

Trabajo Práctico 3

[91.04] Modelos y Optimización I

Primer Cuatrimestre de 2024

Alumno:	Vilardo, Ezequiel
Padron:	104980
Mail:	evilardo@fi.uba.ar

Índice

[91.04] Modelos y Optimización I	1
Primer Cuatrimestre de 2024	1
Índice	2
Primer entrega:	3
Segunda entrega:	3
Tercer entrega:	4
Primer paso:	4
Segundo paso:	5
Estadísticos	5
Registros del motor	6
Registro de scripts	8
Tercer paso:	9
Estadísticos	9
Registros del motor	10
Cuarto paso:	11
Estadísticos	11
Registros del motor	12
Registros de scripts	13
Quinto paso:	13
Estadísticos	13
Registros del motor	14
Sexto paso:	15
Estadísticos	15
Registros del motor	15
Séptimo paso:	16

Primer entrega:

Me enfoque más en solucionar el problema que en el resultado, me apoyo en POO para hacerlo sencillo y óptimo en cuanto a rendimiento. Al principio arranque recorriendo el array de prendas en orden e incorporándose al lavado si eran compatibles.

Después lo optimize ordenando el array de prendas de las que más tardaban en lavarse a las que menos, lo volví a iterar y agregue que en caso de empate agregue que vaya primero la que menos restricciones tenga.

Segunda entrega:

En esta entrega me trabe un poco al principio porque no se me ocurría qué camino podría tomar, así que arranque cambiando los criterios de ordenamiento del array, en vez de por tiempo por incompatibilidades pero no obtuve un resultado mejor.

Viendo esto cambie el algoritmo por uno similar a uno de coloreo de grafos que en principio me dio una solución peor, volviendo a ordenar por tiempos descendente e incompatibilidades descendente en caso de empate conseguí mejorar mi solución inicial y terminar top 2.

```

● PS C:\Users\ezequ\Documents\GitHub\Lavado-Prendas> python .\resolucion.py
Se hicieron: 11 lavados.
El tiempo que tardo en lavar todo es: 123
El tiempo que tardo en correr el script es: 0.0019991397857666016 segs.
● PS C:\Users\ezequ\Documents\GitHub\Lavado-Prendas> python .\resolucion.py
Se hicieron: 11 lavados.
El tiempo que tardo en lavar todo es: 123
El tiempo que tardo en correr el script es: 0.003509521484375 segs.
● PS C:\Users\ezequ\Documents\GitHub\Lavado-Prendas> python .\resolucion.py
Se hicieron: 11 lavados.
El tiempo que tardo en lavar todo es: 123
El tiempo que tardo en correr el script es: 0.0029981136322021484 segs.
● PS C:\Users\ezequ\Documents\GitHub\Lavado-Prendas> python .\resolucion.py
Se hicieron: 11 lavados.
El tiempo que tardo en lavar todo es: 123
El tiempo que tardo en correr el script es: 0.0039980411529541016 segs.
● PS C:\Users\ezequ\Documents\GitHub\Lavado-Prendas> python .\resolucion.py
Se hicieron: 11 lavados.
El tiempo que tardo en lavar todo es: 123
El tiempo que tardo en correr el script es: 0.002508401870727539 segs.
● PS C:\Users\ezequ\Documents\GitHub\Lavado-Prendas> python .\resolucion.py
Se hicieron: 11 lavados.
El tiempo que tardo en lavar todo es: 123
El tiempo que tardo en correr el script es: 0.003069639205932617 segs.
● PS C:\Users\ezequ\Documents\GitHub\Lavado-Prendas> python .\resolucion.py
Se hicieron: 11 lavados.
El tiempo que tardo en lavar todo es: 123
El tiempo que tardo en correr el script es: 0.003000020980834961 segs.
● PS C:\Users\ezequ\Documents\GitHub\Lavado-Prendas> python .\resolucion.py
Se hicieron: 11 lavados.
El tiempo que tardo en lavar todo es: 123
El tiempo que tardo en correr el script es: 0.00299835205078125 segs.

