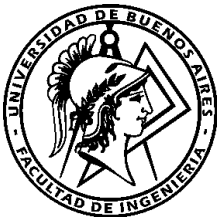


FACULTAD DE INGENIERÍA

7114 Modelos y optimización I

Cuarta Entrega

Informe final

93042, Johana Añez
2do cuatrimestre de 2022

1.Resultado de mi heurística

```
johana@Johanas-MacBook-Pro modelosTp1 % python3 ./main.py -if laundry/cuarto_problema.txt
-of cuarto_problema.txt
Washes quantity:  11
Washes time:  123
Execution time 0.016057252883911133 seconds
```

Algoritmo segunda Entrega

```
for i in range(len(self.laundry.clothes)):
    clothe1 = self.laundry.clothes[i]
    if not is_present_in_any_wash(clothe1.id, washes):
        wash = [clothe1.id]

        for j in range(i + 1, len(self.laundry.clothes)):
            clothe2 = self.laundry.clothes[j]
            if are_compatibles(clothe1.id, clothe2.id, self.laundry.incompatibilities,
                               wash) and not is_present_in_any_wash(clothe2.id, washes):
                wash.append(clothe2.id)

        if len(wash) > 0:
            durations = list(
                map(lambda k: k.duration, list(filter(lambda x: x.id in wash, self.laundry.clothes))))
            max_duration = max(durations)
            washes.append([wash, max_duration])
```

A continuación ejecuté mi algoritmo, el cual constaba de los siguientes pasos

1.Guardar en una lista el tiempo de lavado de cada prenda

2.Guardar en otra colección las incompatibilidades de cada prenda de la siguiente manera numero_de_prenda: [incompatibilidades]
Ejemplo:
{1: [36], 6:[74, 45, 136, 36, 21, 18], …}

3.Ordenar el listado de prendas, con el criterio de mayor duración de lavado.
4. Recorrer el listado de prendas y si esa prenda no está en ningún lavado anterior, creo un nuevo lavado, luego recorro otra vez el listado de lavados y voy agregando prendas primero verificando que sea compatible y que no esté en otro lavado anterior.

5. Una vez que recorrí todos los lavados compatibles con el actual lavado asigno al actual lavado el tiempo que es el máximo de todos los tiempos del lavado actual.

Este algoritmo dió como resultado 11 lavados,y tardó 16 milisegundos en terminar, incluyendo los prints.

Modelo de programación lineal de la tercer entrega

Análisis

Lo resolví como un problema de packing sin solapamiento, con incompatibilidades entre prendas donde se debe determinar qué lavados se realizan. Como es sin solapamiento, cada prenda debe estar en un solo lavado.

Objetivo

Determinar en qué lavado estará cada prenda, la duración de cada lavado para minimizar el tiempo de lavado total en un periodo de tiempo dado.

Constantes

$T_i = tiempo\ de\ lavado\ de\ la\ prenda\ i$

$C_{ik} = 1 \quad si\ la\ prenda\ i\ es\ compatible\ con\ la\ prenda\ k$

Variables

$Y_{ij} = 1 \quad si\ la\ prenda\ i\ se\ lava\ en\ el\ lavado\ j,$

$Y_{ij} = 0 \quad sino$

$X_j = 1 \quad tiempo\ de\ lavado\ del\ lavado\ j$

$W_{ij} = 1 \quad si\ la\ prenda\ i\ es\ la\ de\ mayor\ tiempo\ en\ el\ lavado\ j$

Modelo

El tiempo del lavado j es la de la prenda de mayor tiempo

$$Y_{ij} T_i \leq X_j \leq Y_{ij} + M(1 - W_{ij})$$

$$\sum_{i=1}^{20} W_{ij} = 1 \qquad \forall\, i, j = 1, 2..\ 20$$

Restricciones de incompatibilidades

Si dos prendas son incompatibles no puede ir en el mismo lavado

$$Y_{ij} + Y_{kj} \leq C_{ik} + 1 \quad \forall\, i, j = 1, 2..\ 20$$
$$Y_{ij} + Y_{kj} \leq C_{ki} + 1 \quad \forall\, i, j = 1, 2..\ 20$$

Restricciones de solapamiento

Lavado_k) $\sum_{i=1}^{20} Y_{ij} = 1 \qquad \forall\, i, j = 1, 2..\ 20$

Funcional

$$\min \sum_{i=1}^{20} X_j$$

2.Resultado del ejemplo de provisto .

A continuación están los gráficos del algoritmos propuesto en clase

Como vemos, al algoritmo le cuesta arrancar, y en principio el resultado es bastante malo, dando 171 como el mejor entero y 37 el valor del mejor nodo, luego del minuto de ejecución recién vemos un resultado que se mantiene constante.

Además, la solución propuesta del mejor nodo y la mejor solución entera, difieren bastante.

Mejor nodo: 37

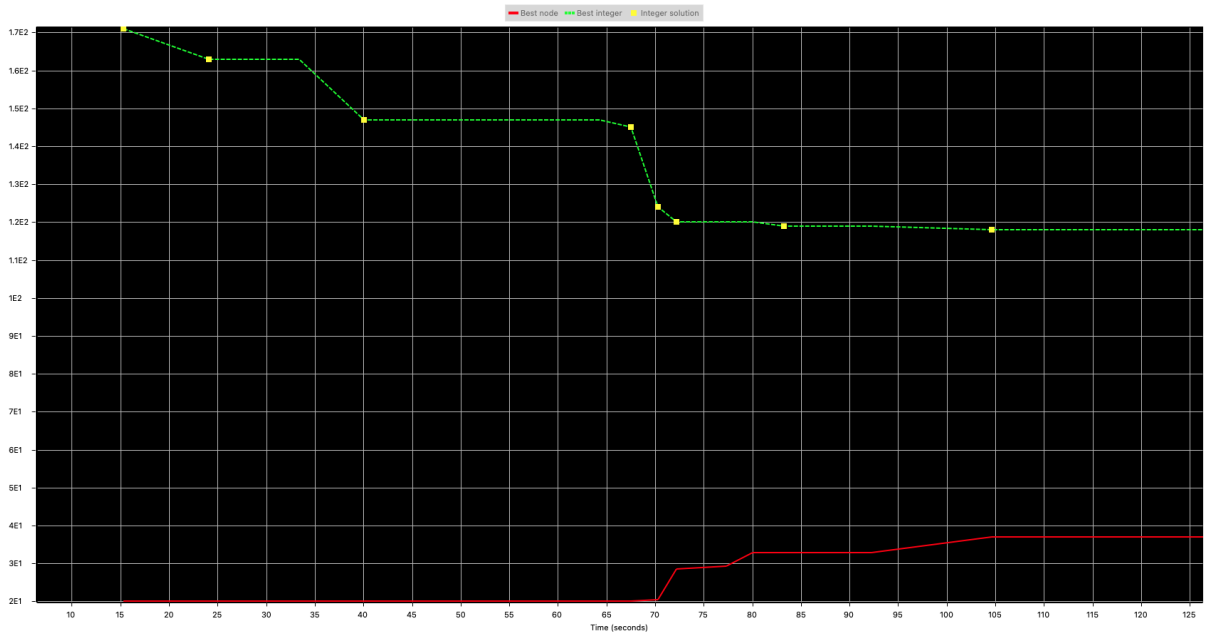
Mejor entero: 118

Luego de dejarlo ejecutándose 10 minutos, puede verse que ambos resultados están más cerca de converger, dando los resultados:

Mejor nodo: 103

Mejor entero: 117

Considero a este valor óptimo, siendo mejor resultado que la heurística propuesta, pero siendo el costo de ejecución muy alto.



