



U.B.A. FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Computación

71.14 - Modelos y Optimización I

2022

Segundo Cuatrimestre

TP 1 - Entrega Final

| APELLIDO, Nombre | Nº PADRÓN |
|-------------------------|------------------|
| GADDI, María Pilar | 105682 |

| | |
|---|-----------|
| Enunciado | 2 |
| Paso 1: Correr nuestra propia heurística sobre la nueva instancia | 3 |
| Paso 2: Correr el código sin cambios | 3 |
| Paso 3: Sabiendo que existe una solución que usa 15 lavados, ver cómo acelerar reduciendo el modelo | 6 |
| Paso 4: Volviendo al modelo original, descomentar la restricción "simetría". | 8 |
| Paso 5: Modificar el modelo del punto anterior para que aproveche el límite de 15 lavados. | 10 |
| Paso 6: Comparar el paso 3 y el 5, repetir la prueba sabiendo que existe una solución de 11 lavados. | 12 |
| Paso 7: Comparar en el informe la heurística (paso 1) con la solución mediante programación lineal entera. | 15 |
| Conclusión final | 16 |

Enunciado

En esta cuarta entrega se pide que busquen el OPTIMO y lo suban a modelosuno.okapii.com, es MUY recomendable usar el código provisto CPLEX

https://modelosuno.okapii.com/content/modelos_wvcp.zip

Armar un informe con cada uno de los pasos, incluir gráficos (solapas "Statistics", "Engine log", "Scripting log", etc.) y todo lo que consideren pertinente / interesante. El gráfico de "Statistics" tomarlo en los primeros 90 seg

Pasos

- 1) Corran su heurística sobre la instancia. Registren el resultado obtenido.
- 2) Prueben correr el código sin cambios, pueden detenerlo a los 10 minutos si no termina. Indicar en el informe todo lo que notan de esta corrida.
- 3) Sabiendo que existe una solución que usa 15 lavados (se obtuvo mediante una heurística) ver como acelerar reduciendo el modelo (cantidad de restricciones), pueden detenerlo a los 10 minutos si no termina. Indicar en el informe todo lo que notan de esta corrida
- 4) Volviendo al modelo original (sin el límite de 15 lavados), descomentar la restricción "simetría". Indicar en el informe todo lo que notan de esta corrida
- 5) Modificar el modelo del punto anterior para que aproveche el límite de 15 lavados. Indicar en el informe todo lo que notan de esta corrida
- 6) Comparar el paso 3 y el 5, repetir la prueba sabiendo que existe una solución de 11 lavados
- 7) Comparar en el informe la heurística (paso 1) con la solución mediante programación lineal entera

En el repo github creen un archivo "**entrega_4.pdf**", debe contener un informe final indicando las experiencias de todas las entregas, ideas y conclusiones que fueron sacado. Informe de los pasos de esta entrega.

Paso 1: Correr nuestra propia heurística sobre la nueva instancia

En este primer paso se pide correr nuestra propia heurística (realizada en el trabajo práctico 2) sobre una nueva instancia (cuarto_problema.txt). En este caso, se obtuvo una solución que resuelve el problema utilizando 10 grupos de lavado, con un tiempo total de 123 unidades de tiempo.

La asignación de grupos a cada una de las prendas se encuentra en el archivo cuarta_solucion.txt.

Paso 2: Correr el código sin cambios

En este segundo paso se pide correr el código provisto sin cambios. Luego de corrido los 10 minutos no se notaron cambios, por lo que se detuvo la ejecución. Es clave remarcar que la corrida en este caso no arrojó ninguna solución ya que nunca terminó.

A partir de la **figura 1** es interesante observar que CPLEX llegó a obtener soluciones enteras, que la mejor antes del límite de tiempo es 119 y que en el peor de los casos es un 83,19% superior al óptimo (gap). De esta forma podemos interpretar que la mejor solución para poder completar todos los lavados es de 119 unidades de tiempo. Para poder llegar a esta solución se tardó 1089,93 segundos y se obtuvo un total de 20 soluciones distintas en toda la corrida.

