

## TP - entrega 4

[7114] Modelos y Optimización I  
Turno Lunes  
Segundo cuatrimestre de 2022

Alumno:	Cassi, Julián Ezequiel
Número de padrón:	96978
Email:	jcassi@fi.uba.ar

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Modelo</b>	<b>2</b>
2.1. Paso 1 . . . . .	2
2.2. Paso 2 . . . . .	2
2.3. Paso 3 . . . . .	4
2.4. Paso 4 . . . . .	7
2.5. Paso 5 . . . . .	9
2.6. Paso 6 . . . . .	11
2.7. Paso 7 . . . . .	13
<b>3. Conclusión</b>	<b>13</b>

## 1. Introducción

En la presente entrega del trabajo práctico se intenta resolver el problema de los lavados mediante un modelo de programación lineal entera utilizando el software CPLEX. Se compara con la heurística usada en entregas anteriores, y se van realizando modificaciones en las restricciones del modelo para analizar cómo varía el resultado. Algunas de estas modificaciones se originan en el resultado obtenido con otras heurísticas, y otras son producto de un análisis del problema.

## 2. Modelo

### 2.1. Paso 1

Se tomaron los datos de esta nueva instancia del problema de los lavados y se corrió la heurística de la segunda entrega sobre estos datos. Esta heurística consiste en un algoritmo greedy Welsh-Powell, en el cual se ordenan en sentido decreciente los nodos del grafo según su grado y se colorean con el mismo color todos los nodos compatibles. El resultado fue de 182, siendo necesarios 11 lavados.

### 2.2. Paso 2

Se corrió el código provisto por la cátedra sin hacerle modificaciones, excepto limitar el tiempo de ejecución a 10 minutos. A continuación se encuentra el gráfico de estadísticas tomado a los 85s de ejecución y la salida de “Engine log”

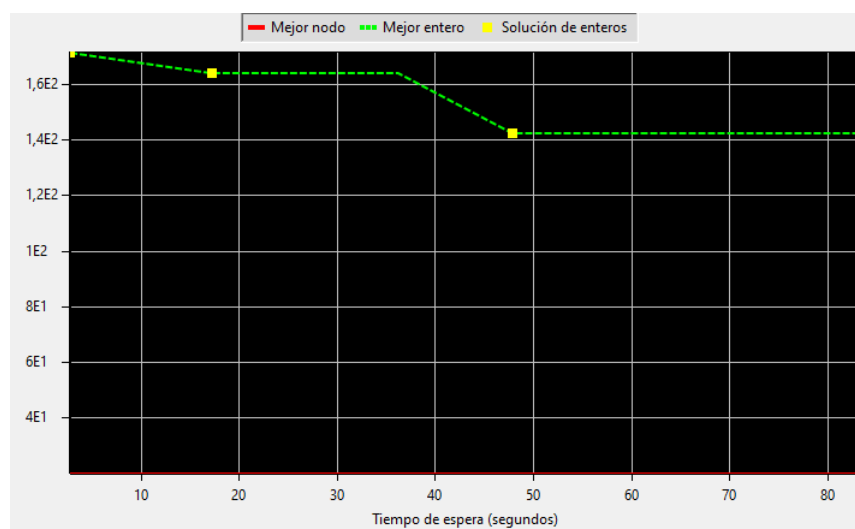


Figura 1: Gráfico de estadísticas paso 2

```
Version identifier: 22.1.0.0 | 2022-03-09 | 1a383f8ce
CPXPARAM TimeLimit 600
Legacy callback pi
Tried aggregator 1 time.
MIP Presolve eliminated 120467 rows and 0 columns.
MIP Presolve modified 12013 coefficients.
Reduced MIP has 34783 rows, 19182 columns, and 121915 nonzeros.
Reduced MIP has 19044 binaries, 138 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0,34 sec. (253,66 ticks)
Found incumbent of value 2760,000000 after 0,47 sec. (403,01 ticks)
Probing time = 0,16 sec. (13,80 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 = 0,50 sec. (391,75 ticks)
Probing time = 0,17 sec. (13,12 ticks)
Clique table members: 15739.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
MIP search method: dynamic search.
Parallel mode: deterministic, using up to 12 threads.
Root relaxation solution time = 0,75 sec. (488,70 ticks)
```