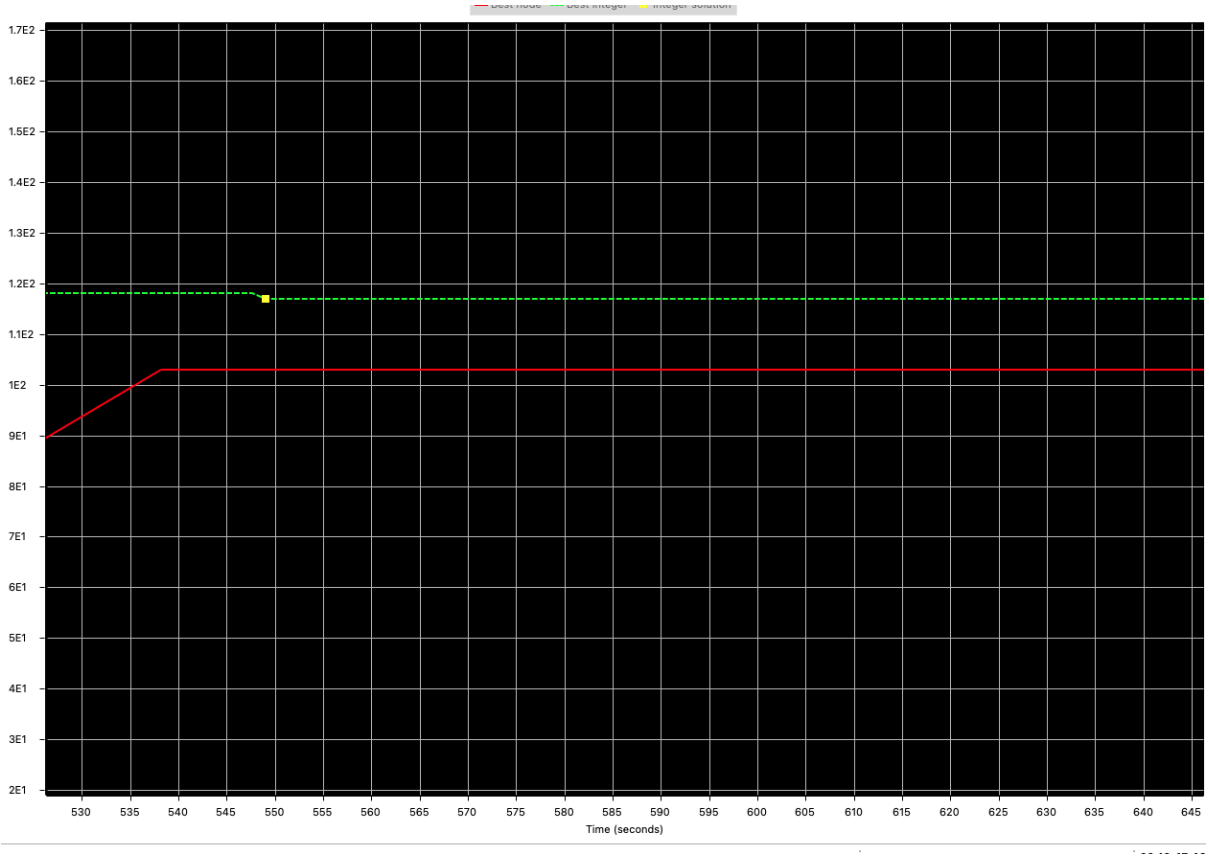

```
Presolve time = 0.78 sec. (253.66 ticks)
Found incumbent of value 2760.000000 after 1.04 sec. (403.01 ticks)
Probing time = 0.09 sec. (13.12 ticks)
Tried aggregator 1 time.
```

```
Detecting symmetries...
Reduced MIP has 34783 rows, 19182 columns, and 121915 nonzeros.
Reduced MIP has 19044 binaries, 138 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.47 sec. (391.75 ticks)
Probing time = 0.07 sec. (12.13 ticks)
Clique table members: 15739.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
MIP search method: dynamic search.
Parallel mode: deterministic, using up to 10 threads.
Root relaxation solution time = 12.54 sec. (475.80 ticks)

        Nodes                                         Cuts/
   Node  Left     Objective  IInf  Best Integer    Best Bound    ItCnt     Gap

*     0+    0                         2760.0000        0.0000           100.00%
*     0+    0                         1467.0000        0.0000           100.00%
*     0+    0                          171.0000        0.0000           100.00%
      0     0       20.0000  4592      171.0000       20.0000       11   88.30%
*     0+    0                          163.0000       20.0000           87.73%
      0     0       20.0000  1722      163.0000       Cuts: 231     7483   87.73%
      0     0       20.0000  2445      163.0000       Cuts: 1531    15635   87.73%
      0     0       20.0000  1930      163.0000       Cuts: 158     20534   87.73%
*     0+    0                          158.0000       20.0000           87.34%
*     0+    0                          157.0000       20.0000           87.26%
*     0+    0                          147.0000       20.0000           86.39%
      0     0  -1.00000e+75     0      147.0000       20.0000         20534   86.39%
      0     0       20.0000  2192      147.0000       Cuts: 1845    26262   86.39%
      0     2       20.0000  1742      147.0000       20.0000       26262   86.39%
Elapsed time = 48.70 sec. (54094.97 ticks, tree = 0.02 MB, solutions = 7)
      1     3       37.0000  1270      147.0000       20.0000       35668   86.39%
      2     3       20.0000  2087      147.0000       20.0000       30045   86.39%
      3     4       46.2868  1169      147.0000       20.0000       42290   86.39%
      4     6       46.2868  1171      147.0000       20.0000       47875   86.39%
      6     8       53.0000  1112      147.0000       20.0000       50937   86.39%
     10    10       52.0000   876      147.0000       20.0000       54281   86.39%
     15    11       57.0000   732      147.0000       20.0000       57381   86.39%
     18    18       57.0000   665      147.0000       20.0000       72621   86.39%
     22    20       70.0000   533      147.0000       20.0000       81878   86.39%
     26    23       52.0000   570      147.0000       20.0000      100567   86.39%
Elapsed time = 55.54 sec. (61718.57 ticks, tree = 0.65 MB, solutions = 7)
     33    28       67.9387   561      147.0000       20.0000      111660   86.39%
     42    42       78.0000   385      147.0000       20.0000      167128   86.39%
     51    42       70.0000   512      147.0000       20.0000      177047   86.39%
     61    53       70.0000   486      147.0000       20.0000      223329   86.39%
     73    62       97.0000   598      147.0000       20.0000      240858   86.39%
     93    81      106.2411   360      147.0000       20.0000      307710   86.39%
    117   106       65.0000   818      147.0000       20.0000      413360   86.39%
    149   135      123.0000   129          147.0000       20.0000      451598   86.39%
*   176+  152                          146.0000       20.0000           86.30%
*   193+  169                          145.0000       20.0000           86.21%
    198   137       84.0491   552      145.0000       20.4583      478565   85.89%
*   217+  186                          144.0000       20.4583           85.79%
*   225+  185                          141.0000       20.4583           85.49%
*   241+  224                          140.0000       20.4583           85.39%
    241   174       96.0000   391      140.0000       20.4583      511355   85.39%
Elapsed time = 65.72 sec. (71810.72 ticks, tree = 3.95 MB, solutions = 11)
*   263+  236                          139.0000       20.4583           85.28%
*   302+  276                          138.0000       20.4583           85.18%
    305   240      101.0000   388          138.0000       28.5000      630515   79.35%
```

```
*  307+  276                      137.0000        28.5000          79.20%
*  320+  288                      132.0000        28.5000          78.41%
*  335+  268                      128.0000        28.5000          77.73%
*  349+  259                      127.0000        28.5000          77.56%
*  361   262     integral 0       124.0000        28.5000   671560   77.02%
         376   233        50.0000  1145   124.0000        28.5000   624030   77.02%
         461   298       112.0000   127  124.0000        28.5000   722535   77.02%
*  467+  299                      123.0000        28.5000          76.83%
*  509+  305                      122.0000        28.5000          76.64%