```

126	99	6
127	83	6
128	20	6
129	45	6
130	57	6
131	95	7
132	81	7
133	78	7
134	72	8
135	135	8
136	36	9
137	116	10
138	74	11
139		

Tercer entrega:

Primer paso:

Como primer paso corremos la heurística sobre la que venía iterando desde el TP1

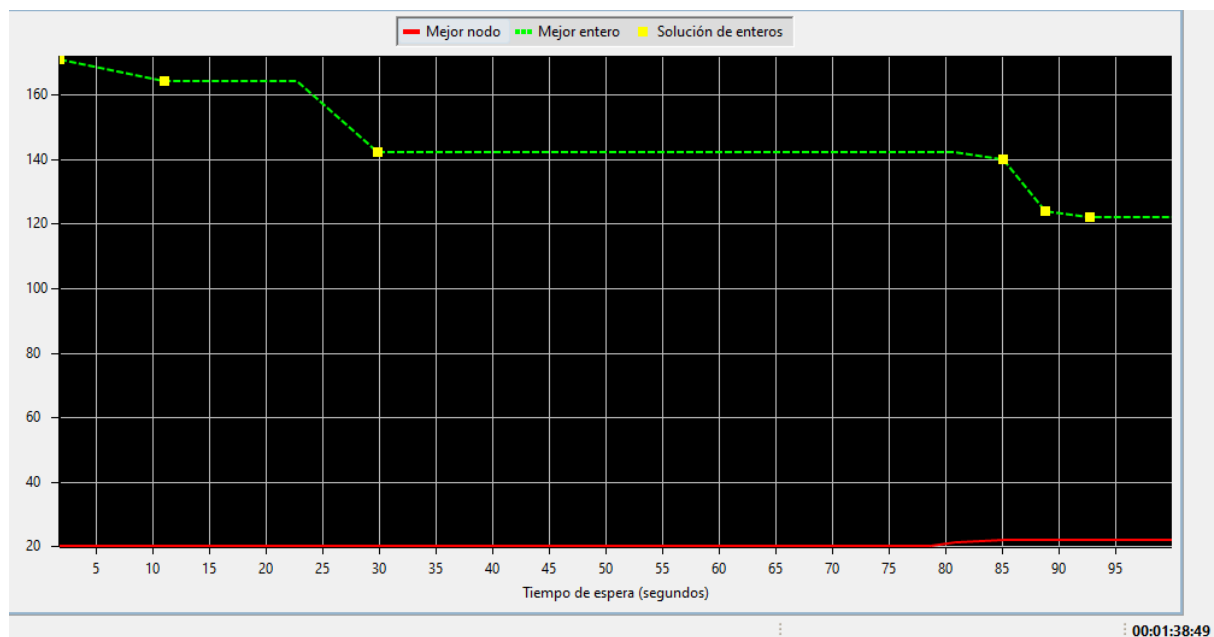
Se puede observar que para el input dado en este TP se están usando 11 lavados, estos tardan 123 unidades de tiempo y al script le está tomando aproximadamente entre 0,002 a 0,004 segundos correr.

Segundo paso:

Realizamos una primera corrida con el algoritmo provisto en CPLEX, de la cual analizaremos sus primeros 90 segundos.

Analizo pestaña por pestaña

Estadísticos



Se puede observar cómo a lo largo de los 90 segundos se va consiguiendo soluciones donde el funcional es cada vez menor, arranca en el orden de los 171 para terminar en 122, consiguiendo ya una solución mejor a mi heurística.

Registros del motor

Apenas arranca sale por pantalla:

```
Version identifier: 22.1.1.0 | 2022-11-27 | 9160aff4d
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 = 0,22 sec. (253,66 ticks)
Found incumbent of value 2760,000000 after 0,31 sec. (403,01 ticks)
Probing time = 0,08 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 = 0,36 sec. (391,75 ticks)
Probing time = 0,08 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 = 0,50 sec. (488,70 ticks)
```

Que nos cuenta un poco qué versión estamos corriendo, fecha de esta y un identificador de versión, mas abajo nos dice que aplicó una estrategia de agregación con la que eliminó 120467 filas y 0 columnas simplificando el problema, además menciona que el problema quedó reducido a 34783 filas, 19182 columnas y 121915 elementos diferentes a 0.