	Node	Nodes Left	Objective	IInf	Best Integer	Cuts/ 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	4740	171,0000	20,0000	11	88,30 %
*	0+	0			164,0000	20,0000		87,80 %
	0	0	20,0000	1852	164,0000	Cuts: 131	9640	87,80 %
	0	0	20,0000	2161	164,0000	Cuts: 1676	17368	87,80 %
	0	0	20,0000	2068	164,0000	Cuts: 147	29708	87,80 %
*	0+	0			154,0000	20,0000		87,01 %
*	0+	0			152,0000	20,0000		86,84 %
*	0+	0			147,0000	20,0000		86,39 %
*	0+	0			144,0000	20,0000		86,11 %
*	0+	0			142,0000	20,0000		85,92 %
	0	0	-1,00000e+75	0	142,0000	20,0000	29708	85,92 %
	0	0	20,0000	1919	142,0000	Cuts: 1709	36509	85,92 %
	0	0	20,0000	1618	142,0000	Cuts: 156	42826	85,92 %
	0	0	20,0000	2048	142,0000	Cuts: 1546	50451	85,92 %
Heuristic still looking.								
	0	2	20,0000	940	142,0000	20,0000	50451	85,92 %
Elapsed time = 82,20 sec. (86093,18 ticks, tree = 0,02 MB, solutions = 9)								
	1	3	37,0000	1017	142,0000	20,0000	56376	85,92 %
	2	3	20,0000	1726	142,0000	20,0000	56094	85,92 %
	3	4	37,0000	1275	142,0000	20,0000	59665	85,92 %
	4	5	37,0000	1299	142,0000	20,0000	69897	85,92 %
	5	6	37,0000	1130	142,0000	20,0000	69799	85,92 %
	6	7	37,0000	1791	142,0000	20,0000	76012	85,92 %
	7	4	46,2868	1233	142,0000	20,0000	74423	85,92 %
	8	8	37,0000	813	142,0000	20,0000	80993	85,92 %
	9	11	37,0000	686	142,0000	20,0000	105859	85,92 %
	13	14	56,0000	896	142,0000	20,0000	125575	85,92 %
Elapsed time = 122,61 sec. (96023,53 ticks, tree = 0,03 MB, solutions = 9)								
	15	17	37,0000	729	142,0000	20,0000	141432	85,92 %
	22	17	56,0000	798	142,0000	20,0000	141873	85,92 %
	33	9	46,2868	1312	142,0000	20,0000	94279	85,92 %
	45	26	50,0000	869	142,0000	20,0000	197609	85,92 %
	57	29	56,0000	1011	142,0000	20,0000	246803	85,92 %
	75	5	20,0000	2161	142,0000	20,0000	70292	85,92 %
	95	76	59,0000	938	142,0000	20,0000	416416	85,92 %
	113	82	59,1326	759	142,0000	20,0000	450823	85,92 %
	137	93	69,0000	981	142,0000	20,0000	480492	85,92 %
	165	124	66,1439	703	142,0000	21,3260	592441	84,98 %
Elapsed time = 207,83 sec. (106256,61 ticks, tree = 2,87 MB, solutions = 9)								
	203	155	110,0000	352	142,0000	21,9753	652623	84,52 %
	250	140	95,0769	479	142,0000	21,9753	645769	84,52 %
*	256+	175			140,0000	21,9753		84,30 %
	313	256	101,0000	473	140,0000	21,9753	868607	84,30 %
*	374+	282			136,0000	21,9753		83,84 %
	377	261	101,0000	410	136,0000	21,9753	877427	83,84 %
*	465+	350			135,0000	21,9753		83,72 %
*	472+	319			124,0000	21,9753		82,28 %
	504	382	120,0000	145	124,0000	21,9753	925974	82,28 %
	601	377	121,0000	141	124,0000	21,9753	1055267	82,28 %
*	617	396	integral	0	123,0000	21,9753	1097552	82,13 %
*	652	400	integral	0	122,0000	21,9753	1106265	81,99 %
	658	379	46,2868	904	122,0000	21,9753	1061607	81,99 %
	679	392	46,2868	896	122,0000	21,9753	1168565	81,99 %
	702	395	88,8299	786	122,0000	21,9753	1161078	81,99 %
	736	417	56,0000	901	122,0000	21,9753	1253466	81,99 %
Elapsed time = 280,84 sec. (116015,76 ticks, tree = 4,27 MB, solutions = 16)								
	759	426	82,6004	925	122,0000	21,9753	1287965	81,99 %
	787	457	78,0000	589	122,0000	21,9753	1359855	81,99 %
	809	505	97,0000	439	122,0000	21,9753	1513274	81,99 %
	840	488	109,0000	263	122,0000	21,9753	1445407	81,99 %
	878	515	106,0000	352	122,0000	21,9753	1529794	81,99 %
	934	501	42,3984	895	122,0000	21,9753	1517078	81,99 %
*	951	594	integral	0	121,0000	21,9753	1735291	81,84 %
	975	581	cutoff		121,0000	21,9753	1703768	81,84 %
	998	615	70,0000	722	121,0000	21,9753	1835706	81,84 %
	1025	634	52,0000	1001	121,0000	21,9753	1854074	81,84 %
*	1058+	660			120,0000	21,9753		81,69 %
	1074	674	71,7204	773	120,0000	21,9753	1954840	81,69 %
Elapsed time = 357,30 sec. (125822,71 ticks, tree = 7,08 MB, solutions = 18)								
	1095	676	73,0221	1009	120,0000	21,9753	1958451	81,69 %
	1123	736	90,0491	480	120,0000	21,9753	2131096	81,69 %
	1147	696	59,0000	694	120,0000	21,9753	2018663	81,69 %
	1175	753	82,2400	784	120,0000	21,9753	2200722	81,69 %
	1226	815	118,0000	117	120,0000	21,9753	2350470	81,69 %
	1228	795	102,0000	634	120,0000	21,9753	2317970	81,69 %
	1355	803	cutoff		120,0000	21,9753	2339812	81,69 %
	1404	861	93,7641	618	120,0000	21,9753	2474997	81,69 %
*	1423	810	integral	0	119,0000	21,9753	2331143	81,53 %
	1439	861	78,0000	832	119,0000	21,9753	2460396	81,53 %
	1458	874	24,3333	941	119,0000	24,3333	2553600	79,55 %
Elapsed time = 437,28 sec. (135561,29 ticks, tree = 9,43 MB, solutions = 19)								
	1484	890	51,0000	764	119,0000	24,3333	2576455	79,55 %
	1507	875	24,4833	1277	119,0000	24,3333	2562314	79,55 %
	1532	931	79,2925	394	119,0000	24,3333	2669145	79,55 %
	1562	1012	103,0000	570	119,0000	24,4833	2907174	79,43 %
	1603	1017	64,9095	797	119,0000	24,4833	2928676	79,43 %
	1634	985	59,0000	922	119,0000	28,0000	2841470	76,47 %
	1663	1073	117,0000	203	119,0000	28,0000	3049739	76,47 %
	1687	1083	37,0000	1003	119,0000	28,0000	3098275	76,47 %
	1710	1088	64,0000	945	119,0000	28,0000	3117595	76,47 %
	1735	1151	57,0000	731	119,0000	28,0000	3288949	76,47 %
Elapsed time = 524,28 sec. (145496,62 ticks, tree = 12,93 MB, solutions = 19)								
	1758	1111	104,3636	591	119,0000	28,0000	3161484	76,47 %
	1791	1118	111,0000	213	119,0000	28,0000	3170009	76,47 %
	1827	1195	84,0000	591	119,0000	28,0000	3410712	76,47 %
Starting limited solution polishing.								
	1846	1227	101,0000	461	119,0000	28,0000	3507627	76,47 %
	1872	1157	46,2868	1191	119,0000	28,0000	3293404	76,47 %
	1895	1238	88,6839	606	119,0000	28,0000	3542320	76,47 %
	1912	1235	46,2868	1143	119,0000	28,0000	3531022	76,47 %

```

1940 1260      56,0000 1230      119,0000      28,0000 3614006 76,47 %
1965 1347      83,0000 753      119,0000      28,0000 3849002 76,47 %
1986 1325      97,0000 398      119,0000      28,0000 3763305 76,47 %
Elapsed time = 600,13 sec. (155402,32 ticks, tree = 14,50 MB, solutions = 19)

Implied bound cuts applied: 6527
Zero-half cuts applied: 300
Gomory fractional cuts applied: 4

Root node processing (before b&c):
Real time      = 81,91 sec. (85899,86 ticks)
Parallel b&c, 12 threads:
Real time      = 518,31 sec. (72069,57 ticks)
Sync time (average) = 102,92 sec.
Wait time (average) = 0,00 sec.

Total (root+branch&cut) = 600,22 sec. (157969,43 ticks)

```

El resultado obtenido fue de 119 unidades de tiempo para poder realizar todos los lavados y se llegó a esa solución entre los 357s y 437s, más de dos minutos y medio antes del límite establecido de 600s. Se observa que el resultado encontrado por el modelo mejora rápidamente al principio, pero lo hace más lentamente a medida que el resultado se acerca más al óptimo. También se destaca que el resultado con el modelo de PLE básico es mucho mejor al obtenido en el paso 1.

### 2.3. Paso 3

En este paso se realizaron cambios en el código para que la máxima cantidad de colores posible fuese 15, debido a que con una heurística se encontró que no eran necesarios más lavados. A continuación se encuentra el resultado de la ejecución del modelo:

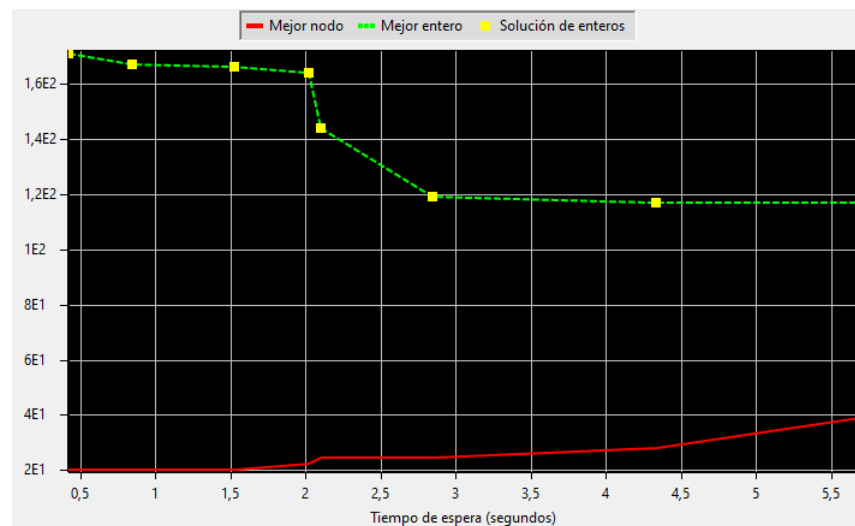


Figura 2: Gráfico de estadísticas paso 3

```

Version identifier: 22.1.0.0 | 2022-03-09 | 1a383f8ce
CPXPARAM TimeLimit      600
Legacy callback          pi
Tried aggregator 1 time.
MIP Presolve eliminated 13053 rows and 0 columns.
MIP Presolve modified 1347 coefficients.
Reduced MIP has 3945 rows, 2085 columns, and 13532 nonzeros.
Reduced MIP has 2070 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0,03 sec. (23,27 ticks)
Found incumbent of value 300,000000 after 0,05 sec. (37,25 ticks)
Probing time = 0,02 sec. (4,04 ticks)
Tried aggregator 1 time.
Detecting symmetries...
Reduced MIP has 3945 rows, 2085 columns, and 13532 nonzeros.
Reduced MIP has 2070 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0,02 sec. (12,94 ticks)
Probing time = 0,02 sec. (4,04 ticks)
Clique table members: 1875.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
MIP search method: dynamic search.
Parallel mode: deterministic, using up to 12 threads.
Root relaxation solution time = 0,13 sec. (148,88 ticks)