Mientras CPLEX progresa en la búsqueda de soluciones enteras va encontrando cotas superiores e inferiores para el óptimo, en un problema de minimización toda solución factible será una cota superior (ya que el óptimo puede ser esa solución u otra con menor valor) y una cota inferior será el óptimo del mismo problema sin forzar a las variables a ser enteras (como se quitan restricciones el óptimo será ese u otro con mayor valor); teniendo estas dos cotas podemos saber a qué distancia máxima estamos del óptimo real, esto es lo que indica el “Gap”.

| Nodes | | | | | Cuts/ | | Gap |
|-------|------|-----------|------|--------------|------------|---------|--------|
| Node | Left | Objective | Inf | Best Integer | Best Bound | ItCnt | |
| 1071 | 721 | 39,0000 | 1121 | 119,0000 | 20,0000 | 1658772 | 83,19% |
| 1076 | 730 | 39,0000 | 1223 | 119,0000 | 20,0000 | 1708634 | 83,19% |
| 1079 | 721 | 37,0000 | 1255 | 119,0000 | 20,0000 | 1686851 | 83,19% |
| 1083 | 734 | 39,0000 | 1105 | 119,0000 | 20,0000 | 1720860 | 83,19% |
| 1089 | 736 | 39,0000 | 1274 | 119,0000 | 20,0000 | 1726428 | 83,19% |
| 1091 | 741 | 37,0000 | 1371 | 119,0000 | 20,0000 | 1773415 | 83,19% |
| 1097 | 752 | 39,0000 | 960 | 119,0000 | 20,0000 | 1798574 | 83,19% |
| 1101 | 755 | 37,0000 | 1397 | 119,0000 | 20,0000 | 1814960 | 83,19% |
| 1105 | 756 | 37,0000 | 1339 | 119,0000 | 20,0000 | 1818550 | 83,19% |
| 1120 | 770 | 39,0000 | 977 | 119,0000 | 20,0000 | 1876837 | 83,19% |

Elapsed time = 1089,93 sec. (170535,56 ticks, tree = 10,93 MB, solutions = 20)

Figura 1: Gráfico Engine Log con mejor solución entera encontrada

Por otro lado, CPLEX muestra la evolución de las soluciones encontradas en la solapa “Statistics”:

- Best Node es la mejor solución continua.
- Integer solution una solución entera encontrada.

- Best Integer la evolución de la mejor solución entera.

En la **figura 2** se visualiza algunas de las soluciones enteras encontradas y como estas fueron evolucionando hacia una mejor solución, en particular se pueden notar soluciones entre los segundos 440 y 470.

También puede apreciar que la mejor solución continua es 0 constantemente.

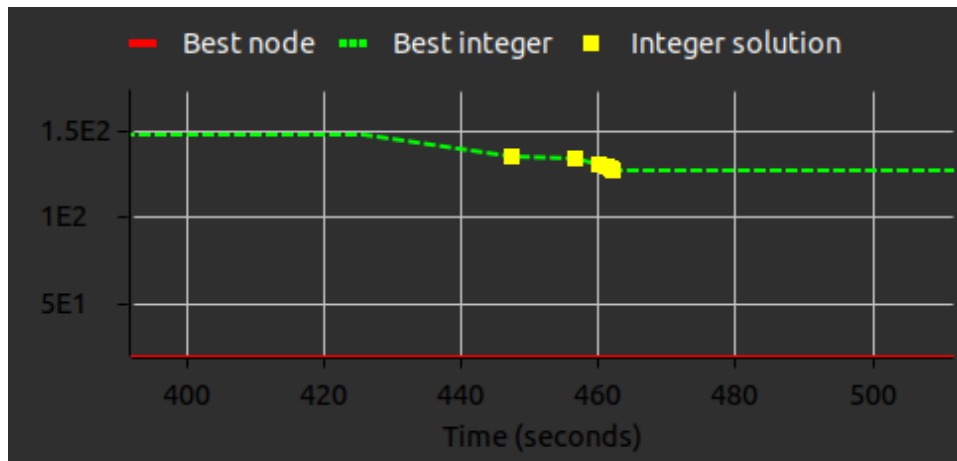


Figura 2: Gráfico Statistics con evolución entre los 400 y 500 segundos

Según la **figura 3** donde se visualiza el gráfico Engine Log dentro de los 393,84 y 464,45 segundos, se pueden observar soluciones enteras entre los 135 y 128 unidades de tiempo. Por este motivo se puede concluir que en el gráfico statistics de la **figura 2** se muestran soluciones enteras dentro de ese mismo rango, al estar analizándose ambas figuras en el mismo periodo de tiempo.