*  511+  301                      121.0000        28.5000          76.45%
*  518   336     integral 0       120.0000        28.5000   770556   76.25%
         527   294        84.0000   657   120.0000        28.5000   774736   76.25%
         553   298        84.0000   752   120.0000        28.5000   782141   76.25%
         582   344        94.0000   500   120.0000        28.5000   861841   76.25%
         608   348       111.0000   251   120.0000        28.5000   856713   76.25%
         641   353        65.1439  1033   120.0000        29.2868   904746   75.59%
         662   377        69.0000   965   120.0000        29.2868   958239   75.59%
         699   433        50.0000   901   120.0000        32.8621  1087487   72.61%
Elapsed time = 75.91 sec. (81610.38 ticks, tree = 5.25 MB, solutions = 27)
         721   452        97.0000   520   120.0000        32.8621  1117544   72.61%
         745   460        77.0000   405   120.0000        32.8621  1136059   72.61%
*  779+  466                      119.0000        32.8621          72.38%
         787   482        70.9836   756   119.0000        32.8621  1177825   72.38%
         824   507        56.0000  1070   119.0000        32.8621  1255674   72.38%
         848   519       104.0000   320          119.0000        32.8621  1329362   72.38%
         868   577       112.0000   129   119.0000        32.8621  1434551   72.38%
         930   583        63.1470   848   119.0000        32.8621  1465316   72.38%
         941   562        56.0000   964   119.0000        32.8621  1423637   72.38%
         956   604       101.0000   764          119.0000        32.8621  1538948   72.38%
         977   608       117.0000   208   119.0000        32.8621  1547006   72.38%
Elapsed time = 87.95 sec. (91844.69 ticks, tree = 7.80 MB, solutions = 28)
  1001   655     37.0000  1085   119.0000        32.8621  1625403   72.38%
  1014   668     76.9695   682   119.0000        32.8621  1663612   72.38%
  1030   675     71.7204   579   119.0000        32.8621  1696590   72.38%
  1052   701    102.0000   617          119.0000        32.8621  1765584   72.38%
  1070   708     89.0000   681   119.0000        32.8621  1792569   72.38%
  1097   744    118.0000   153   119.0000        32.8621  1886200   72.38%
*  1112+  745                     118.0000        32.8621          72.15%
  1125   744     85.0000   747   118.0000        32.8621  1915548   72.15%
  1147   749     85.0000   530   118.0000        32.8621  1923341   72.15%
  1165   751     94.8849   456   118.0000        32.8621  1931697   72.15%
  1184   776    113.0000   298   118.0000        32.8621  1991979   72.15%
Elapsed time = 98.89 sec. (101725.48 ticks, tree = 9.29 MB, solutions = 29)
  1206   788    109.0000   385          118.0000        32.8621  2063242   72.15%
  1234   802    113.0000   128   118.0000        32.8621  2085874   72.15%
  1247   805     46.2868  1053   118.0000        32.8621  2125422   72.15%
  1258   714     57.0000   625   118.0000        37.0000  1827765   68.64%
  1274   878     59.9816   770   118.0000        37.0000  2319287   68.64%
  1283   897     59.0000   869   118.0000        37.0000  2388806   68.64%
  1297   908     58.4625   711   118.0000        37.0000  2436341   68.64%
  1310   882     62.9321   897   118.0000        37.0000  2338629   68.64%
  1322   901     63.3333   799   118.0000        37.0000  2401662   68.64%
  1331   941     72.0000   746   118.0000        37.0000  2561681   68.64%
Elapsed time = 110.87 sec. (112081.86 ticks, tree = 12.65 MB, solutions = 29)
  1347   960     72.0395   883   118.0000        37.0000  2622888   68.64%
  1376   956     49.7436  1222   118.0000        37.0000  2610825   68.64%
  1406   948     95.0000   681   118.0000        37.0000  2578845   68.64%
  1436   989     70.0000   653   118.0000        37.0000  2709050   68.64%
  1458  1023     50.0000   919   118.0000        37.0000  2807171   68.64%
```

```
  1474   993     75.6839   796   118.0000          37.0000  2720334   68.64%
  1489  1026     54.4196   823   118.0000          37.0000  2819334   68.64%
  1518  1091     98.6296   612   118.0000          37.0000  2985290   68.64%
  1545  1112     77.9752   629   118.0000          37.0000  3043884   68.64%
  1568  1053     46.2868  1177   118.0000          37.0000  2884378   68.64%
Elapsed time = 121.37 sec. (121815.20 ticks, tree = 13.94 MB, solutions = 29)
  1598  1089    115.0000   500   118.0000          37.0000  2979247   68.64%
  1634  1032     63.4196   896   118.0000          37.0000  2836044   68.64%
  1656  1128     83.0000   653   118.0000          37.0000  3115024   68.64%
  1672  1175     90.4444   443   118.0000          37.0000  3240548   68.64%
  1687  1163     46.2868   902   118.0000          37.0000  3202411   68.64%
  1702  1183    102.5263   455          118.0000          37.0000  3254633   68.64%
  1718  1187    109.3684   466          118.0000          37.0000  3260933   68.64%
  1736  1198     57.0000   964   118.0000          37.0000  3306433   68.64%
  1751  1259     76.0000   766   118.0000          37.0000  3459872   68.64%
  1765  1304     57.0000   817   118.0000          37.0000  3609275   68.64%
```