```

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      167,0000      20,0000      88,02 %
*      0      0      20,0000      1075      167,0000      Cuts: 466      3376      88,02 %
*      0+      0      166,0000      20,0000      87,95 %
*      0      0      22,3129      1075      166,0000      Cuts: 1046      7555      86,56 %
*      0+      0      164,0000      22,3129      164,0000      86,39 %
*      0      0      24,4000      1000      164,0000      Cuts: 867      10779      85,12 %
*      0+      0      162,0000      24,4000      162,0000      84,94 %
*      0+      0      146,0000      24,4000      146,0000      83,29 %
*      0+      0      144,0000      24,4000      144,0000      83,06 %
*      0      0      -1,00000e+75      0      144,0000      24,4000      10779      83,06 %
*      0+      0      119,0000      24,4000      119,0000      79,50 %
*      0      0      24,4190      857      119,0000      Cuts: 685      15477      79,28 %
*      0      0      24,8376      978      119,0000      Cuts: 668      17933      78,71 %
*      0      0      25,1408      865      119,0000      Cuts: 705      19017      78,58 %
*      0      0      25,4164      983      119,0000      Cuts: 582      20016      78,38 %
*      0      0      25,6319      950      119,0000      Cuts: 570      21211      78,20 %
*      0      0      25,7120      922      119,0000      Cuts: 488      21877      78,13 %
*      0      0      25,7848      945      119,0000      Cuts: 466      22531      78,03 %
*      0      0      25,8287      1029      119,0000      Cuts: 425      23437      77,96 %
*      0      0      25,8736      1044      119,0000      Cuts: 490      24423      77,94 %
*      0+      0      117,0000      26,2563      117,0000      77,56 %
*      0      0      25,9381      996      117,0000      Cuts: 518      25444      76,15 %
*      0      0      26,0113      1037      117,0000      Cuts: 502      26842      76,15 %
*      0      0      26,0693      954      117,0000      Cuts: 363      27469      66,67 %
*      0      0      26,0946      959      117,0000      Cuts: 584      28238      66,67 %
*      0      2      26,0946      913      117,0000      39,0000      28238      66,67 %
Elapsed time = 5,52 sec. (6438,90 ticks, tree = 0,02 MB, solutions = 10)
1      3      39,0062      814      117,0000      39,0000      30567      66,67 %
5      5      39,0000      785      117,0000      39,0000      33164      66,67 %
28      8      53,0788      661      117,0000      39,0000      36586      66,67 %
74      30      77,0000      417      117,0000      39,0000      43701      66,67 %
128      110      66,6943      515      117,0000      39,0000      77317      66,67 %
198      171      97,5696      308      117,0000      39,0000      97840      66,67 %
401      285      116,0000      54      117,0000      39,0000      119305      66,67 %
511      303      65,0000      477      117,0000      39,0000      127138      66,67 %
613      394      88,0000      466      117,0000      39,0000      146390      66,67 %
997      716      77,4023      442      117,0000      39,0000      214046      66,67 %
Elapsed time = 9,24 sec. (9612,98 ticks, tree = 19,09 MB, solutions = 10)
1234      866      65,9951      524      117,0000      39,0000      265998      66,67 %
1544      1200      101,0000      262      117,0000      39,0000      354521      66,67 %
1817      1439      108,0000      219      117,0000      39,0000      445173      66,67 %
2109      1604      104,0000      272      117,0000      39,0000      492894      66,67 %
2394      1883      96,0000      330      117,0000      39,0000      568302      66,67 %
2693      2185      58,5645      522      117,0000      39,0000      668009      66,67 %
3135      2433      58,0000      628      117,0000      39,0000      733974      66,67 %
3491      2796      96,0000      398      117,0000      39,0000      833317      66,67 %
3985      3220      110,3227      202      117,0000      42,4738      902185      63,70 %

Performing restart 1

Repeating presolve.
Tried aggregator 1 time.
MIP Presolve eliminated 124 rows and 60 columns.
Reduced MIP has 3821 rows, 2025 columns, and 13232 nonzeros.
Reduced MIP has 2010 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.03 sec. (15,58 ticks)
Tried aggregator 1 time.
Reduced MIP has 3821 rows, 2025 columns, and 13232 nonzeros.
Reduced MIP has 2010 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.02 sec. (12,70 ticks)
Represolve time = 0,13 sec. (51,62 ticks)
4071      0      39,5345      798      117,0000      Cuts: 460      971441      63,09 %
4071      0      39,8751      767      117,0000      Cuts: 752      972478      63,09 %
4071      0      40,5657      760      117,0000      Cuts: 735      974220      63,09 %
4071      0      40,9261      741      117,0000      Cuts: 686      975608      63,09 %
4071      0      41,1446      706      117,0000      Cuts: 678      976329      63,09 %
4071      0      41,2539      741      117,0000      Cuts: 707      977153      63,09 %
4071      0      41,3371      640      117,0000      Cuts: 326      977710      63,09 %
4071      0      41,4488      700      117,0000      Cuts: 710      978587      63,09 %
4071      0      41,9487      657      117,0000      Cuts: 307      979395      63,09 %
4071      0      42,1170      689      117,0000      Cuts: 718      980450      63,09 %
4071      0      42,2478      636      117,0000      Cuts: 606      981242      63,09 %
4071      0      42,2889      638      117,0000      Cuts: 592      981711      63,09 %
4071      0      42,3819      645      117,0000      Cuts: 289      982270      63,09 %
4071      0      42,3927      650      117,0000      Cuts: 609      982625      63,09 %
4071      2      42,3927      637      117,0000      43,1847      982625      63,09 %
Elapsed time = 27,97 sec. (25891,82 ticks, tree = 0,02 MB, solutions = 10)
4074      4      42,8797      589      117,0000      43,2390      983693      63,04 %
4083      9      53,8117      557      117,0000      43,5019      988554      62,82 %
4102      23      64,3542      424      117,0000      43,6731      996519      62,67 %
4153      60      67,4816      459      117,0000      44,1324      1020918      62,28 %
4202      96      59,0096      483      117,0000      45,8211      1040980      60,84 %
4270      136      80,3230      426      117,0000      45,8211      1058518      60,84 %
4474      74      64,0000      485      117,0000      45,8211      1029562      60,84 %
4841      569      88,9032      359      117,0000      45,8211      1161631      60,84 %
5389      771      66,7537      480      117,0000      45,9526      1198600      60,72 %
6014      1392      77,9911      411      117,0000      45,9526      1292241      60,72 %
Elapsed time = 40,74 sec. (35769,12 ticks, tree = 34,74 MB, solutions = 10)
6631      1768      67,3378      446      117,0000      48,0558      1355895      58,93 %
7095      2365      96,3684      360      117,0000      49,3712      1445644      57,80 %
7869      3169      106,8503      215      117,0000      49,3712      1560438      57,80 %
8341      3577      96,0000      382      117,0000      49,3712      1615461      57,80 %
9243      4312      112,0000      263      117,0000      54,7537      1697546      53,20 %
9966      5182      102,5971      336      117,0000      54,7537      1785997      53,20 %
10801      5701      113,6500      233      117,0000      55,8132      1846083      52,30 %
11577      6546      75,3423      455      117,0000      58,6226      1927427      49,90 %
12288      7205      cutoff      117,0000      59,1081      2010684      49,48 %
13080      7621      91,5923      416      117,0000      59,8669      2051276      48,83 %
Elapsed time = 54,55 sec. (45312,04 ticks, tree = 182,59 MB, solutions = 10)
14130      8599      109,7500      255      117,0000      60,9152      2155631      47,94 %
15229      9366      106,0000      299      117,0000      61,0533      2212525      47,82 %
16289      10180      101,0000      326      117,0000      61,5115      2280194      47,43 %
17058      11565      96,5923      334      117,0000      62,9143      2400952      46,23 %

```