Analizando con mayor profundidad el gráfico de la **figura 3**, se tendrán 7 soluciones durante el periodo de tiempo definido anteriormente (entre los 393,84 y 464,45 segundos):

14 soluciones del segundo 464,45

7 soluciones del segundo 393,84

$14 - 7 = 7$ nuevas soluciones en ese periodo de tiempo

Estas observaciones son las que se visualizan en el gráfico de la **figura 2**.

| | | Nodes | | | Cuts/ | | |
|---|------|-----------|------|-----------------|------------|--------|--------|
| Node | Left | Objective | Inf | Best Integer | Best Bound | ItCnt | Gap |
| Elapsed time = 393,84 sec. (84142,17 ticks, tree = 0,47 MB, solutions = 7) | | | | | | | |
| 67 | 66 | 46,2868 | 1275 | 147,0000 | 20,0000 | 299763 | 86,39% |
| 75 | 70 | 76,0000 | 599 | 147,0000 | 20,0000 | 316506 | 86,39% |
| 85 | 68 | 20,0000 | 2194 | 147,0000 | 20,0000 | 311883 | 86,39% |
| 106 | 91 | 132,0000 | 220 | 147,0000 | 20,0000 | 336259 | 86,39% |
| * 134+ | 96 | | | 135,0000 | 20,0000 | | 85,19% |
| 134 | 95 | 135,0000 | 0 | 135,0000 | 20,0000 | 348914 | 85,19% |
| 143 | 112 | 104,0000 | 542 | 135,0000 | 20,0000 | 392514 | 85,19% |
| 152 | 124 | 65,0000 | 732 | 135,0000 | 20,0000 | 411897 | 85,19% |
| 161 | 141 | 118,6556 | 265 | 135,0000 | 20,0000 | 453010 | 85,19% |
| * 201+ | 172 | | | 134,0000 | 20,0000 | | 85,07% |
| 211 | 131 | 52,0000 | 992 | 134,0000 | 20,0000 | 441728 | 85,07% |
| * 223+ | 180 | | | 131,0000 | 20,0000 | | 84,73% |
| * 223+ | 180 | | | 130,0000 | 20,0000 | | 84,62% |
| * 234+ | 168 | | | 129,0000 | 20,0000 | | 84,50% |
| * 240 | 164 | integral | 0 | 128,0000 | 20,0000 | 479935 | 84,37% |
| * 243 | 160 | integral | 0 | 127,0000 | 20,0000 | 479938 | 84,25% |
| 247 | 135 | 52,0000 | 738 | 127,0000 | 20,0000 | 448831 | 84,25% |
| Elapsed time = 464,45 sec. (94383,35 ticks, tree = 1,84 MB, solutions = 14) | | | | | | | |

Figura 3: Gráfico Statistics sin mejor solución entera encontrada

Tomando evidencia del gráfico Statistics en los primeros 90 segundos (**figura 4**) se puede visualizar que la primera solución entera encontrada está por encima de 1.5×10^2 unidades de tiempo y ya las próximas se van acercando cada vez más a ese mismo número. La evolución hacia una mejor solución se puede notar en la recta punteada verde que se encuentra entre ambos puntos amarillos del gráfico.