Luego de 10 minutos



Engine log

```
Repeating presolve.
Tried aggregator 1 time.
MIP Presolve eliminated 1034 rows and 0 columns.
Reduced MIP has 32641 rows, 18630 columns, and 160840 nonzeros.
Reduced MIP has 18492 binaries, 138 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.37 sec. (191.43 ticks)
Tried aggregator 1 time.
Reduced MIP has 32641 rows, 18630 columns, and 160840 nonzeros.
Reduced MIP has 18492 binaries, 138 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
```

```
Presolve time = 0.37 sec. (168.56 ticks)
Represolve time = 0.96 sec. (489.26 ticks)
   8214  0        103.0000   438          118.0000        Cuts: 282 14571777   12.71%
   8214  0        103.0000   522          118.0000        Cuts: 525 14575883   12.71%
   8214  0        103.0000   340          118.0000        Cuts: 64 14578299   12.71%
   8214  0        103.0000   394          118.0000        Cuts: 485 14581850   12.71%
   8214  0        103.0000   330          118.0000        Cuts: 65 14584270   12.71%
   8214  0        103.0000   444          118.0000        Cuts: 546 14587397   12.71%
   8214  0        103.0000   224          118.0000        Cuts: 45 14588791   12.71%
   8214  0        103.0000   350          118.0000        Cuts: 472 14591729   12.71%
   8214  0        103.0000   300          118.0000        Cuts: 32 14594665   12.71%
   8214  0        103.0000   367          118.0000        Cuts: 508 14597621   12.71%
   8214  0        103.0000   298          118.0000        Cuts: 222 14600855   12.71%
   8214  0        103.0000   369          118.0000        Cuts: 460 14604789   12.71%
   8214  2        103.0000   152          118.0000        103.0000 14604789   12.71%
   8246  18       103.0000   216          118.0000        103.0000 14632653   12.71%
   8380   116     104.0000   275          118.0000        103.0000 14728332   12.71%
*  8712   390     integral 0         117.0000        103.0000 14931302   11.97%
   8829   397     103.0000   305          117.0000        103.0000 14938521   11.97%
   9358   878     106.2500   245          117.0000        103.0000 15234762   11.97%
Elapsed time = 552.17 sec. (576557.59 ticks, tree = 8.86 MB, solutions = 30)
  10114  1369    114.0000          78    117.0000        103.0000 15470098   11.97%
  10595  1694    104.0000   348          117.0000        103.0000 15588806   11.97%
  11285  2384    105.0000   370          117.0000        103.0000 15818875   11.97%
  12310  3363    107.0000   260          117.0000        103.0000 15987259   11.97%
  12864  3852    105.0000   369          117.0000        103.0000 16182725   11.97%
  13638  4621    106.0000   245          117.0000        103.0000 16351777   11.97%
  14484  5361    106.0000   267          117.0000        103.0000 16529704   11.97%
  15187  6048    108.0000   169          117.0000        103.0000 16721816   11.97%
  15975  6757    107.0000   388          117.0000        103.0000 16911273   11.97%
  16615  7375    112.0000          62    117.0000        103.0000 17132788   11.97%
Elapsed time = 587.64 sec. (614743.56 ticks, tree = 81.44 MB, solutions = 30)
  17352  8112    104.0000   229          117.0000        103.0000 17369010   11.97%
  18320  8815    107.0000   202          117.0000        103.0000 17535304   11.97%
  19190  9731    108.0000   228          117.0000        103.0000 17733709   11.97%
  19987 10629    106.0000   316          117.0000        103.0000 17956023   11.97%
  20764 11277    114.0000          91    117.0000        103.0000 18107943   11.97%
  21655 12413    104.0000   293          117.0000        103.0000 18325903   11.97%
  22365 12950    infeasible         117.0000        103.0000 18484380   11.97%
  23293 13888    106.0000   295          117.0000        103.0000 18685856   11.97%
  24006 14689    105.0000   268          117.0000        103.0000 18891404   11.97%
  24661 15011    107.0000   332          117.0000        103.0000 18978411   11.97%
Elapsed time = 622.43 sec. (652948.94 ticks, tree = 164.50 MB, solutions = 30)
  25379 15998    107.0000   294          117.0000        103.0000 19253830   11.97%
  26072 16538    106.0000   228          117.0000        103.0000 19410258   11.97%
  26941 17164    116.0000   143  117.0000        103.0000 19622007   11.97%
  27701 17868    105.0000   237          117.0000        103.0000 19845630   11.97%
  28284 18487    105.0000   278          117.0000        103.0000 20037565   11.97%
  28737 18777    107.0000   140          117.0000        103.0000 20103672   11.97%
  29405 19350    106.0000   308          117.0000        103.0000 20275042   11.97%
  30428 20050    106.0000   285          117.0000        103.0000 20427173   11.97%
  31478 20897    108.0000   137          117.0000        103.0000 20566406   11.97%
  32338 22249    108.0000   363          117.0000        103.0000 20817979   11.97%
Elapsed time = 655.36 sec. (691138.09 ticks, tree = 244.60 MB, solutions = 30)
  33069 23037    107.0000   218          117.0000        103.0000 21021054   11.97%
  33925 23508    106.0000   329          117.0000        103.0000 21156051   11.97%
  34757 24729    105.0000   351          117.0000        103.0000 21461708   11.97%
  35547 25386    106.0000   345          117.0000        103.0000 21641253   11.97%
  36257 26004    106.0000   256          117.0000        103.0000 21798598   11.97%
```

```
  36997 26752   116.0000   111  117.0000          103.0000 21995939   11.97%
  37744 27555   116.0000        26        117.0000          103.0000 22299741   11.97%
  38451 28315   106.0000   318           117.0000          103.0000 22508180   11.97%
  39495 29155   104.0000   299           117.0000          103.0000 22694960   11.97%
  40523 30287   116.0000        48        117.0000          103.0000 22855993   11.97%
Elapsed time = 689.22 sec. (729332.52 ticks, tree = 332.67 MB, solutions = 30)
  41437 30623   104.0000   255           117.0000          103.0000 22924601   11.97%
  42295 31842   116.0000        61        117.0000          103.0000 23152481   11.97%
  42954 32555   105.0000   336           117.0000          103.0000 23308349   11.97%
  43762 33125   105.0000   279           117.0000          103.0000 23470935   11.97%
  44449 34143   107.0000   256           117.0000          103.0000 23736833   11.97%
  45260 34534   112.0000   125  117.0000          103.0000 23824652   11.97%
  45770 34927   114.0000        65        117.0000          103.0000 23980160   11.97%
  46210 36105   110.0000   142  117.0000          103.0000 24384274   11.97%
  46463 36325   106.2500   253           117.0000          103.0000 24534140   11.97%
  46711 36532              cutoff         117.0000          103.0000 24681710   11.97%
Elapsed time = 729.35 sec. (767617.80 ticks, tree = 405.29 MB, solutions = 30)
  46815 36702   105.0000   477           117.0000          103.0000 24801537   11.97%
  47035 36840   106.0000   312           117.0000          103.0000 24988908   11.97%
  47261 37082   107.0000   215           117.0000          103.0000 25161761   11.97%
  47554 37268   116.0000        95        117.0000          103.0000 25183907   11.97%
  47964 37242   108.0000   214           117.0000          103.0000 25297785   11.97%
  48401 37586   108.2922   137           117.0000          103.0000 25432266   11.97%
  48894 38259   105.0000   362           117.0000          103.0000 25778982   11.97%
  49290 38544   116.0000   151  117.0000          103.0000 25878851   11.97%
  49546 39136   105.0000   243           117.0000          103.0000 26166620   11.97%
  49748 39362   108.0000   173           117.0000          103.0000 26295374   11.97%
Elapsed time = 774.31 sec. (805923.90 ticks, tree = 437.48 MB, solutions = 30)
  50016 39557   104.0000   427           117.0000          103.0000 26398735   11.97%
  50226 39737   109.7554   160           117.0000          103.0000 26515482   11.97%
  50558 40033   106.0000   305           117.0000          103.0000 26668294   11.97%
  50690 40168   105.2500   241           117.0000          103.0000 26841315   11.97%
  50783 40167   106.0000   278           117.0000          103.0000 26773679   11.97%
  50939 40628   104.0000   335           117.0000          103.0000 27133341   11.97%
  51295 40689   105.0000   285           117.0000          103.0000 27251793   11.97%
  51472 41079   107.0000   263           117.0000          103.0000 27449011   11.97%
  51624 41084   105.0000   588           117.0000          103.0000 27532003   11.97%
  51789 41536   105.1667   267           117.0000          103.0000 27783820   11.97%
Elapsed time = 822.76 sec. (844240.47 ticks, tree = 461.52 MB, solutions = 30)
  52191 41562   105.0000   415           117.0000          103.0000 27868349   11.97%
  52790 42131   107.0000   290           117.0000          103.0000 28205637   11.97%
  53267 42159   106.0000   284           117.0000          103.0000 28188328   11.97%
  53826 42532   115.0000   169  117.0000          103.0000 28350740   11.97%
  54109 42914   106.0000   336           117.0000          103.0000 28525762   11.97%
  54525 44086   108.0000   234           117.0000          103.0000 28993591   11.97%
  54748 44066   104.0000   365           117.0000          103.0000 29113708   11.97%
  55016 44141   107.0000   313           117.0000          103.0000 29166217   11.97%
  55307 44908   106.0000   306           117.0000          103.0000 29625486   11.97%
  55954 45129   109.0000   260           117.0000          103.0000 29837078   11.97%
Elapsed time = 866.87 sec. (882464.21 ticks, tree = 499.93 MB, solutions = 30)
  56385 45609   105.0000   301           117.0000          103.0000 30089249   11.97%
```

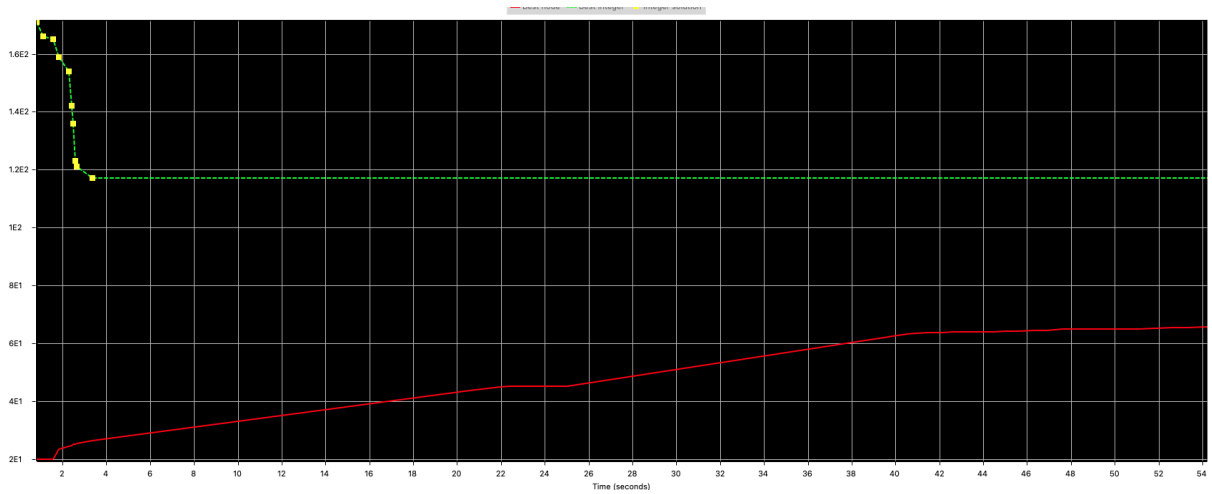
3.Resultado con cota de 15 lavados

Como puede verse en el gráfico, el óptimo del mejor entero vuelve a dar 117 pero esta vez tarda solo 6 segundos en arrojar dicho resultado. En este caso los resultados del mejor entero y el mejor nodo difieren bastante, pero luego de 8 minutos de ejecución empiezan a parecerse un poco más.