```

17946 11991      105,1053      295      117,0000      63,3267      2446355      45,87 %
18922 12775      101,9761      330      117,0000      63,8791      2526722      45,40 %
19837 13516      97,2536      359      117,0000      64,0000      2595439      45,30 %
20560 14415      97,5332      421      117,0000      64,0000      2670451      45,30 %
21261 15388      109,0000      323      117,0000      64,0000      2783709      45,30 %
22069 16086      101,0000      289      117,0000      64,0000      2856512      45,30 %
Elapsed time = 68,95 sec. (54856,73 ticks, tree = 456,19 MB, solutions = 10)
22817 16678      93,5153      338      117,0000      64,0000      2928452      45,30 %
23584 17577      106,0105      225      117,0000      64,0000      3019146      45,30 %
24524 18294      97,2704      296      117,0000      64,2963      3101214      45,05 %
25493 18752      74,5436      373      117,0000      64,3972      3136336      44,96 %
26570 20286      106,3486      309      117,0000      64,5127      3278159      44,86 %
27593 21147      116,0000      198      117,0000      64,7933      3362021      44,62 %
28347 22093      73,3221      432      117,0000      64,9927      3462744      44,45 %
29164 22477      101,0000      336      117,0000      65,0000      3502384      44,44 %
29815 22987      111,0000      154      117,0000      65,0000      3561187      44,44 %
30395 23647      101,0000      283      117,0000      65,0000      3643389      44,44 %
Elapsed time = 83,89 sec. (64409,23 ticks, tree = 624,34 MB, solutions = 10)
31157 24388      103,3118      345      117,0000      65,0000      3737888      44,44 %
32114 25314      109,4219      324      117,0000      65,0000      3836374      44,44 %
33021 26268      81,7049      430      117,0000      65,1964      3937652      44,28 %
33954 26944      97,6768      371      117,0000      65,2647      4000950      44,22 %
34613 27472      93,1548      406      117,0000      65,3040      4056932      44,18 %
35335 28201      96,7419      389      117,0000      65,4425      4146974      44,07 %
36209 28544      79,6863      381      117,0000      65,5679      4192859      43,96 %
37043 29487      98,7273      296      117,0000      65,6490      4312894      43,89 %
37770 30335      109,0000      286      117,0000      65,8577      4401602      43,71 %
38680 31126      97,5625      332      117,0000      65,8834      4482163      43,69 %
Elapsed time = 102,72 sec. (73967,38 ticks, tree = 893,82 MB, solutions = 10)
39381 31712      91,3684      414      117,0000      65,9791      4554824      43,61 %
40381 32990      93,1548      393      117,0000      66,1214      4708558      43,49 %
41059 32889      108,2677      332      117,0000      66,1214      4698372      43,49 %
42041 34024      107,4217      277      117,0000      66,2417      4826306      43,38 %
42870 34523      112,0000      159      117,0000      66,4753      4865502      43,18 %
43385 35865      97,5625      293      117,0000      66,5982      4983585      43,08 %
43954 36229      91,7347      421      117,0000      66,5982      5032607      43,08 %
44920 36426      93,1548      356      117,0000      66,7537      5054900      42,95 %
45791 37348      111,0000      281      117,0000      66,7961      5146181      42,91 %
46776 37776      96,6429      321      117,0000      66,8848      5187382      42,83 %
Elapsed time = 126,45 sec. (83521,28 ticks, tree = 1124,25 MB, solutions = 10)
47688 39016      116,0000      165      117,0000      67,0455      5309448      42,70 %
48440 39532      85,7991      379      117,0000      67,2072      5370641      42,56 %
49374 40511      93,1548      311      117,0000      67,4964      5453893      42,31 %
50469 41284      106,0000      298      117,0000      67,4976      5543458      42,31 %
51319 42096      93,7738      348      117,0000      67,6354      5625851      42,19 %
52272 42675      87,2785      432      117,0000      67,7837      5670264      42,07 %
53430 44387      104,6444      389      117,0000      67,9716      5831881      41,90 %
54280 44438      94,5813      341      117,0000      68,0795      5829463      41,81 %
55459 46128      107,2337      276      117,0000      68,2874      5981163      41,63 %
56423 47368      111,9519      273      117,0000      68,3511      6086784      41,58 %
Elapsed time = 153,95 sec. (93073,05 ticks, tree = 1343,72 MB, solutions = 10)
57444 47512      104,3027      262      117,0000      68,5955      6106187      41,37 %
58279 48286      91,7347      402      117,0000      68,6756      6172850      41,30 %
59415 49454      101,0043      337      117,0000      68,8825      6283519      41,13 %
60481 50303      101,0000      327      117,0000      69,2866      6362483      40,78 %
61712 50862      112,0000      210      117,0000      69,4579      6403004      40,63 %
62925 51636      101,7663      341      117,0000      69,5163      6471974      40,58 %
63995 53603      91,6863      372      117,0000      69,8149      6638020      40,33 %
64922 54998      96,5923      355      117,0000      70,0910      6740115      40,09 %
65754 55456      97,6569      347      117,0000      70,4877      6784570      39,75 %
69284 58836      78,8731      408      117,0000      70,7600      7123609      39,52 %
Elapsed time = 218,70 sec. (105482,09 ticks, tree = 1718,18 MB, solutions = 10)
72773 61430      116,0000      213      117,0000      70,9221      7356712      39,38 %
76147 65349      107,0000      334      117,0000      70,9221      7760539      39,38 %
79385 68586      106,3750      288      117,0000      71,0545      8092310      39,27 %