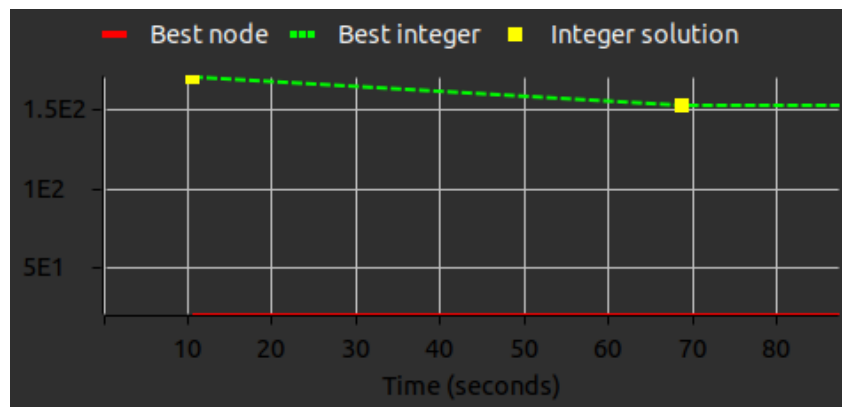


Figura 4: Gráfico Statistics en los primeros 90 segundos

Paso 3: Sabiendo que existe una solución que usa 15 lavados, ver cómo acelerar reduciendo el modelo

En este paso se pide que, sabiendo que existe una solución que usa 15 lavados, ver cómo acelerar el tiempo de lavado reduciendo el modelo. Una forma de poder lograr el objetivo es establecer un valor máximo distinto de n para la variable límite de colores. En este caso sería un máximo de 15 ya que se sabe de antemano que únicamente se necesitan 15 lavados, por ende se tendrá como máximo 15 colores distintos de prendas (pudiendo generar incompatibilidades).

Luego de corrido los 10 minutos no se notaron cambios, por lo que se detuvo la ejecución. En este caso tampoco se obtuvo una solución debido a que iba a seguir corriendo constantemente si no se frenaba la ejecución.

A partir de la **figura 5** observamos que CPLEX llegó a obtener soluciones enteras, que la mejor antes del límite de tiempo es 117 y que en el peor de los casos es un 9,40% superior al óptimo (gap). De esta forma podemos interpretar que la solución óptima para poder completar todos los lavados es de 117 unidades de tiempo. Para poder llegar a esta solución se tardó 1383,76 segundos y se obtuvo un total de 11 soluciones distintas en toda la corrida.

| Nodes | | | | | Cuts/ | | Gap |
|--|-------|-----------|-----|--------------|------------|---------|-------|
| Node | Left | Objective | Inf | Best Integer | Best Bound | ItCnt | |
| 92175 | 34708 | 112,0000 | 235 | 117,0000 | 105,9981 | 9085370 | 9,40% |
| 93022 | 35839 | 114,0000 | 411 | 117,0000 | 106,0000 | 9208505 | 9,40% |
| 93447 | 36191 | 114,0000 | 233 | 117,0000 | 106,0000 | 9264978 | 9,40% |
| 94171 | 36916 | 112,0000 | 299 | 117,0000 | 106,0000 | 9376740 | 9,40% |
| 94753 | 37270 | 114,0000 | 340 | 117,0000 | 106,0000 | 9429441 | 9,40% |
| 95510 | 37887 | 114,0000 | 298 | 117,0000 | 106,0000 | 9506985 | 9,40% |
| 96301 | 38400 | 114,3415 | 175 | 117,0000 | 106,0000 | 9579571 | 9,40% |
| 96919 | 39224 | 113,0000 | 272 | 117,0000 | 106,0000 | 9684568 | 9,40% |
| 97282 | 39452 | 110,9000 | 388 | 117,0000 | 106,0000 | 9751652 | 9,40% |
| 97722 | 39683 | 112,0000 | 249 | 117,0000 | 106,0000 | 9794817 | 9,40% |
| Elapsed time = 1383,76 sec. (433526,67 ticks, tree = 1220,63 MB, solutions = 11) | | | | | | | |

Figura 5: Gráfico Engine Log con mejor solución entera encontrada con la restricción de 15 colores distintos.

Tomando evidencia del gráfico Statistics en los primeros 90 segundos con el límite de 15 lavados (**figura 6**) se pueden visualizar algunas de las soluciones enteras encontradas y como estas fueron evolucionando hacia una mejor solución, en particular se pueden notar soluciones entre los segundos 0 y 30.