También quiso identificar simetrías para eliminarlas pero no encontró por lo que el problema quedó dispuesto de la misma forma que antes.

Después aclara que métodos de búsqueda utilizada, en este caso búsqueda dinámica, además de la cantidad de threads que utilizara en una corrida determinista.

La salida tiene además otra tabla:

	Nodes		Objective	IInf	Best Integer	Cuts/		ItCnt	Gap
	Node	Left				Best	Bound		
*	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 = 52,59 sec. (86093,18 ticks, tree = 0,02 MB, solutions = 9)									
	1	3	37,0000	1017	142,0000	20,0000		56376	85,92%

Donde se hace mención del nodo actual de búsqueda y de los restantes, el valor objetivo que estamos buscando y IInf que es la cantidad de restricciones violadas por la solución.

Está presente también *Best Integer* que es el mejor valor posible que entramos para el funcional hasta ahora y *Best Bound* que es una estimación de una posible solución que “podemos” encontrar.

Y cerramos con *ItCnt* que es un contador de interacciones y *Gap* que es la diferencia entre el mejor valor del funcional que encontramos y el ideal estimado.

Podemos ver que la primera solución encontrada está en 2760 y rápidamente evolucionamos hasta un valor más cercano a la heurística nuestra, pasando a 171 y mejorando a lo largo que aumentan las iteraciones.

```

    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 = 96,23 sec. (116015,76 ticks, tree = 4,27 MB, solutions = 16)
    759  426    82,6004  925    122,0000    21,9753  1287965  81,99%

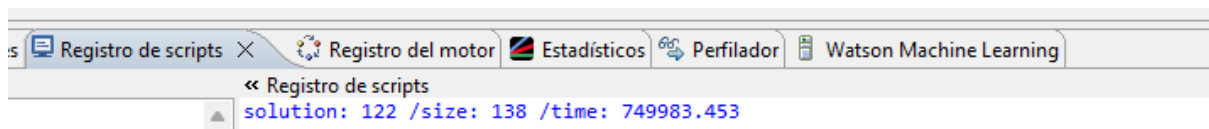
Implied bound cuts applied: 5861
Zero-half cuts applied: 300
Gomory fractional cuts applied: 4

Root node processing (before b&c):
  Real time      = 52,36 sec. (85899,48 ticks)
Parallel b&c, 12 threads:
  Real time      = 45,77 sec. (31473,85 ticks)
  Sync time (average) = 9,73 sec.
  Wait time (average) = 0,00 sec.
-----
Total (root+branch&cut) = 98,12 sec. (117373,33 ticks)

```

Para terminar finalmente con 122 a los 98 segundos, podemos ver que la encontró en el nodo 652, tiene 0 restricciones incumplidas y le costo 1106265 iteraciones y todavía considera posible hallar un óptimo de valor 21,9753. Sobre el final menciona cuántos cortes se hicieron y de qué tipo son además del tiempo total de ejecución.