Dejé este modelo corriendo por 10 minutos y el resultados fue el siguiente:

Óptimo del mejor entero: 117

Óptimo del mejor nodo: 107



Engine log

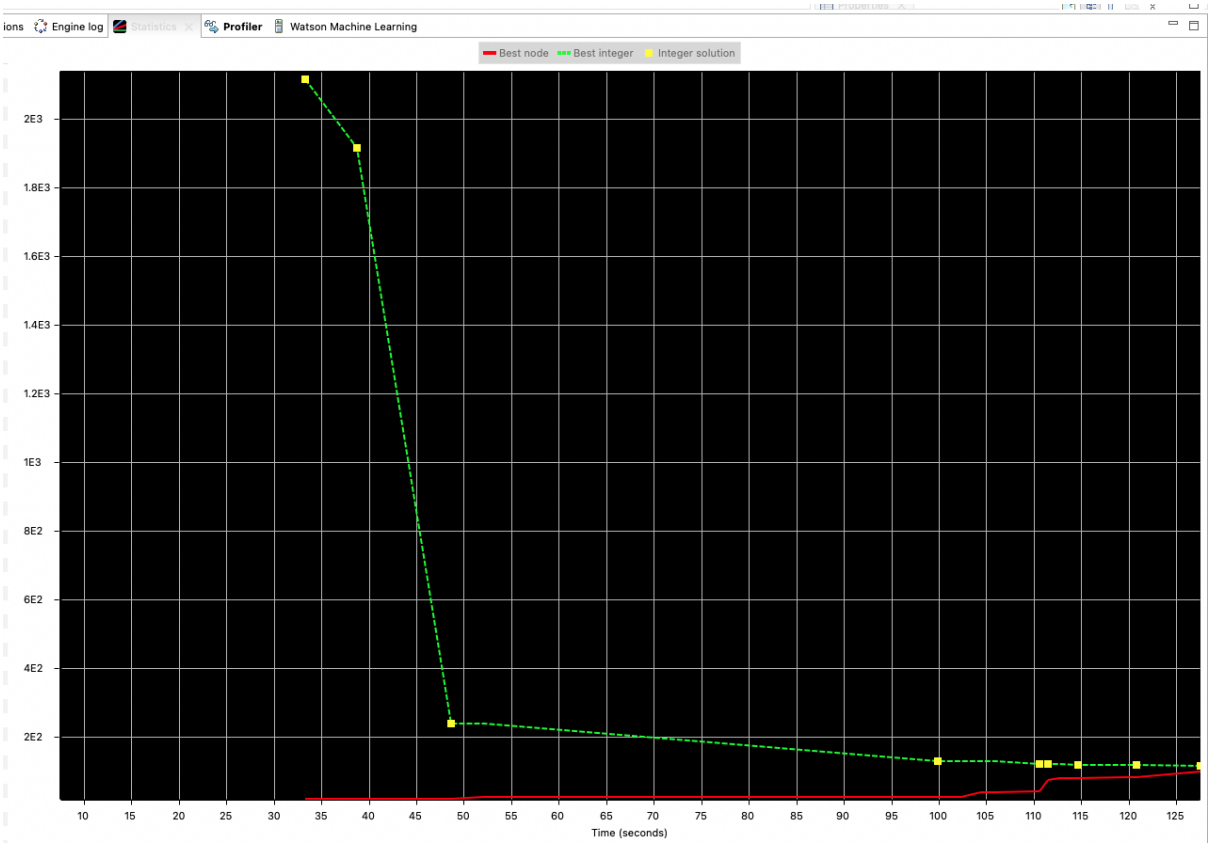
```
Nodes                                    Cuts/
   Node  Left     Objective  IInf  Best Integer       Best Bound       ItCnt     Gap

*     0+    0                          300.0000        0.0000           100.00%
*     0+    0                          171.0000        0.0000           100.00%
      0     0       20.0000  1121   171.0000       20.0000             1890   88.30%
*     0+    0                          166.0000       20.0000           87.95%
      0     0       20.0000  1159   166.0000       Cuts: 466           3357   87.95%
*     0+    0                          165.0000       20.0000           87.88%
      0     0       22.0141  1127   165.0000       Cuts: 458           6293   86.66%
      0     0       23.3838   985   165.0000       Cuts: 953           8732   85.83%
*     0+    0                          162.0000       23.3838           85.57%
*     0+    0                          159.0000       23.3838           85.29%
      0     0  -1.00000e+75           0              159.0000        23.3838   8732   85.29%
      0     0       24.3540   985   159.0000       Cuts: 721           12041  84.68%
*     0+    0                          154.0000       24.3540           84.19%
      0     0       24.6360  1024   154.0000       Cuts: 665           14458  84.00%
*     0+    0                          142.0000       24.6360           82.65%
```

```
      0      0        25.0032   945    142.0000        Cuts: 638      16119   82.39%
*     0+     0                 140.0000        25.0032          82.14%
*     0+     0                 137.0000        25.0032          81.75%
*     0+     0                 136.0000        25.0032          81.62%
      0      0  -1.00000e+75          0        136.0000         25.0032          16119   81.62%
*     0+     0                 123.0000        25.0032          79.67%
      0      0        25.3096   920    123.0000        Cuts: 594      17258   79.42%
*     0+     0                 121.0000        25.3096          79.08%
      0      0        25.4147   920    121.0000        Cuts: 564      17921   79.00%
      0      0        25.5056  1010    121.0000        Cuts: 588      18627   78.92%
      0      0        25.7654  1020    121.0000        Cuts: 509      19332   78.71%
      0      0        25.8203   994    121.0000        Cuts: 511      19831   78.66%
      0      0        25.9107  1021    121.0000        Cuts: 427      20481   78.59%
      0      0        26.0278   963    121.0000        Cuts: 430      20995   78.49%
      0      0        26.0662   981    121.0000        Cuts: 453      21393   78.46%
      0      0        26.1137   980    121.0000        Cuts: 339      21736   78.42%
      0      0        26.1498   967    121.0000        Cuts: 243      22026   78.39%
      0      0        26.1828  1082    121.0000        Cuts: 229      22376   78.36%
      0      0        26.2048   964    121.0000        Cuts: 414      22897   78.34%
      0      0        26.2160   983    121.0000        Cuts: 395      23354   78.33%
*     0+     0                 117.0000        26.2160          77.59%
      0      0        26.2272  1073    117.0000        Cuts: 295      23705   77.58%
      0      0        26.2650  1029    117.0000        Cuts: 275      24035   77.55%
      0      0        26.2840  1016    117.0000        Cuts: 369      24486   77.54%
      0      0        26.3035  1067    117.0000        Cuts: 235      24787   77.52%
      0      0        26.3188  1019    117.0000        Cuts: 304      25076   77.51%
      0      0        26.3481   933    117.0000        Cuts: 312      25528   77.48%
      0      0        26.3549  1059    117.0000        Cuts: 310      25807   77.47%
      0      2        26.3549   999    117.0000        26.9502        25807   76.97%
Elapsed time = 3.98 sec. (5603.28 ticks, tree = 0.02 MB, solutions = 14)
      3      4        27.2210   935    117.0000        26.9502        27372   76.97%
     26     19        64.0000   553    117.0000        27.2234        37550   76.73%
     61     39        77.0000   419    117.0000        39.0000        46163   66.67%
    116    104        88.0000   420    117.0000        39.0000        68709   66.67%
    195    142        89.4170   325    117.0000        39.0000        79030   66.67%
    311    243        88.7085   292    117.0000        39.0000        94488   66.67%
    483    363        101.0000  283           117.0000        39.0000   111583   66.67%
    605    446        54.5508   571    117.0000        39.0000   130578   66.67%
    634    324        42.2233   604    117.0000        39.0000   111655   66.67%
    792    620        45.7240   617    117.0000        39.0000   194568   66.67%
Elapsed time = 6.19 sec. (8875.45 ticks, tree = 8.77 MB, solutions = 14)
   1051    798     48.5765   698    117.0000        39.0000   252702   66.67%
   1257   1015     53.0446   701    117.0000        39.0000   308787   66.67%
   1509   1131     65.0000   672    117.0000        39.0000   358006   66.67%
   1825   1443     44.1097   700    117.0000        39.0000   443045   66.67%
   2016   1643     64.0000   479    117.0000        39.0000   533823   66.67%
   2354   1913     112.0000   123   117.0000        39.0000   605535   66.67%
   2812   2125     101.0000   314          117.0000        39.0000   652143   66.67%
   3330   2649     65.0000   509    117.0000        40.9792   733522   64.98%
   3636   2932     77.0000   403    117.0000        42.0000   789041   64.10%
```

4. Resultado con simetrías

Como vemos, en este caso el resultado del mejor nodo y el mejor entero converge

rápidamente a 117, y solo le tomó 127 segundos, en ese momento el programa terminó de correr y no cambió el output generado.