También se puede apreciar que la curva del Best Node va evolucionando a medida que pasan los segundos, acercándose a un valor de 50.

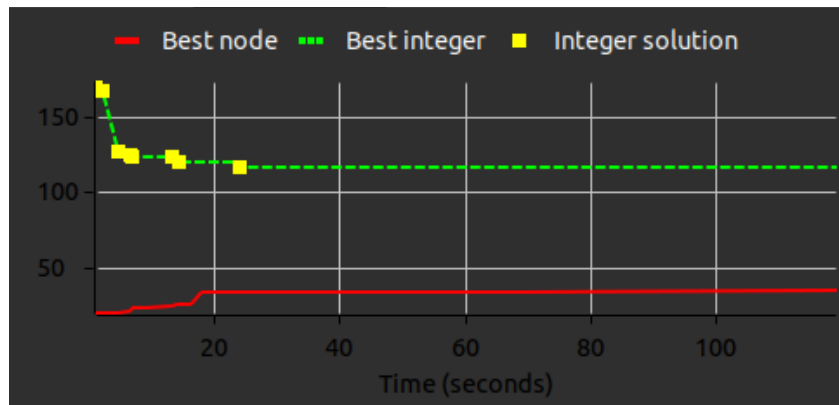


Figura 6: Gráfico Statistics en los primeros 90 segundos con la restricción de 15 colores distintos.

Comparando este modelo con el anterior (uno con la restricción de máximo 15 colores distintos y el otro sin esa restricción), la solución mejora únicamente en dos unidades de tiempo. Es decir, pasa de 119 (modelo anterior sin restricción) a 117 unidades de tiempo (modelo actual con restricción).

Paso 4: Volviendo al modelo original, descomentar la restricción "simetría".

En este paso se pide seguir con el modelo original, descomentando la restricción de simetría. Esta restricción lo que genera es que el peso del color actual sea menor o igual al peso del color anterior y mayor o igual al peso del color siguiente.

En este caso, a los 10 minutos se llega a una solución, por lo que ya se puede notar una diferencia de las demás corridas y esta misma. Luego, podemos apreciar en el gráfico de Engine Log (**figura 7**) más información sobre la corrida actual. Por ejemplo, que la solución óptima que se da es de 117 unidades de tiempo, llegando a un gap de 7,21%. Para poder llegar a esta solución se tardó 648,86 segundos y se obtuvo un total de 35 soluciones distintas en toda la corrida.

| | | Nodes | | | Cuts/ | | |
|---|------|-----------|-----|-----------------|------------|--------|--------------|
| Node | Left | Objective | Inf | Best Integer | Best Bound | ItCnt | Gap |
| 3409 | 34 | 118,0000 | 233 | 119,0000 | 59,5609 | 585586 | 49,95% |
| 3466 | 22 | 92,0313 | 296 | 119,0000 | 59,5609 | 591175 | 49,95% |
| 3537 | 17 | 109,4060 | 184 | 119,0000 | 63,7706 | 595958 | 46,41% |
| 3652 | 20 | 109,9833 | 167 | 119,0000 | 63,7706 | 599440 | 46,41% |
| 3718 | 51 | cutoff | | 119,0000 | 63,7706 | 606789 | 46,41% |
| 3796 | 122 | 114,1429 | 116 | 119,0000 | 63,7706 | 617824 | 46,41% |
| 3883 | 140 | cutoff | | 119,0000 | 63,7706 | 626396 | 46,41% |
| * 3958 | 151 | integral | 0 | 118,0000 | 63,7706 | 631766 | 45,96% |
| 4007 | 161 | 111,8750 | 105 | 118,0000 | 63,7706 | 635505 | 45,96% |
| 4148 | 225 | 108,5000 | 141 | 118,0000 | 86,6869 | 641762 | 26,54% |
| 4306 | 256 | 109,2000 | 189 | 118,0000 | 97,0857 | 649353 | 17,72% |
| Elapsed time = 642,14 sec. (184680,44 ticks, tree = 25,48 MB, solutions = 34) | | | | | | | |
| * 4323+ | 257 | | | 117,0000 | 97,0857 | | 17,02% |
| 4542 | 244 | cutoff | | 117,0000 | 108,5667 | 662950 | 7,21% |