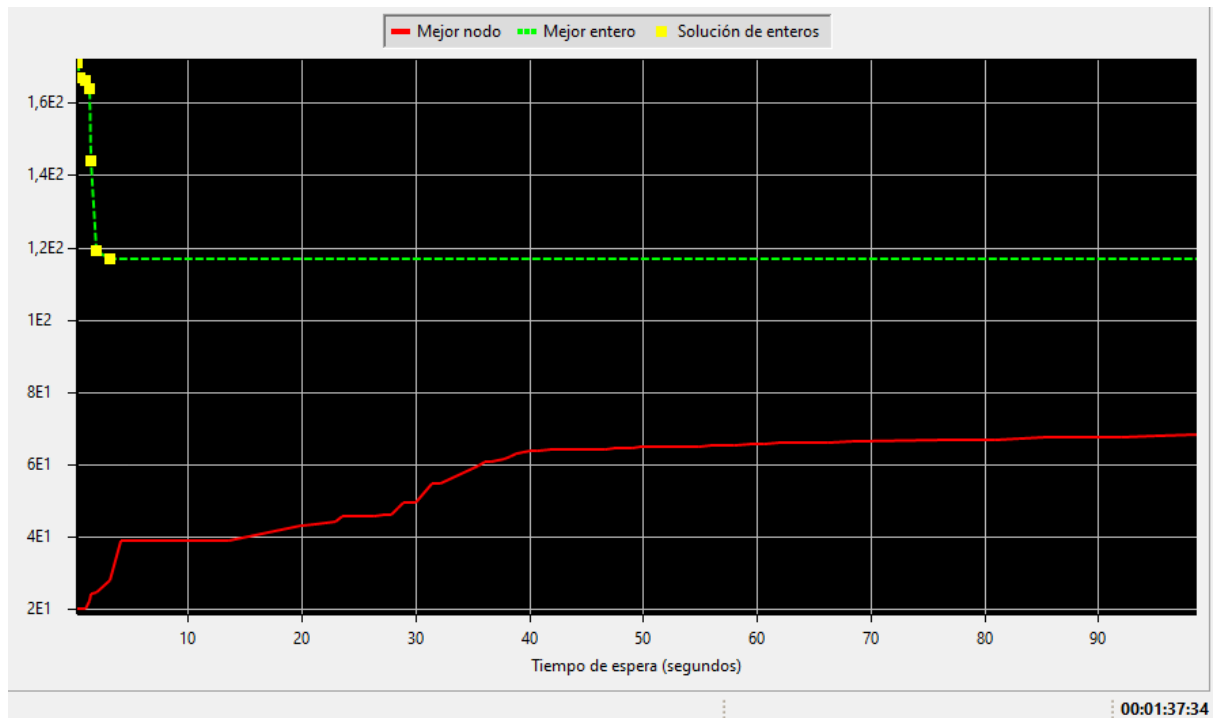
Registro de scripts



Aca termina haciendo un resumen de la mejor solución válida encontrada, además del tamaño de la búsqueda y el tiempo consumido.

Tercer paso:

Estadísticos



Acotando el problema que solo pueda usar 15 colores se observa que la mejora en el funcional es mucho más explosivo que antes, logran llegar al valor óptimo de 117, a partir del cual queda estancado.

Registros del motor

```

Problemas Soluciones Conflictos Relajaciones Registro de scripts Registro del motor X
Version identifier: 22.1.1.0 | 2022-11-27 | 9160aff4d
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 = 0,02 sec. (23,27 ticks)
Found incumbent of value 300,000000 after 0,03 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 = 0,00 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 = 0,08 sec. (148,88 ticks)

```

La principal diferencia que se puede encontrar es que el modelo a solucionar ya es mucho más chico, teniendo solo 3945 filas, 2085 columnas y 13532 valores diferentes a 0 comparados con las anteriores 34783 filas, 19182 columnas y 121915 elementos diferentes a 0.

Esto permitió no solo reducir la fase de armado del problema sino la cantidad de cortes a realizar

```

Clique cuts applied: 18
Implied bound cuts applied: 382
Flow cuts applied: 175
Mixed integer rounding cuts applied: 542
Zero-half cuts applied: 97
Gomory fractional cuts applied: 77

Root node processing (before b&c):
  Real time = 4,03 sec. (6430,36 ticks)
Parallel b&c, 12 threads:
  Real time = 93,22 sec. (85365,78 ticks)
  Sync time (average) = 16,39 sec.
  Wait time (average) = 0,02 sec.
-----
Total (root+branch&cut) = 97,25 sec. (91796,13 ticks)

```

La solución pasó de 122 a 117

*	0	0	25,0750	1044	117,0000	Cuts: 490	24423	11,94%
	0+	0			117,0000	26,2563		77,56%
	0	0	25,0750	1044	117,0000	Cuts: 510	25444	76,15%