Performing restart 2

Repeating presolve.
Tried aggregator 1 time.
MIP Presolve eliminated 130 rows and 0 columns.
Reduced MIP has 3691 rows, 2025 columns, and 19179 nonzeros.
Reduced MIP has 2010 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0,11 sec. (19,74 ticks)
Tried aggregator 1 time.
Reduced MIP has 3691 rows, 2025 columns, and 19179 nonzeros.
Reduced MIP has 2010 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0,03 sec. (17,13 ticks)
Reresolve time = 38,16 sec. (88,80 ticks)
80576 0      104,0000      375      117,0000      Cuts: 289      8284026      11,11 %
80576 0      104,0000      434      117,0000      Cuts: 480      8284869      11,11 %
80576 0      104,0000      274      117,0000      Cuts: 57      8285181      11,11 %
80576 0      104,0000      345      117,0000      Cuts: 447      8285501      11,11 %
80576 0      104,0000      327      117,0000      Cuts: 35      8285933      11,11 %
80576 0      104,0000      409      117,0000      Cuts: 416      8286331      11,11 %
80576 0      104,0000      322      117,0000      Cuts: 96      8286693      11,11 %
80576 0      104,0000      358      117,0000      Cuts: 487      8287183      11,11 %
80576 0      104,0000      255      117,0000      Cuts: 81      8287376      11,11 %
80576 0      104,0000      345      117,0000      Cuts: 427      8287715      11,11 %
80576 0      104,0000      361      117,0000      Cuts: 75      8288167      11,11 %
80576 2      104,0000      232      117,0000      104,0000      8288167      11,11 %
80629 24      109,0000      269      117,0000      104,0000      8295783      11,11 %
81319 401      116,0000      139      117,0000      104,0000      8338560      11,11 %
84913 3295      108,5455      299      117,0000      104,0000      8570982      11,11 %
89388 7171      112,0000      269      117,0000      104,8207      8893738      10,41 %
92822 10249      105,4738      396      117,0000      105,0000      9182572      10,26 %
96234 13172      112,0000      267      117,0000      105,0000      9478987      10,26 %
Elapsed time = 366,17 sec. (146266,40 ticks, tree = 300,91 MB, solutions = 10)
99626 15712      107,0000      398      117,0000      105,0000      9735214      10,26 %
102579 18677      113,0000      347      117,0000      105,0000      10057500      10,26 %
105493 20570      112,0000      284      117,0000      105,0500      10310753      10,21 %
108696 23460      114,0000      253      117,0000      105,1468      10612992      10,13 %
112096 26111      116,0000      228      117,0000      105,3685      10869705      9,94 %
115211 28500      108,0000      326      117,0000      105,4653      11133068      9,86 %
118770 32225      114,0000      314      117,0000      105,6435      11515906      9,71 %
122185 34560      116,0000      286      117,0000      105,7073      11767840      9,65 %
125433 37689      109,3846      341      117,0000      105,8329      12080603      9,54 %

```

```

128713 40493      114,0000    276      117,0000      105,9303 12349429      9,46 %
Elapsed time = 425,20 sec. (184427,22 ticks, tree = 1054,91 MB, solutions = 10)
131153 42397      115,0000    310      117,0000      105,9794 12573972      9,42 %
134230 44765      114,0000    283      117,0000      106,0000 12811725      9,40 %
137015 47261      113,1429    343      117,0000      106,0000 13033657      9,40 %
139701 49220      110,8235    302      117,0000      106,0000 13253888      9,40 %
141881 51289      109,1250    340      117,0000      106,0000 13465693      9,40 %
143700 52709      108,3478    389      117,0000      106,0000 13682479      9,40 %
146004 55245      110,8889    340      117,0000      106,0000 13981229      9,40 %
147911 56666      113,0000    446      117,0000      106,0000 14147772      9,40 %
149470 58238      113,0000    338      117,0000      106,0000 14401979      9,40 %
151303 59539      110,0000    335      117,0000      106,0000 14603252      9,40 %
Elapsed time = 522,47 sec. (222594,03 ticks, tree = 1715,82 MB, solutions = 10)
153810 61203      114,7832    267      117,0000      106,0000 14780078      9,40 %
Starting limited solution polishing.
155438 63394      108,0000    352      117,0000      106,0000 15051814      9,40 %
157092 64344      116,0000    245      117,0000      106,0000 15221671      9,40 %
158982 65819      116,0000    333      117,0000      106,0000 15393559      9,40 %

Clique cuts applied: 34
Implied bound cuts applied: 391
Flow cuts applied: 304
Mixed integer rounding cuts applied: 1374
Zero-half cuts applied: 44
Gomory fractional cuts applied: 60

Root node processing (before b&c):
  Real time      = 5,52 sec. (6430,39 ticks)
Parallel b&c, 12 threads:
  Real time      = 597,11 sec. (234724,23 ticks)
  Sync time (average) = 136,83 sec.
  Wait time (average) = 0,10 sec.

Total (root+branch&cut) = 602,63 sec. (241154,61 ticks)

```

Como se puede observar en el gráfico de estadísticas, el modelo es mucho más rápido, en sólo 3 segundos ya logra un resultado mejor que en los 10 minutos de la corrida anterior. La razón de esto es que al cambiar la cantidad posible de colores se reduce mucho el tamaño del problema (de los 139 posibles a explorar en la corrida anterior se lo limita a 15, el 11 %). Esto hace que el modelo sea más eficiente, ya que por cada prenda se eliminan 124 variables bivalentes (que indican si a esa prenda se le asigna ese color), lo que da un total de 17236 bivalentes eliminadas junto con las restricciones en las que aparecen, es de gran importancia que las variables enteras sean las menos posibles, ya que son costosas computacionalmente. Este paso demuestra que, si bien con el modelo de PLE básico ya se encontraba un resultado mejor que con una heurística, la información que esta nos provee puede ayudar a mejorar el resultado y acercarse al óptimo.

## 2.4. Paso 4

Para este paso añadió la condición “simetría”, la cual obliga a que los tiempos de lavado estén ordenados de mayor a menor en el vector pesoColores. La restricción establece que el tiempo del  $i-1$ -ésimo lavado siempre sea mayor o igual al del  $i$ -ésimo, por lo que el orden en que se van llenando los lavados sea siempre desde el primero posible al último, y no por ejemplo empezar con uno cualquiera. Lo que cambia al hacer esto es que no sean analizadas soluciones semejantes, producto de, por ejemplo, que las prendas del primer lavado en una solución intercambien lugar con las del segundo, pero sin modificar la composición de ninguno de estos grupos. A continuación se encuentran los resultados obtenidos:



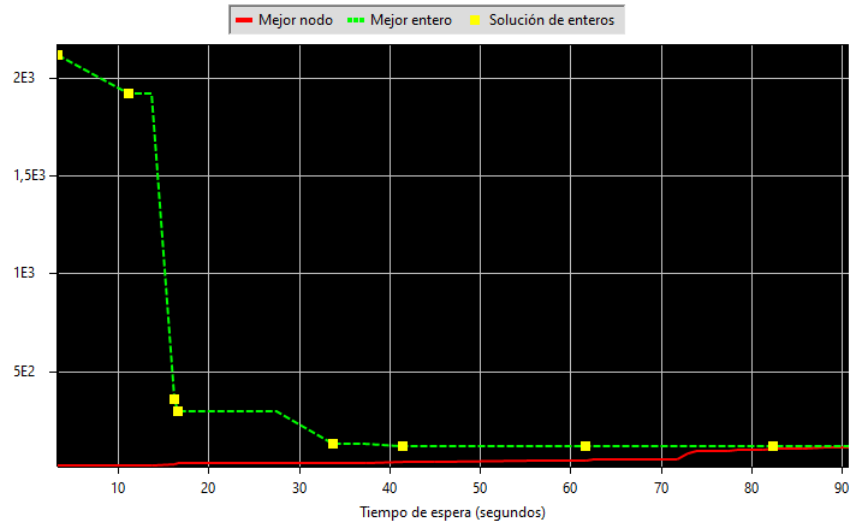


Figura 3: Flujo caso upload desde el punto de vista de la aplicación