Clique cuts applied: 6

Implied bound cuts applied: 294

Flow cuts applied: 151

Mixed integer rounding cuts applied: 325

Zero-half cuts applied: 98

Gomory fractional cuts applied: 7

Root node processing (before b&c):

Real time = 89,26 sec. (32195,93 ticks)

Parallel b&c, 4 threads:

Real time = 559,60 sec. (154253,81 ticks)

Sync time (average) = 67,98 sec.

Wait time (average) = 0,03 sec.

Total (root+branch&cut) = 648,86 sec. (186449,74 ticks)

Figura 7: Gráfico Engine Log con solución óptima encontrada incluida la restricción de simetría.

Observamos que en la **figura 8** se muestra el Scripting Log, y aquí se puede observar que la cantidad de colores totales utilizados para llegar a la solución óptima fue de 11 colores, es decir que con 11 lavados como máximo se podrán lavar todas las prendas existentes. A modo de ejemplo, solo se muestra una pequeña porción de la solapa Scripting Log para visualizar algunos nodos y sus respectivos grupos.

solution: 117 /size: 138 /time: 1668776103.384912968

Nodo 1: 3

Nodo 2: 1

Nodo 3: 1

Nodo 4: 1

...

Nodo 74: 11

Nodo 75: 1

Nodo 76: 1

Nodo 77: 2

Nodo 78: 8

Nodo 79: 1

Nodo 80: 1

Nodo 81: 10

...

Figura 8: solapa Scripting Log con nodos y sus respectivos grupos.

Por último, en la **figura 9** se puede apreciar el Gráfico Statics, en este caso se nota un descenso abrupto entre los segundos 100 y 110 para luego mostrar nuevas soluciones enteras.

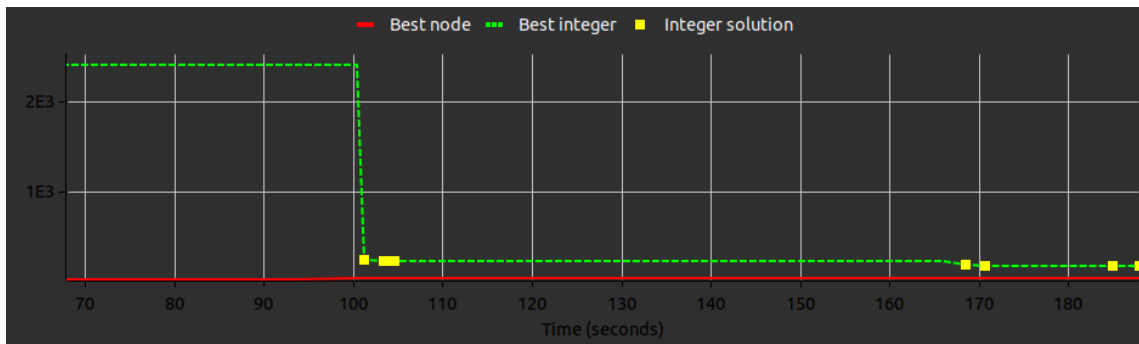


Figura 9: Gráfico Statics entre los segundos 70 y 180 para el modelo con la restricción de simetría.

Paso 5: Modificar el modelo del punto anterior para que aproveche el límite de 15 lavados.

En este paso se pide modificar el modelo original incluyendo el límite de 15 lavados, descomentando la restricción de simetría ya vista en el punto anterior.