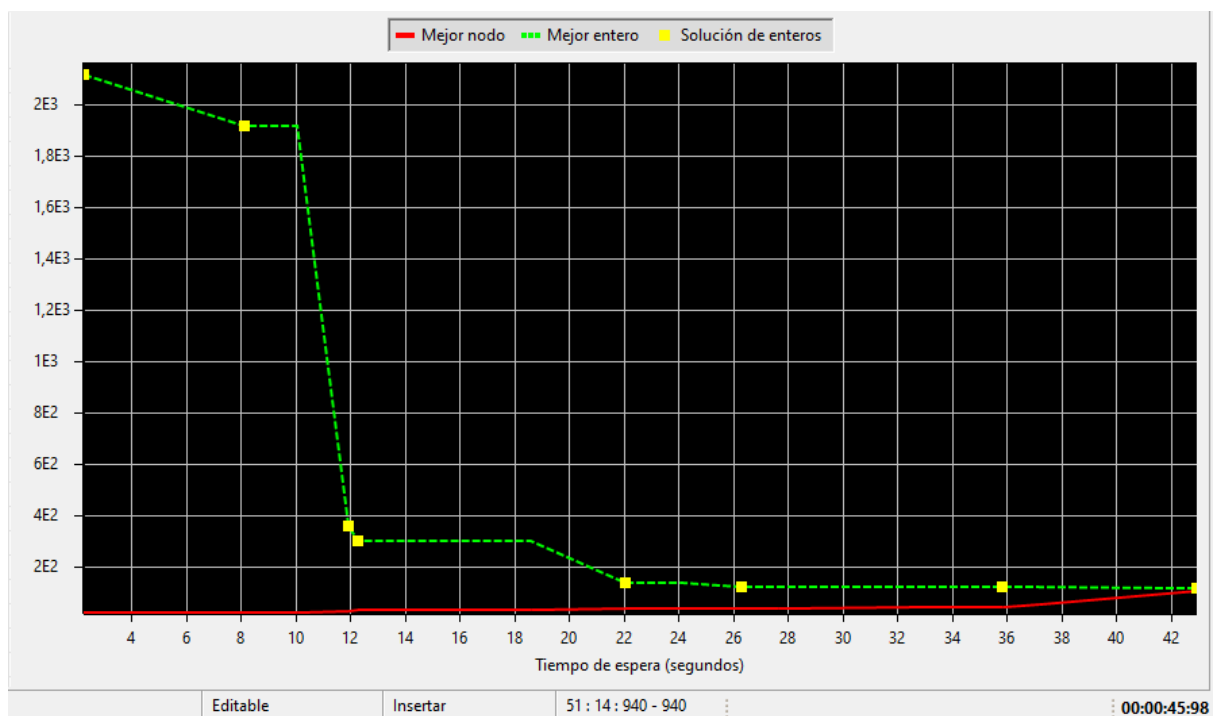
además de reacomodar la estimación de la posible mejor solución de los aprox 22 a 68,0795

54280 44438 94,5813 341 117,0000 68,0795 5829463 41,81%

Cuarto paso:

Estadísticos

Volviendo atrás la restricción de solo usar 15 colores pero ahora con la restricción de simetría activada.



Si bien ya no se ve esa explosión al principio ya que el armado es igual de complejo al algoritmo original pero se resuelve mucho más rápido, ya es un problema que termina de ejecutarse en 45,98 segundos, alcanzando finalmente una solución óptima de 117.

Registros del motor

```

Version identifier: 22.1.1.0 | 2022-11-27 | 9160aff4d
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 = 0,22 sec. (253,34 ticks)
Found incumbent of value 2760,000000 after 0,36 sec. (465,00 ticks)
Probing time = 0,08 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 = 0,09 sec. (144,06 ticks)
Probing time = 0,08 sec. (13,14 ticks)
Clique 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 = 1,16 sec. (1059,19 ticks)

```

Vemos que el tamaño del problema vuelve a ser similar al comienzo en cuanto a filas, columnas y valores diferentes a 0.

```

Elapsed time = 41,05 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      0    117,0000    108,6405    297345     7,14%
 7204  843    115,0000   108    117,0000    113,1297    336454     3,31%

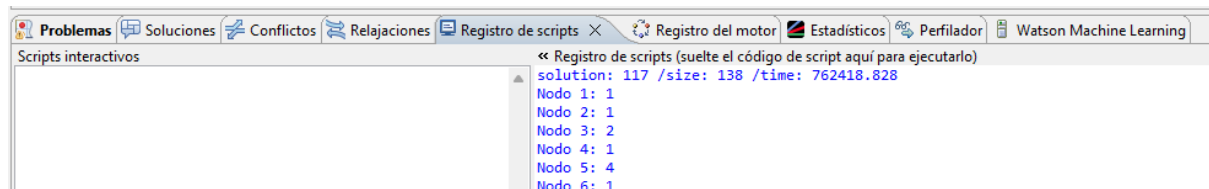
Clique cuts applied: 10
Implied bound cuts applied: 1436
Mixed integer rounding cuts applied: 5
Zero-half cuts applied: 35
Gomory fractional cuts applied: 24

Root node processing (before b&c):
  Real time           =   36,73 sec. (54096,14 ticks)
Parallel b&c, 12 threads:
  Real time           =     8,81 sec. (6593,63 ticks)
  Sync time (average) =     2,50 sec.
  Wait time (average) =     0,00 sec.
-----
Total (root+branch&cut) =   45,55 sec. (60689,78 ticks)