Scripting log

```
solution: 117 /size: 138 /time: 1669997271.607266903
Nodo 1: 2
Nodo 2: 1
Nodo 3: 1
Nodo 4: 2
Nodo 5: 1
Nodo 6: 1
Nodo 7: 4
Nodo 8: 1
Nodo 9: 1
Nodo 10: 2
Nodo 11: 2
Nodo 12: 2
Nodo 13: 1
Nodo 14: 1
Nodo 15: 1
Nodo 16: 1
Nodo 17: 1
```

Nodo 18: 3
Nodo 19: 1
Nodo 20: 9
Nodo 21: 4
Nodo 22: 3
Nodo 23: 1
Nodo 24: 4
Nodo 25: 1
Nodo 26: 5
Nodo 27: 2
Nodo 28: 2
Nodo 29: 2
Nodo 30: 1
Nodo 31: 7
Nodo 32: 5
Nodo 33: 6
Nodo 34: 1
Nodo 35: 4
Nodo 36: 8
Nodo 37: 3
Nodo 38: 3
Nodo 39: 2
Nodo 40: 4
Nodo 41: 2
Nodo 42: 2
Nodo 43: 1
Nodo 44: 1
Nodo 45: 9
Nodo 46: 2
Nodo 47: 1
Nodo 48: 2
Nodo 49: 2
Nodo 50: 2
Nodo 51: 1
Nodo 52: 1
Nodo 53: 4
Nodo 54: 8
Nodo 55: 2
Nodo 56: 3
Nodo 57: 4
Nodo 58: 3
Nodo 59: 1
Nodo 60: 4
Nodo 61: 3
Nodo 62: 2
Nodo 63: 1
Nodo 64: 1
Nodo 65: 3
Nodo 66: 2

Nodo 67: 2
Nodo 68: 1
Nodo 69: 2
Nodo 70: 6
Nodo 71: 1
Nodo 72: 7
Nodo 73: 2
Nodo 74: 11
Nodo 75: 1
Nodo 76: 2
Nodo 77: 1
Nodo 78: 8
Nodo 79: 1
Nodo 80: 5
Nodo 81: 10
Nodo 82: 1
Nodo 83: 6
Nodo 84: 2
Nodo 85: 1
Nodo 86: 1
Nodo 87: 1
Nodo 88: 2
Nodo 89: 4
Nodo 90: 2
Nodo 91: 1
Nodo 92: 5
Nodo 93: 1
Nodo 94: 2
Nodo 95: 4
Nodo 96: 1
Nodo 97: 2
Nodo 98: 1
Nodo 99: 6
Nodo 100: 5
Nodo 101: 3
Nodo 102: 1
Nodo 103: 2
Nodo 104: 1
Nodo 105: 1
Nodo 106: 2
Nodo 107: 1
Nodo 108: 6
Nodo 109: 2
Nodo 110: 2
Nodo 111: 2
Nodo 112: 1
Nodo 113: 2
Nodo 114: 1
Nodo 115: 3

```
Nodo 116: 9
Nodo 117: 1
Nodo 118: 2
Nodo 119: 1
Nodo 120: 2
Nodo 121: 2
Nodo 122: 3
Nodo 123: 10
Nodo 124: 2
Nodo 125: 1
Nodo 126: 6
Nodo 127: 1
Nodo 128: 2
Nodo 129: 1
Nodo 130: 6
Nodo 131: 4
Nodo 132: 2
Nodo 133: 3
Nodo 134: 3
Nodo 135: 7
Nodo 136: 2
Nodo 137: 1
Nodo 138: 5
```

Engine log

```
Version identifier: 22.1.0.0 | 2022-03-09 | 1a383f8ce
Legacy callback                             pi
Tried aggregator 1 time.
MIP Presolve eliminated 120489 rows and 0 columns.
MIP Presolve modified 11991 coefficients.
Reduced MIP has 34898 rows, 19182 columns, and 122062 nonzeros.
Reduced MIP has 19044 binaries, 138 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.81 sec. (253.34 ticks)
Found incumbent of value 2760.000000 after 1.07 sec. (465.00 ticks)
Probing time = 0.07 sec. (13.12 ticks)
Tried aggregator 1 time.
Detecting symmetries...
Reduced MIP has 34898 rows, 19182 columns, and 122062 nonzeros.
Reduced MIP has 19044 binaries, 138 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.27 sec. (144.06 ticks)
Probing time = 0.07 sec. (12.15 ticks)
Clique table members: 15717.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
MIP search method: dynamic search.
Parallel mode: deterministic, using up to 10 threads.
Root relaxation solution time = 30.68 sec. (1091.18 ticks)
```

```
      Nodes                                         Cuts/
   Node  Left     Objective  IInf  Best Integer    Best Bound    ItCnt     Gap

*     0+    0                         2760.0000        0.0000           100.00%
*     0+    0                         2631.0000        0.0000           100.00%
*     0+    0                         2442.0000        0.0000           100.00%
*     0+    0                         2298.0000        0.0000           100.00%
*     0+    0                         2201.0000        0.0000           100.00%
*     0+    0                         2126.0000        0.0000           100.00%
*     0+    0                         2116.0000        0.0000           100.00%
      0     0       20.0000 10405  2116.0000       20.0000          12   99.05%
*     0+    0                         2008.0000       20.0000           99.00%
*     0+    0                         1917.0000       20.0000           98.96%
      0     0       20.9262 10063  1917.0000       Cuts: 1839       2335   98.91%
*     0+    0                          240.0000       20.9262           91.28%
      0     0       25.0994  8732   240.0000       Cuts: 1328      24746   89.54%
*     0+    0                          196.0000       25.0994           87.19%
*     0+    0                          192.0000       25.0994           86.93%
*     0+    0                          159.0000       25.0994           84.21%
*     0+    0                          147.0000       25.0994           82.93%
*     0+    0                          138.0000       25.0994           81.81%
*     0+    0                          135.0000       25.0994           81.41%
*     0+    0                          129.0000       25.0994           80.54%
      0     0  -1.00000e+75           0          129.0000       25.0994          34079   80.54%

Repeating presolve.
Tried aggregator 1 time.
MIP Presolve eliminated 11998 rows and 6638 columns.
MIP Presolve modified 1907 coefficients.
Reduced MIP has 22900 rows, 12544 columns, and 76153 nonzeros.
Reduced MIP has 12406 binaries, 138 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.19 sec. (89.08 ticks)
Probing time = 0.07 sec. (21.67 ticks)
Tried aggregator 1 time.
Detecting symmetries...
Reduced MIP has 22900 rows, 12544 columns, and 76153 nonzeros.
Reduced MIP has 12406 binaries, 138 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.18 sec. (82.21 ticks)
Represolve time = 0.73 sec. (393.99 ticks)
Probing time = 0.07 sec. (21.64 ticks)
Clique table members: 10360.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
MIP search method: dynamic search.
Parallel mode: deterministic, using up to 10 threads.
Root relaxation solution time = 41.10 sec. (875.07 ticks)

      Nodes                                         Cuts/
   Node  Left     Objective  IInf  Best Integer    Best Bound    ItCnt     Gap

*     0+    0                          129.0000       25.0994           80.54%
      0     0       25.6928   700   129.0000       25.6928          34120   80.08%
      0     0       34.5847  1353   129.0000       Cuts: 522        43477   73.19%
      0     0       40.5952  2152   129.0000       Cuts: 267        50725   68.53%
      0     0       40.9558   860   129.0000       Cuts: 300        55057   68.25%
*     0+    0                          126.0000       40.9558           67.50%
*     0+    0                          125.0000       40.9558           67.24%
*     0+    0                          123.0000       40.9558           66.70%
*     0+    0                          122.0000       40.9558           66.43%
      0     0  -1.00000e+75           0          122.0000       40.9558          55057   66.43%
```