En este caso, al minuto se llega a una solución, por lo que ya se puede notar una diferencia de las demás corridas y esta misma: no solo se llega a una solución, sino que se llega a la misma en un muy corto periodo de tiempo. Luego, podemos apreciar en el gráfico de Engine Log (**figura 10**) más información sobre la corrida actual. Por ejemplo, que la solución óptima que se da es de 117 unidades de tiempo, llegando a un gap de 3,79%. Por lo tanto, no hay diferencias en cuanto a la solución óptima para la corrida del modelo actual y el anterior, pero si se puede notar diferencias en cuanto al gap alcanzado (pasa de 7,21% a 3,79%). Para poder llegar a esta solución se tardó 61,91 segundos y se obtuvo un total de 23 soluciones distintas en toda la corrida.

| | | Nodes | | | Cuts/ | | |
|---------|------|-----------|------|--------------|------------|--------|--------|
| Node | Left | Objective | IInf | Best Integer | Best Bound | ItCnt | Gap |
| 2503 | 0 | 81,5443 | 302 | 126,0000 | Cuts: 218 | 130840 | 35,28% |
| 2503 | 0 | 83,4176 | 359 | 126,0000 | Cuts: 357 | 132694 | 33,80% |
| 2503 | 0 | 83,7489 | 362 | 126,0000 | Cuts: 331 | 133492 | 33,53% |
| 2503 | 0 | 83,7489 | 381 | 126,0000 | Cuts: 327 | 134173 | 33,53% |
| 2503 | 0 | 83,8862 | 368 | 126,0000 | Cuts: 99 | 135174 | 33,40% |
| 2503 | 0 | 83,9134 | 368 | 126,0000 | Cuts: 346 | 136029 | 33,40% |
| 2503 | 0 | 83,9134 | 387 | 126,0000 | Cuts: 330 | 136520 | 33,40% |
| 2503 | 0 | 83,9134 | 317 | 126,0000 | Cuts: 98 | 136940 | 33,40% |
| 2503 | 0 | 83,9134 | 345 | 126,0000 | Cuts: 277 | 137277 | 33,40% |
| 2503 | 0 | 83,9309 | 372 | 126,0000 | Cuts: 77 | 138533 | 33,33% |
| 2503 | 0 | 83,9334 | 366 | 126,0000 | Cuts: 270 | 138783 | 33,33% |
| 2503 | 0 | 83,9401 | 369 | 126,0000 | Cuts: 213 | 139166 | 33,33% |
| 2503 | 0 | 83,9829 | 365 | 126,0000 | Cuts: 220 | 139603 | 33,33% |
| 2503 | 0 | 84,1994 | 386 | 126,0000 | Cuts: 263 | 140044 | 33,18% |
| 2503 | 0 | 84,3316 | 385 | 126,0000 | Cuts: 218 | 140410 | 33,07% |
| 2503 | 0 | 84,3927 | 379 | 126,0000 | Cuts: 254 | 140833 | 33,02% |
| 2503 | 0 | 84,4140 | 372 | 126,0000 | Cuts: 230 | 141135 | 33,00% |
| 2503 | 0 | 84,4295 | 372 | 126,0000 | Cuts: 276 | 141289 | 32,99% |
| 2503 | 0 | 84,4961 | 368 | 126,0000 | Cuts: 191 | 141549 | 32,94% |
| 2503 | 0 | 84,5117 | 391 | 126,0000 | Cuts: 202 | 141731 | 32,93% |
| 2503 | 0 | 84,5793 | 375 | 126,0000 | Cuts: 195 | 142041 | 32,87% |
| 2503 | 0 | 84,6555 | 376 | 126,0000 | Cuts: 226 | 142279 | 32,81% |
| 2503 | 0 | 84,6806 | 415 | 126,0000 | Cuts: 228 | 142531 | 32,79% |
| 2503 | 0 | 84,6837 | 415 | 126,0000 | Cuts: 229 | 142725 | 32,79% |
| 2503 | 2 | 84,6837 | 376 | 126,0000 | 84,6837 | 142727 | 32,79% |
| 2543 | 18 | cutoff | | 126,0000 | 87,8032 | 149105 | 30,31% |
| 2904 | 185 | 120,9224 | 150 | 126,0000 | 87,8032 | 172818 | 30,31% |
| 3527 | 700 | 124,0000 | 136 | 126,0000 | 92,1373 | 217476 | 26,88% |
| * 3687 | 821 | integral | 0 | 125,0000 | 92,1373 | 227015 | 26,29% |
| * 3754+ | 830 | | | 124,0000 | 92,8511 | | 25,12% |
| * 3847+ | 847 | | | 123,0000 | 94,6174 | | 23,08% |

```

* 3862 796 integral 0 121,0000 94,6174 235784 21,80%
  * 3921+ 673 119,0000 94,7358 20,39%
    4399 862 114,0000 131 119,0000 97,9269 256813 17,71%
    5584 1702 114,5556 117 119,0000 103,2137 305334 13,27%
* 5651 1713 integral 0 118,0000 103,8593 308105 11,98%
  6668 2030 cutoff 118,0000 107,1414 341203 9,20%
  7737 2399 cutoff 118,0000 109,0434 379847 7,59%
  8426 2303 115,7930 178 118,0000 110,3182 409301 6,51%
* 8678 2244 integral 0 117,0000 110,8438 416687 5,26%
  9517 1457 infeasible 117,0000 112,5687 447853 3,79%
  Elapsed time = 59,11 sec. (19372,82 ticks, tree = 1,60 MB, solutions = 23)