```

Pero al eliminar simetrías nos permite bajar exponencialmente la cantidad de interacciones necesarias ya que no debíamos pasar por la búsqueda de soluciones con un resultado similar a sus simétricos. Es por esto que nos basto con 336454 iteraciones vs 1106265 del problema original.

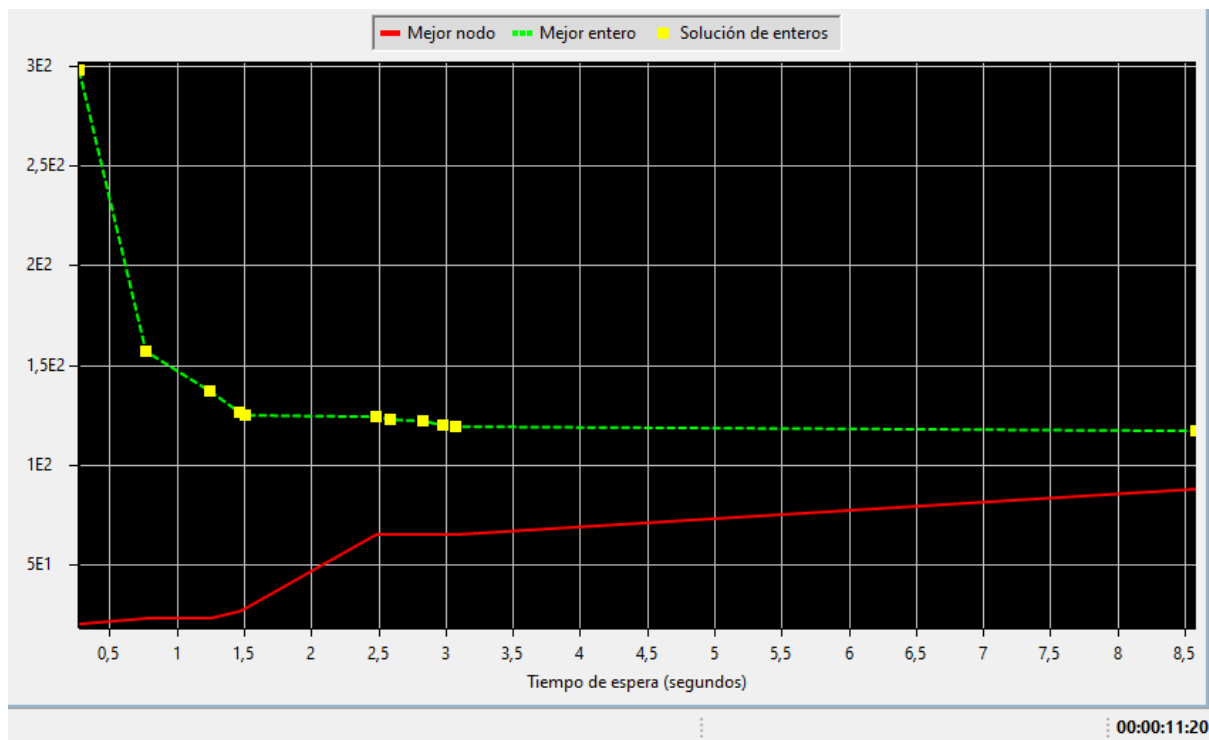
Registros de scripts



Ya aparece una distribución válida para las prendas en los diferentes lavados.