```

CPXPARAM TimeLimit          600
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 = 0,34 sec. (253,34 ticks)
Found incumbent of value 2760,000000 after 0,53 sec. (465,00 ticks)
Probing time = 0,16 sec. (13,81 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 = 0,14 sec. (144,06 ticks)
Probing time = 0,19 sec. (13,14 ticks)
Cliques table members: 15717.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
MIP search method: dynamic search.
Parallel mode: deterministic, using up to 12 threads.
Root relaxation solution time = 1,58 sec. (1059,19 ticks)

```

	Nodes				Cuts/		
	Node	Left	Objective	IInf	Best Integer	Best Bound	ItCnt
*	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
*	0+	0			2008,0000	20,0000	99,05 %
*	0+	0			1917,0000	20,0000	99,00 %
*	0+	0	21,3171	9828	1917,0000	Cuts: 1915	2658
*	0+	0	28,3807	8748	1917,0000	Cuts: 1470	8403
*	0+	0			356,0000	28,3807	98,89 %
*	0+	0	30,2198	8195	356,0000	Cuts: 774	15372
*	0+	0			299,0000	30,2198	91,51 %
*	0+	0	-1,00000e+75	0	299,0000	30,2198	89,89 %
*	0+	0			178,0000	30,2198	89,89 %
*	0+	0			157,0000	30,2198	83,02 %
*	0+	0			144,0000	30,2198	80,75 %
*	0+	0			142,0000	30,2198	79,01 %
*	0+	0			140,0000	30,2198	78,72 %
*	0+	0			138,0000	30,2198	78,41 %
*	0+	0			136,0000	30,2198	78,10 %
*	0+	0			134,0000	30,2198	77,78 %
*	0+	0	-1,00000e+75	0	134,0000	30,2198	77,45 %
*	0	0			134,0000	30,2198	35564

```

Repeating presolve.
Tried aggregator 1 time.
MIP Presolve eliminated 11157 rows and 6359 columns.
MIP Presolve modified 1943 coefficients.
Reduced MIP has 23741 rows, 12823 columns, and 82137 nonzeros.
Reduced MIP has 12685 binaries, 138 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0,09 sec. (95,74 ticks)
Probing time = 0,20 sec. (22,17 ticks)
Tried aggregator 1 time.
Detecting symmetries...
Reduced MIP has 23741 rows, 12823 columns, and 82137 nonzeros.
Reduced MIP has 12685 binaries, 138 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0,09 sec. (90,72 ticks)
Represolve time = 0,55 sec. (422,29 ticks)
Probing time = 0,22 sec. (22,14 ticks)
Cliques table members: 10922.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.

```

MIP search method: dynamic search.  
 Parallel mode: deterministic, using up to 12 threads.  
 Root relaxation solution time = 1,17 sec. (667,64 ticks)

	Node	Nodes Left	Objective	IInf	Best Integer	Cuts/ Best Bound	ItCnt	Gap
*	0+	0			134,0000	30,2198		77,45 %
	0	0	34,4425	778	134,0000	34,4425	35587	74,30 %
*	0+	0			121,0000	34,4425		71,54 %
	0	0	36,2694	652	121,0000	Cuts: 254	57830	70,03 %
	0	0	41,8592	638	121,0000	Cuts: 334	71873	64,85 %
	0	0	42,1122	678	121,0000	Cuts: 201	73207	64,32 %
*	0+	0			119,0000	43,1738		63,72 %
*	0+	0			118,0000	43,1738		63,41 %
	0	0	-1,00000e+75	0	118,0000	43,1738	73207	63,41 %
	0	0	42,4155	706	118,0000	Cuts: 268	74294	57,48 %
	0	0	42,4666	607	118,0000	Cuts: 63	74515	57,48 %
	0	0	42,5111	624	118,0000	Cuts: 179	74935	57,48 %
Detecting symmetries...								
	0	2	42,5586	491	118,0000	50,1699	74992	57,48 %
Elapsed time = 63,89 sec. (54372,46 ticks, tree = 0,02 MB, solutions = 22)								
	3	5	74,5338	346	118,0000	50,1699	77265	57,48 %
	47	26	116,0000	112	118,0000	50,1699	84139	57,48 %
	149	60	110,5308	135	118,0000	50,1699	98231	57,48 %
	358	129	115,1023	127	118,0000	50,1699	104659	57,48 %
	617	267	111,5455	120	118,0000	50,1699	118881	57,48 %
	905	434	114,0000	179	118,0000	50,1699	132868	57,48 %
	1056	620	92,5496	244	118,0000	50,1699	143310	57,48 %
	1315	652	115,0000	39	118,0000	50,1699	150956	57,48 %
	1646	821	105,6331	290	118,0000	80,0732	162189	32,14 %
	2737	1365	113,4318	169	118,0000	96,9647	202292	17,83 %
Elapsed time = 76,92 sec. (57518,28 ticks, tree = 9,49 MB, solutions = 22)								
	3996	1942	117,0000	99	118,0000	103,9624	236801	11,90 %
*	4003	1935	integral	0	117,0000	103,9624	243270	11,14 %
	5387	1615	infeasible		117,0000	108,6405	297345	7,14 %
	7204	843	115,0000	108	117,0000	113,1297	336454	3,31 %

Clique cuts applied: 10  
 Implied bound cuts applied: 1436  
 Mixed integer rounding cuts applied: 5  
 Zero-half cuts applied: 35  
 Gomory fractional cuts applied: 24

Root node processing (before b&c):  
 Real time = 63,65 sec. (54096,14 ticks)  
 Parallel b&c, 12 threads:  
 Real time = 27,66 sec. (6593,63 ticks)  
 Sync time (average) = 7,75 sec.  
 Wait time (average) = 0,00 sec.  
 Total (root+branch&cut) = 91,31 sec. (60689,78 ticks)

El mayor cambio con respecto a las corridas anteriores es que no fue necesario detener la ejecución a los 10 minutos, sino que el modelo mismo se detuvo por sí solo a los 90 segundos, lo cual indica que este cambio fue el más significativo de los hechos hasta el momento. Este tiempo de ejecución tan inferior a los demás es debido a lo explicado anteriormente, la cantidad de posibles soluciones equivalentes que no son tenidas en cuenta.

## 2.5. Paso 5

En este paso se combinan los dos anteriores (máximo 15 lavados y simetría) y se obtuvieron los siguientes resultados:

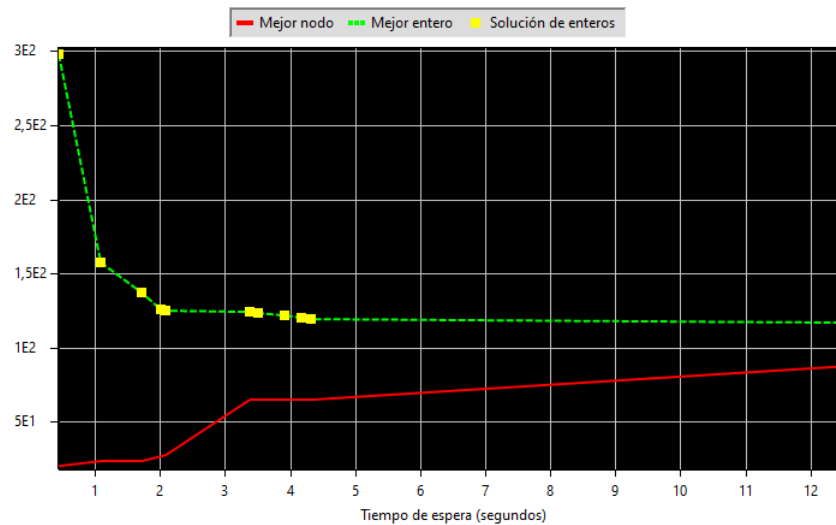


Figura 4: Flujo caso upload desde el punto de vista de la aplicación