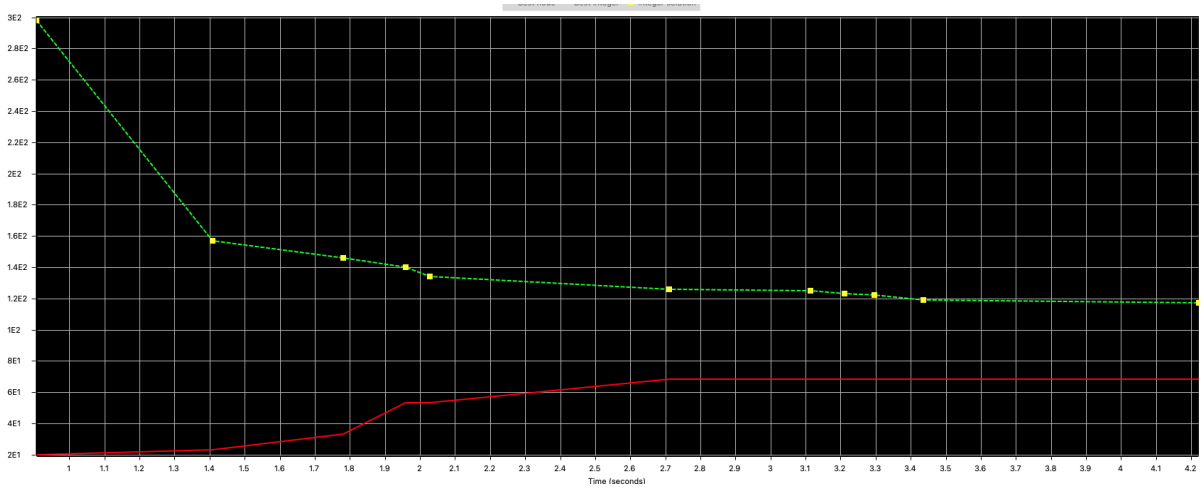
```
        0        0        43.0873   830    122.0000        Cuts: 289        57049   41.16%
*       0+       0                 121.0000        71.7885          40.67%
        0        0        43.3289   851    121.0000        Cuts: 202        59296   37.57%
        0        0        43.3400   704    121.0000        Cuts: 75         59700   37.57%
        0        0        43.3400   721    121.0000        Cuts: 137        60068   37.57%
Detecting symmetries...
        0        2        43.3789   597    121.0000        80.2480          60128   33.68%
Elapsed time = 111.95 sec. (58937.14 ticks, tree = 0.02 MB, solutions = 22)
        3        4        116.8333   164   121.0000        80.2480          61746   33.68%
        46       12       117.4705   155   121.0000        80.2480          67823   33.68%
        100      43       83.5501   316    121.0000        80.2480          79964   33.68%
        230   107         110.3955   308   121.0000        80.2480          94503   33.68%
        365   162         92.0261   266    121.0000        80.2480   106492   33.68%
        488   253         116.5026   136   121.0000        80.2480   125533   33.68%
        559   325         110.0862   320   121.0000        80.2480   137968   33.68%
        727   369         115.6044   114   121.0000        80.2480   144426   33.68%
*   896+  501                       119.0000        80.2480          32.56%
        907   519         104.7734   245           119.0000        80.2480   161253   32.56%
  1707  1105     95.0021   210    119.0000        80.2480   204188   32.56%
Elapsed time = 114.37 sec. (62095.79 ticks, tree = 7.28 MB, solutions = 23)
  2172  1372     99.1231   237    119.0000        80.2480   251788   32.56%
  2898  1821     99.2143   199    119.0000        81.0490   305782   31.89%
  3612  2233     91.2438   216    119.0000        83.7754   342395   29.60%

Performing restart 1

Repeating presolve.
Tried aggregator 4 times.
MIP Presolve eliminated 18497 rows and 9873 columns.
MIP Presolve modified 206 coefficients.
Aggregator did 12 substitutions.
Reduced MIP has 4391 rows, 2659 columns, and 13753 nonzeros.
Reduced MIP has 2540 binaries, 119 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.04 sec. (33.37 ticks)
Tried aggregator 1 time.
Reduced MIP has 4391 rows, 2659 columns, and 13753 nonzeros.
Reduced MIP has 2541 binaries, 118 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.03 sec. (12.83 ticks)
Represolve time = 0.20 sec. (318.50 ticks)
  3614  0        47.8157   754    119.0000        Cuts: 519   359217   29.60%
  3614  0        48.1922   697    119.0000        Cuts: 571   359869   29.60%
  3614  0        50.3506   544    119.0000        Cuts: 617   360709   29.60%
  3614  0        50.5791   568    119.0000        Cuts: 598   361194   29.60%
  3614  0        50.7980   512    119.0000        Cuts: 320   361623   29.60%
  3614  0        50.9215   556    119.0000        Cuts: 487   362160   29.60%
  3614  0        50.9984   508    119.0000        Cuts: 207   362525   29.60%
  3614  0        51.0961   519    119.0000        Cuts: 499   362879   29.60%
  3614  2        51.0961   506    119.0000        83.7754   362879   29.60%
  3618  4        51.2385   495    119.0000        83.7754   363236   29.60%
*  3619+         1                 118.0000        83.7754          29.00%
  3631  3        101.6732   396           118.0000        83.7754   365446   29.00%
  3659  7        51.3142   486    118.0000        83.7754   370487   29.00%
  3738  20       99.0154   224    118.0000        83.7754   387744   29.00%
  4168  23       89.9042   336    118.0000        83.7754   421078   29.00%
  4778  51       113.7188   169   118.0000        83.7754   454126   29.00%
Elapsed time = 123.07 sec. (74935.85 ticks, tree = 0.08 MB, solutions = 24)
  5933  55       84.6319   307    118.0000        83.7754   515646   29.00%
  6771   558     cutoff             118.0000        83.7754   566350   29.00%
  7318   854     92.2141   284    118.0000        83.7754   635757   29.00%
```

```
   8666  1350    110.7131   196  118.0000          92.0817   748159   21.96%
*  9111+ 1353                    117.0000          97.5038            16.66%
  10669  1383    infeasible        117.0000          106.0435   838124         9.36%

Clique cuts applied:  10
Implied bound cuts applied:  49
Flow cuts applied:  70
Mixed integer rounding cuts applied:  91
Zero-half cuts applied:  49
Lift and project cuts applied:  5
Gomory fractional cuts applied:  41

Root node processing (before b&c):
  Real time                 =  111.82 sec. (58602.78 ticks)
Parallel b&c, 10 threads:
  Real time                 =   15.59 sec. (21735.54 ticks)
  Sync time (average)   =           4.39 sec.
  Wait time (average)   = 0.01 sec.
                          ------------
Total (root+branch&cut) =  127.41 sec. (80338.32 ticks)
```

5. Resultado con simetrías y cota de 15 lavados

En solo 9 segundos llegó al óptimo de 117 para el caso del mejor entero, y para el mejor nodo da 108, hasta ahora parece el resultado.

El algoritmo terminó de ejecutarse, mostrando en consola la ejecución de cada nodo.