Quinto paso:

Estadísticos



Al volver a incorporar el límite de 15 colores sumado a la simetría tenemos las 2 bondades descritas en los pasos anteriores juntas, el armado es rápido y al ahorrarnos el verificar las simetrías la búsqueda también es rápida, permitiéndonos alcanzar la solución en solo 11,2 segundos.

Registros del motor

```
Version identifier: 22.1.1.0 | 2022-11-27 | 9160aff4d
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 0,05 sec. (53,08 ticks)
Probing time = 0,02 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 = 0,00 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 = 0,08 sec. (136,45 ticks)
```

Nuevamente el problema vuelve a ser de menor complejidad en cuanto a su tamaño por la restricción de colores.

6011	2	87,8279	391	117,0000	87,8279	224914	24,93%
Elapsed time = 8,52 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
```

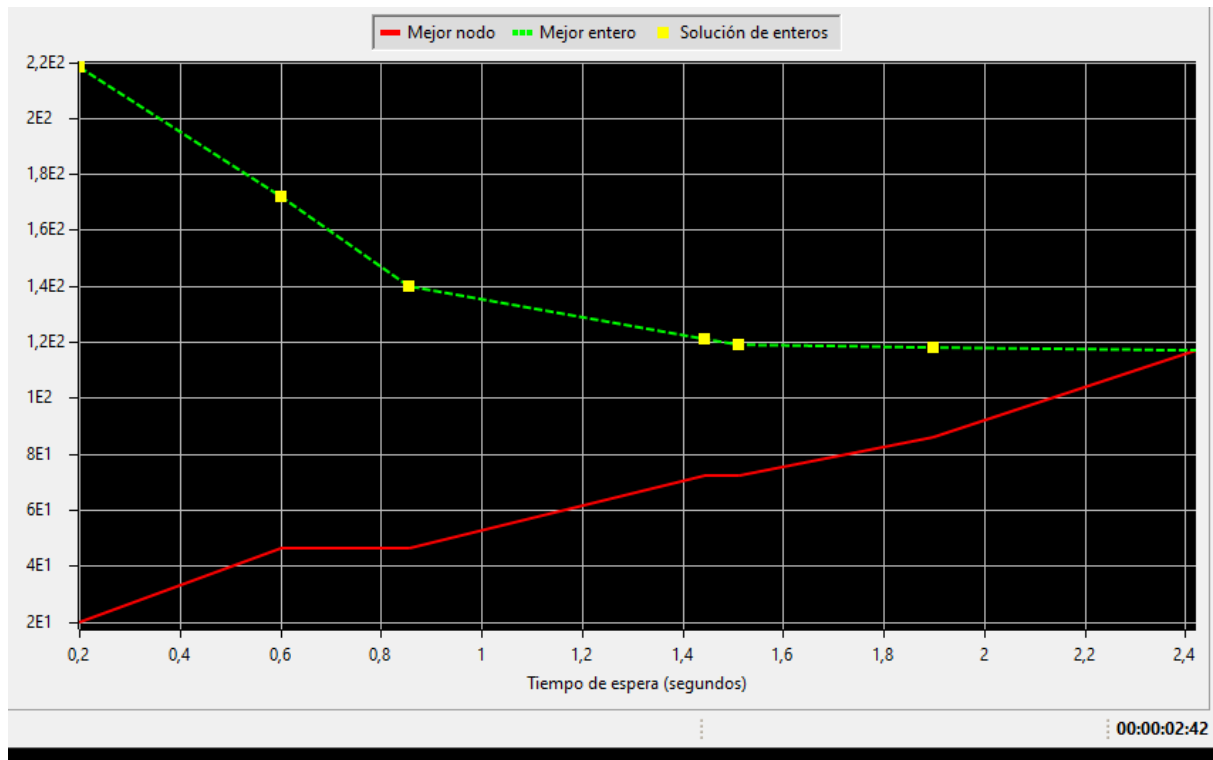
```
Root node processing (before b&c):
  Real time                = 2,17 sec. (3100,18 ticks)
Parallel b&c, 12 threads:
  Real time                = 8,95 sec. (9804,24 ticks)
  Sync time (average)      = 1,53 sec.
  Wait time (average)      = 0,01 sec.
-----
Total (root+branch&cut) = 11,12 sec. (12904,41 ticks)
```

Además de llegar a la solución final con muy pocos cortes comparado a las ejecuciones anteriores.

Sexto paso:

Estadísticos

Ya con la limitación a 11 colores la solución llega a su solución final de forma muy rápida



Bastando con solo 2,42 segundos para alcanzar el óptimo y completa la búsqueda.

Permitiendo encontrar la solución en la etapa de armado previo al branch & cut.

Registros del motor

Al bajar en 1 color, nuevamente la solución es menor complejidad al paso anterior