```

Version identifier: 22.1.0.0 | 2022-03-09 | 1a383f8ce
CPXPARAM_TimeLimit          600
Legacy callback              pi
Tried aggregator 1 time.
MIP Presolve eliminated 13050 rows and 0 columns.
MIP Presolve modified 1350 coefficients.
Reduced MIP has 3962 rows, 2085 columns, and 13578 nonzeros.
Reduced MIP has 2070 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.03 sec. (23,33 ticks)
Found incumbent of value 300,000000 after 0.06 sec. (53,08 ticks)
Probing time = 0.03 sec. (4,05 ticks)
Tried aggregator 1 time.
Detecting symmetries...
Reduced MIP has 3962 rows, 2085 columns, and 13578 nonzeros.
Reduced MIP has 2070 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.02 sec. (12,66 ticks)
Probing time = 0.02 sec. (4,28 ticks)
Clique table members: 1878.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
MIP search method: dynamic search.
Parallel mode: deterministic, using up to 12 threads.
Root relaxation solution time = 0.09 sec. (136,45 ticks)

```

	Nodes Left	Objective	Inf	Best Integer	Cuts/ Best Bound	ItCnt	Gap	
*	0+	0		300,0000	0,0000		100,00 %	
*	0+	0		298,0000	0,0000		100,00 %	
*	0	20,0000	1178	298,0000	20,0000	1809	93,29 %	
*	0+	0		157,0000	20,0000		87,26 %	
*	0	22,1429	1150	157,0000	Cuts: 1090	5659	85,30 %	
*	0+	0		137,0000	23,0769		83,16 %	
*	0	26,5726	918	137,0000	Cuts: 705	10322	80,60 %	
*	0+	0		126,0000	26,5726		78,91 %	
*	0	27,6682	902	126,0000	Cuts: 604	12671	78,04 %	
*	0+	0		125,0000	27,6682		77,87 %	
*	0	-1,00000e+75	0	125,0000	27,6682	12671	77,87 %	
*	0	28,0912	906	125,0000	Cuts: 567	13906	54,93 %	
*	0	28,4556	815	125,0000	Cuts: 306	14492	48,00 %	
*	0	28,9110	874	125,0000	Cuts: 565	15764	48,00 %	
*	0	29,9981	619	125,0000	65,0000	16210	48,00 %	
Elapsed time = 2,91 sec. (3166,91 ticks, tree = 0,02 MB, solutions = 6)								
*	22+	10		124,0000	65,0000		47,58 %	
*	25+	7		123,0000	65,0000		47,15 %	
*	30	20	84,8364	301	123,0000	65,0000	20448	47,15 %
*	515	192	110,3879	232	123,0000	65,0000	37140	47,15 %
*	764+	263		122,0000	65,0000		46,72 %	
*	1125	392	integral	0	121,0000	65,0000	52895	46,28 %
*	1267	361	integral	0	120,0000	65,0000	57972	45,83 %
*	1278	329	integral	0	119,0000	65,0000	58246	45,38 %
*	1373	235	cutoff		119,0000	65,0000	62284	45,38 %
*	1711	17	92,7725	256	119,0000	65,0000	76494	45,38 %
*	2214	125	113,5385	139	119,0000	65,0000	90055	45,38 %
*	2716	477	62,9690	426	119,0000	65,0000	111747	45,38 %
*	3319	758	110,2064	224	119,0000	65,0000	131798	45,38 %
*	4175	1406	115,0000	246	119,0000	65,0000	153823	45,38 %
*	4810	1954	94,6846	266	119,0000	70,5764	174133	40,69 %
*	5834+	2538		117,0000	75,1879		35,74 %	

```

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. (12,47 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 = 0,00 sec. (8,67 ticks)
Represolve time = 0,14 sec. (68,77 ticks)
6011 0 83,3611 384 117,0000 Cuts: 226 216479 28,75 %
6011 0 83,7192 386 117,0000 Cuts: 339 217694 28,45 %
6011 0 84,1301 380 117,0000 Cuts: 297 218130 28,09 %
6011 0 85,4408 368 117,0000 Cuts: 277 218663 26,97 %
6011 0 85,8902 371 117,0000 Cuts: 265 219023 26,59 %
6011 0 86,0056 385 117,0000 Cuts: 215 219309 26,49 %
6011 0 86,1345 387 117,0000 Cuts: 217 219574 26,38 %
6011 0 86,2274 382 117,0000 Cuts: 224 219829 26,30 %
6011 0 86,3203 385 117,0000 Cuts: 230 220132 26,22 %
6011 0 86,4033 393 117,0000 Cuts: 207 220377 26,15 %
6011 0 86,5503 394 117,0000 Cuts: 216 220691 26,03 %
6011 0 86,6590 408 117,0000 Cuts: 155 221000 25,93 %
6011 0 86,7251 415 117,0000 Cuts: 241 221220 25,88 %
6011 0 86,7960 411 117,0000 Cuts: 182 221375 25,82 %
6011 0 86,9215 431 117,0000 Cuts: 164 221663 25,71 %
6011 0 87,0714 438 117,0000 Cuts: 186 221929 25,58 %
6011 0 87,0972 431 117,0000 Cuts: 188 222069 25,56 %
6011 0 87,1701 432 117,0000 Cuts: 141 222246 25,50 %
6011 0 87,2328 436 117,0000 Cuts: 167 222376 25,44 %
6011 0 87,2713 427 117,0000 Cuts: 170 222546 25,41 %
6011 0 87,3032 415 117,0000 Cuts: 170 222709 25,38 %
6011 0 87,3783 422 117,0000 Cuts: 155 222951 25,32 %
6011 0 87,3970 425 117,0000 Cuts: 141 223079 25,30 %
6011 0 87,4549 419 117,0000 Cuts: 146 223215 25,25 %
6011 0 87,5229 406 117,0000 Cuts: 139 223389 25,19 %
6011 0 87,5467 410 117,0000 Cuts: 144 223567 25,17 %
6011 0 87,6425 411 117,0000 Cuts: 152 223753 25,09 %
6011 0 87,7290 414 117,0000 Cuts: 201 223941 25,02 %
6011 0 87,7677 400 117,0000 Cuts: 177 224109 24,98 %
6011 0 87,7722 418 117,0000 Cuts: 172 224252 24,98 %
6011 0 87,7984 386 117,0000 Cuts: 91 224383 24,96 %
6011 0 87,7984 399 117,0000 Cuts: 220 224518 24,96 %
6011 0 87,8034 403 117,0000 Cuts: 89 224617 24,95 %
6011 0 87,8172 366 117,0000 Cuts: 192 224795 24,94 %
6011 0 87,8279 402 117,0000 Cuts: 200 224910 24,93 %
6011 2 87,8279 391 117,0000 87,8279 224914 24,93 %
Elapsed time = 12,42 sec. (9787,65 ticks, tree = 0,02 MB, solutions = 19)
6031 7 88,6023 333 117,0000 88,2773 230887 24,55 %
6864 335 99,6157 314 117,0000 89,1219 296625 23,83 %
8280 527 114,0000 109 117,0000 109,8111 381184 6,14 %

```

```

Clique cuts applied: 7
Implied bound cuts applied: 6
Flow cuts applied: 59
Mixed integer rounding cuts applied: 152
Zero-half cuts applied: 41
Lift and project cuts applied: 1
Gomory fractional cuts applied: 21

```