Engine log

```
                Nodes                                         Cuts/
Node  Left     Objective  IInf  Best Integer    Best Bound    ItCnt     Gap
```

```
*     0+    0                  300.0000        0.0000          100.00%
*     0+    0                  298.0000        0.0000          100.00%
      0     0       20.0000  1178   298.0000       20.0000        1809   93.29%
*     0+    0                  157.0000        20.0000         87.26%
      0     0       22.1429  1157   157.0000       Cuts: 1090     5698   85.30%
*     0+    0                  146.0000        23.0769         84.19%
      0     0       25.7027   903   146.0000       Cuts: 705      9668   77.17%
*     0+    0                  140.0000        33.3333         76.19%
      0     0       26.4823   830   140.0000       Cuts: 640      11420  61.89%
*     0+    0                  134.0000        53.3534         60.18%
      0     0  -1.00000e+75         0        134.0000        53.3534         11420  60.18%
      0     0       27.8635   932   134.0000       Cuts: 513      12607  60.18%
      0     0       28.3583   699   134.0000       Cuts: 367      13373  51.49%
      0     0       28.9929   734   134.0000       Cuts: 517      14115  51.49%
*     0+    0                  129.0000        65.0000         49.61%
*     0+    0                  127.0000        68.1439         46.34%
*     0+    0                  126.0000        68.1439         45.92%
      0     0  -1.00000e+75         0        126.0000        68.1439         14115  45.92%
      0     2       30.2094   604   126.0000       68.1439         14404  45.92%
Elapsed time = 2.52 sec. (2999.21 ticks, tree = 0.02 MB, solutions = 9)
     25    19      108.8392   187          126.0000        68.1439         17779  45.92%
*   108    61      integral  0          125.0000        68.1439         24017  45.48%
     201    99      113.2969   200  125.0000        68.1439         28553  45.48%
*   205+   7                  123.0000        68.1439         44.60%
*   264+   3                  122.0000        68.1439         44.14%
     499   245      107.3333   154          122.0000        68.1439         40930  44.14%
*   553+   263                120.0000        68.1439         43.21%
*   624+   271                119.0000        68.1439         42.74%
  1117   480     97.8261   241   119.0000        68.1439         53496  42.74%
  1760   851     108.5341   266          119.0000        68.1439         77090  42.74%
  2381  1117     110.4618   233  119.0000        68.1439         92067  42.74%
  3427  1621     118.0000        78       119.0000        68.1439   109194  42.74%
*  3875  1783    integral  0          118.0000        68.1439   120168  42.25%
*  3881  1544    integral  0          117.0000        68.1439   123362  41.76%
  4024  1287     cutoff             117.0000        68.1439   124504  41.76%
  4459  1339     109.7719   254          117.0000        68.1439   139930  41.76%

Performing restart 1

Repeating presolve.
Tried aggregator 1 time.
MIP Presolve eliminated 1093 rows and 592 columns.
MIP Presolve modified 122 coefficients.
Reduced MIP has 2869 rows, 1493 columns, and 9535 nonzeros.
Reduced MIP has 1478 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.02 sec. (9.39 ticks)
Tried aggregator 1 time.
MIP Presolve eliminated 127 rows and 0 columns.
MIP Presolve modified 14 coefficients.
Reduced MIP has 2742 rows, 1493 columns, and 9281 nonzeros.
Reduced MIP has 1478 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.02 sec. (8.67 ticks)
Represolve time = 0.11 sec. (66.72 ticks)
  5502  0       83.3488   381   117.0000        Cuts: 334   200933   28.76%
  5502  0       83.5303   382   117.0000        Cuts: 415   201756   28.61%
  5502  0       84.0923   401   117.0000        Cuts: 350   202471   28.13%
  5502  0       84.4374   398   117.0000        Cuts: 293   202927   27.83%
  5502  0       84.9684   362   117.0000        Cuts: 300   203516   27.38%
```

```
  5502  0        85.1453   374    117.0000          Cuts: 317   204029   27.23%
  5502  0        85.6873   387    117.0000          Cuts: 300   204612   26.76%
  5502  0        87.4710   383    117.0000          Cuts: 289   205760   25.24%
  5502  0        87.7556   386    117.0000          Cuts: 283   206311   25.00%
  5502  0        88.0655   389    117.0000          Cuts: 295   206715   23.74%
  5502  0        88.5011   384    117.0000          Cuts: 230   207119   23.74%
  5502  0        90.5844   381    117.0000          Cuts: 236   208012   22.58%
  5502  0        90.6762   375    117.0000          Cuts: 311   208352   22.50%
  5502  0        90.7708   399    117.0000          Cuts: 251   208756   22.42%
  5502  0        91.1075   406    117.0000          Cuts: 274   209363   22.13%
  5502  0        91.7300   372    117.0000          Cuts: 257   210059   21.60%
  5502  0        91.8071   392    117.0000          Cuts: 219   210341   21.53%
  5502  0        92.0416   349    117.0000          Cuts: 238   210590   21.33%
  5502  0        92.2069   350    117.0000          Cuts: 232   210938   21.19%
  5502  0        92.2075   362    117.0000          Cuts: 257   211048   21.19%
  5502  0        92.2553   379    117.0000          Cuts: 99   211221   21.15%
  5502  0        92.2565   387    117.0000          Cuts: 275   211421   21.15%
  5502  0        92.2595   352    117.0000          Cuts: 144   211581   21.15%
  5502  0        92.2823   357    117.0000          Cuts: 224   211870   21.13%
  5502  0        92.3026   330    117.0000          Cuts: 174   212151   21.11%
  5502  0        92.3485   301    117.0000          Cuts: 167   212553   21.07%
  5502  0        92.3773   381    117.0000          Cuts: 197   212830   21.05%
  5502  0        92.4148   388    117.0000          Cuts: 182   213034   21.01%
  5502  0        92.4315   379    117.0000          Cuts: 178   213268   21.00%
  5502  0        92.4318   375    117.0000          Cuts: 92   213386   21.00%
  5502  2        92.4318   368    117.0000          92.4318   213388   21.00%
Elapsed time = 8.72 sec. (11010.17 ticks, tree = 0.02 MB, solutions = 22)
  5585  22       113.6791   169  117.0000          93.6040   229630   20.00%
  6573   484     106.6072   217           117.0000          98.7604   317385   15.59%
  7544   963     107.6375   174           117.0000          104.5733   433714   10.62%
  8653  1194     114.8000   140  117.0000          108.5907   530631        7.19%

Clique cuts applied:  9
Implied bound cuts applied:  11
Flow cuts applied:  68
Mixed integer rounding cuts applied:  230
Zero-half cuts applied:  32
Lift and project cuts applied:  18
Gomory fractional cuts applied:  6

Root node processing (before b&c):
  Real time                =          2.49 sec. (2942.61 ticks)
Parallel b&c, 10 threads:
  Real time                =          9.40 sec. (12816.58 ticks)
  Sync time (average)   =          1.51 sec.
  Wait time (average)   = 0.01 sec.
```

6.Comparación de paso 3 y 5

En el caso 3 (resultado con cota de 15 lavados), vemos que pese a haber llegado a un buen resultado a los 3.98 segundos, tarda 127 segundos en obtener el máximo.

Luego en el caso que tiene cota de 15 lavados y además simetría, sólo tarda 3 segundos en llegar a un buen resultado, pero continúa buscándolo hasta los 9

segundos.

Podríamos decir que ambos llegaron a un óptimo, pero el segundo caso, que se trataba de un modelo más restrictivo y no estaba obligado a probar tantas combinaciones pudo converger más rápidamente.

Esto sucede con un problema de tan solo 138 prendas, y sus posibles combinaciones, nos damos cuenta que en caso de no contar con el suficiente tiempo, a futuro en problemas de encontrar óptimos, si tenemos información del problema, conviene fijar las restricciones que conozcamos.

7.Comparación heurística y modelo de programación lineal.

La heurística propuesta dio un peor resultado, pero en un tiempo mucho mejor, y no estaba tan alejado del óptimo. Recordemos que la heurística se obtuvo en 16 milisegundos, mientras que el problema de programación lineal continua en el mejor de los casos tardó 9 segundos (si miramos el orden de magnitud del tiempo consumido, no es para nada despreciable).

El resultado de la heurística fue de 123, mientras que el del modelo de programación lineal dió 117, es menos del 5%.

La decisión a tomar cuando necesitemos encontrar un óptimo dependerá de los recursos disponibles que tengamos a disposición y de que es más prioritario para nosotros, si encontrar EL ÓPTIMO, a un costo de ejecución alto, o encontrar un muy buen resultado en tiempos mucho menores.