```
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.
```

	Nodes		Objective	IInf	Best Integer	Cuts/ Best Bound	ItCnt	Gap
Node	Left							
*	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 = 2,34 sec. (2556,18 ticks, tree = 0,01 MB, solutions = 8)

Puede observarse cómo llega a la solución óptima en la fase de armado, además de por fin llegar al 0% en el gap que era la diferencia entre el mejor valor encontrado y un estimado del mejor valor posible. Brecha que no habíamos podido llegar a cerrar en las ejecuciones anteriores.

En este caso nos alcanzó con sólo 15356 iteraciones para alcanzar el final.

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 = 2,34 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) = 2,34 sec. (2556,36 ticks)

Séptimo paso:

La heurística armada para los tps 1 y 2 no queda tan mal parada en contra de la versión en CPLEX ya que consumiendo solo el 0,17% del tiempo de esta logra un resultado un solo un 5,12% peor, faltaría más experimentación para tomar una decisión final, por ejemplo qué sucede si aumentamos la cantidad de prendas y de restricciones, ¿se mantendrá la diferencia del tiempo de ejecución en forma de la heurística? ¿La solución de la heurística empeora al aumentar la complejidad del problema?

Es por eso que le quise dar una vuelta más de rosca a esta comparación y tome el input del TP2 que en mi solución obtiene un resultado de 38 lavados en los que tardaba 476 unidades de tiempo, con un tiempo de corrida de alrededor de 0,1 segundos.

```
Se hicieron: 38 lavados.
El tiempo que tardo en lavar todo es: 476
El tiempo que tardo en correr el script es: 0.09351038932800293 segs.
```

Y lo metí en el .dat de CPLEX acomodando con un script para poder correrlo y lo deje corriendo con las optimizaciones de la simetría y de 38 lavados que era lo hallado por mi heurística a ver que tanto podía mejorar mi solución y cuanto tiempo le costaría.

```
Problemas Soluciones Conflictos Relaciones Registro de scripts Registro del motor Estadísticas Perfilador Watson Machine Learning
MIP Presolve modified 78528 coefficients.
Reduced MIP has 85968 rows, 14668 columns, and 874378 nonzeros.
Reduced MIP has 14630 binaries, 38 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 5,66 sec. (7653,89 ticks)
Probing time = 0,09 sec. (17,47 ticks)
Tried aggregator 1 time.
Detecting symmetries...
Reduced MIP has 85968 rows, 14668 columns, and 874378 nonzeros.
Reduced MIP has 14630 binaries, 38 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0,80 sec. (1053,32 ticks)
Probing time = 0,08 sec. (16,20 ticks)
Click table members: 71299.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
MIP search method: dynamic search.
Parallel mode: deterministic, using up to 12 threads.
Root relaxation solution time = 34,44 sec. (19984,76 ticks)

Nodes
Node Left Objective IInf Best Integer Cuts/Best Bound ItCnt Gap
0 0 20,0000 8205 20,0000 22706
```

Luego de 30 minutos de no ver solución, trabajé un poco más buscando un valor para el límite de colores con el cual en algún momento me mostrase una solución óptima pero no tuve suerte, los tiempos parecían ser demasiado largos, lo cual tenía sentido al tratarse un problema NP pero quería obtener más información para poder comparar contra mi heurística. Explore también si existía la posibilidad de correr CPLEX usando la GPU, conocidas por ser mejores a la hora del cálculo al menos en criptografía, pero no encontré implementaciones.

Por lo que concluí que una buena heurística tiene la ventaja para este tipo de problemas.