```

Root node processing (before b&c):
Real time = 2,84 sec. (3100,18 ticks)
Parallel b&c, 12 threads:
Real time = 13,30 sec. (9804,24 ticks)
Sync time (average) = 2,33 sec.
Wait time (average) = 0,01 sec.
Total (root+branch&cut) = 16,14 sec. (12904,41 ticks)

```

Se observa en el gráfico de estadísticas que, tal como en el paso 3, rápidamente se llega al resultado óptimo de 117. Al igual que en el paso 4, no es necesario limitar a 10 minutos la ejecución, ya que se detiene por sí solo a los 16 segundos, lo cual representa una mejora con respecto a los 90 segundos obtenidos previamente. Esta combinación de los dos pasos anteriores es mejor que ambas por separado.

## 2.6. Paso 6

La diferencia entre el paso 3 y el paso 5 es la adición de la restricción de simetría. Si bien en ambos el resultado de 117 es el mismo, en el paso 3 fue necesario limitar el tiempo de ejecución a 10 minutos ya que el modelo seguía corriendo, mientras que en el paso 5 se pudo llegar al óptimo en 16 segundos.

Se volvió a correr el modelo, pero ahora reduciendo la cantidad posible de lavados de 15 a 11 y se obtuvieron los siguientes resultados:

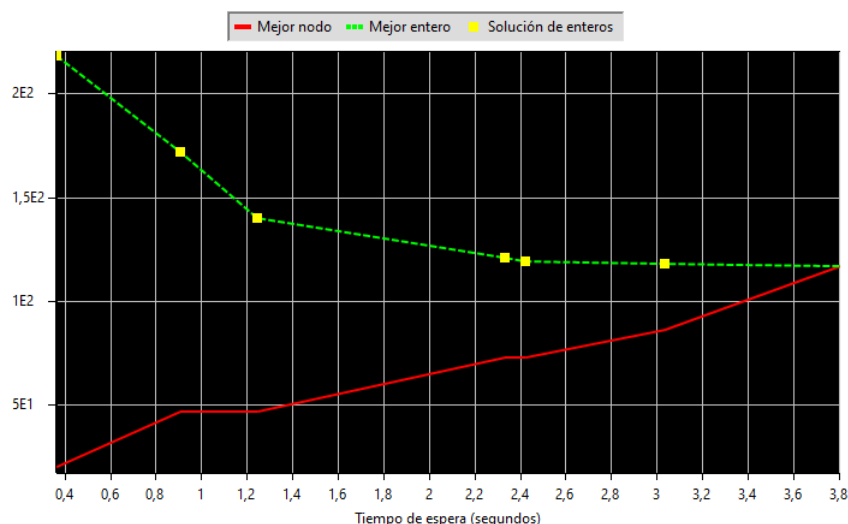


Figura 5: Flujo caso upload desde el punto de vista de la aplicación

```

Version identifier: 22.1.0.0 | 2022-03-09 | 1a383f8ce
CPXPARAM TimeLimit          600
Legacy callback              pi
Tried aggregator 1 time.
MIP Presolve eliminated 9577 rows and 0 columns.
MIP Presolve modified 983 coefficients.
Reduced MIP has 2935 rows, 1529 columns, and 9909 nonzeros.
Reduced MIP has 1518 binaries, 11 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.02 sec. (16.79 ticks)
Found incumbent of value 220.000000 after 0.06 sec. (50.34 ticks)
Probing time = 0.00 sec. (3.02 ticks)
Tried aggregator 1 time.
Detecting symmetries...
Reduced MIP has 2935 rows, 1529 columns, and 9909 nonzeros.
Reduced MIP has 1518 binaries, 11 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0.02 sec. (9.08 ticks)
Probing time = 0.02 sec. (3.06 ticks)
Clique table members: 1407.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
MIP search method: dynamic search.
Parallel mode: deterministic, using up to 12 threads.
Root relaxation solution time = 0.06 sec. (98.28 ticks)

```

	Nodes Node Left	Objective	IInf	Best Integer	Cuts/ Best Bound	ItCnt	Gap
*	0+ 0			220.0000	0.0000		100.00 %
*	0+ 0			218.0000	0.0000		100.00 %
	0 0	20.0000	914	218.0000	20.0000	1394	90.83 %
*	0+ 0			172.0000	20.0000		88.37 %
	0 0	29.5206	794	172.0000	Cuts: 833	3326	73.09 %
*	0+ 0			140.0000	46.2868		66.94 %
	0 0	37.0000	727	140.0000	Cuts: 564	4408	66.94 %
*	0+ 0			121.0000	46.2868		61.75 %
	0 0	41.7808	657	121.0000	Cuts: 833	8851	40.20 %
*	0+ 0			119.0000	72.3584		39.19 %
	0 0	-1.00000e+75	0	119.0000	72.3584	8851	39.19 %
*	0+ 0			118.0000	72.3584		38.68 %
	0 0	49.9861	624	118.0000	Cuts: 833	11556	27.15 %
*	0+ 0			117.0000	85.9632		26.53 %
	0 0	cutoff		117.0000	117.0000	15356	0.00 %

```

Elapsed time = 3.63 sec. (2556.18 ticks, tree = 0.01 MB, solutions = 8)

Clique cuts applied: 9
Implied bound cuts applied: 380
Mixed integer rounding cuts applied: 497
Zero-half cuts applied: 288
Multi commodity flow cuts applied: 24
Gomory fractional cuts applied: 1

Root node processing (before b&c):
  Real time           = 3.63 sec. (2556.36 ticks)
Parallel b&c, 12 threads:
  Real time           = 0.00 sec. (0.00 ticks)
  Sync time (average) = 0.00 sec.
  Wait time (average) = 0.00 sec.

Total (root+branch&cut) = 3.63 sec. (2556.36 ticks)

```

Se puede observar que esta fue la mejor corrida, se encontró el óptimo en tan solo 3,8 segundos. En base a lo analizado previamente, era esperable que esta corrida fuese la mejor, ya que se combinaba la restricción de simetría con la de máxima cantidad de lavados, pero ahora reduciendo esta cantidad en un 27%.

## 2.7. Paso 7

El tiempo total de lavados obtenido con el algoritmo greedy utilizado en entregas anteriores fue de 182. Se realizaron corridas utilizando programación lineal entera y se logró encontrar un resultado considerablemente mejor, de valor 117. Esta diferencia se debe a que el algoritmo greedy toma decisiones basadas en información local en cada paso, y no puede volver atrás, por lo que, para este problema, significa una solución no óptima, aunque tiene la ventaja de obtenerla en un tiempo muy corto.

La solución obtenida por PLE con las restricciones adicionales que se fueron añadiendo fue superior en cuanto al resultado, logrando alcanzar el óptimo de 117, y en un tiempo razonable, mucho menor al tiempo de ejecución que se obtenía simplemente de plantear el problema de coloración de grafos sin las restricciones extra.

## 3. Conclusión

En la primera entrega se logró resolver el problema en un tiempo acotado con un algoritmo greedy para coloración de grafos, pero con un resultado muy lejano al óptimo a medida que el tamaño del problema aumentaba, por lo que fue necesario en la segunda entrega buscar alternativas para intentar mejorarlo. Esto se logró parcialmente, ya que mejoró el resultado, pero aún se estaba lejos del óptimo, como podía observarse en el sitio de la materia al comparar con otros alumnos. En la tercera entrega se planteó un modelo de programación lineal pero nunca se lo corrió.

En la presente entrega se pudo comparar la solución al problema obtenida mediante el algoritmo greedy con la obtenida mediante programación lineal entera. En todos los casos la solución con PLE fue mejor que la greedy, aunque algunas necesitaron un tiempo mucho mayor de ejecución para que el resultado fuera mejor con una gran diferencia y no sólo levemente.

Se logró mejorar el resultado y reducir su tiempo de ejecución con dos cambios en las restricciones. En primer lugar, limitar la cantidad de lavados mediante el resultado obtenido con alguna heurística. Esto permitió reducir la cantidad de variables del modelo, ya que no fueron necesarias todas las bivalentes para indicar si esa prenda correspondía a ese lavado. Con esto se redujo considerablemente el tiempo en el que el modelo se acercaba al óptimo, pero de todas formas fue necesario cortar la ejecución a los 10 minutos. Esto muestra que el dato obtenido con la heurística es de utilidad para el modelo.

Lo que permitió finalmente encontrar la solución en un tiempo acotado fue la restricción adicional de simetría, eliminando soluciones equivalentes. Combinándola con la anterior, se logró dar con un modelo que encuentra el óptimo en menos de 4 segundos.