```

Clique cuts applied: 5
 Implied bound cuts applied: 19
 Flow cuts applied: 49
 Mixed integer rounding cuts applied: 233
 Zero-half cuts applied: 33
 Gomory fractional cuts applied: 13

Root node processing (before b&c):
 Real time = 9,53 sec. (3118,72 ticks)
 Parallel b&c, 4 threads:
 Real time = 52,38 sec. (17132,96 ticks)
 Sync time (average) = 5,06 sec.
 Wait time (average) = 0,01 sec.

 Total (root+branch&cut) = 61,91 sec. (20251,68 ticks)

Figura 10: Gráfico Engine Log con solución óptima encontrada incluida la restricción de simetría y el límite de los 15 lavados.

Al igual que en el modelo anterior, en el Scripting Log se puede observar que la cantidad de colores totales utilizados para llegar a la solución óptima fue de 11 colores.

Por último, en la **figura 11** se puede apreciar el Gráfico Statics, en este caso se nota un descenso abrupto entre los segundos 0 y 5 para luego mostrar nuevas soluciones enteras. Además, la curva de best node se va acercando cada vez más a la de best integer a medida que van pasando los segundos hasta llegar a la solución óptima.

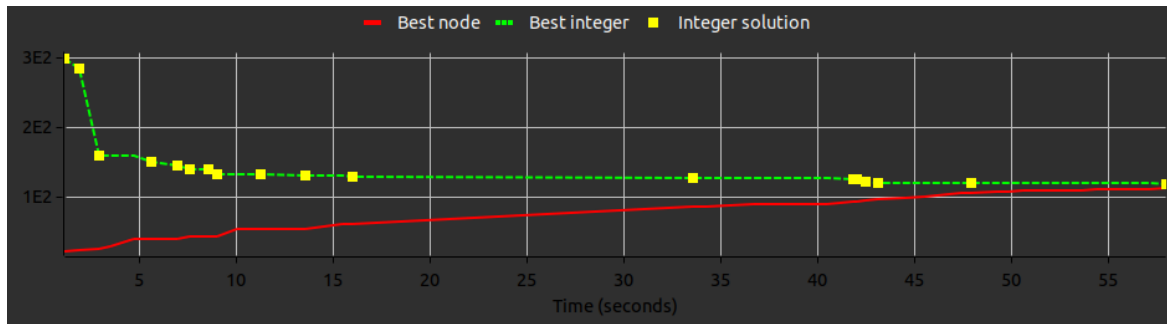


Figura 11: Gráfico Statics hasta el segundo 60 para el modelo con la restricción de simetría y el límite de 15 lavados.

Paso 6: Comparar el paso 3 y el 5, repetir la prueba sabiendo que existe una solución de 11 lavados.

Ahora se pide comparar dos soluciones de 15 lavados, teniendo en cuenta que en una de ellas se tiene la restricción de simetría (paso 5) y en otra no (paso 3).

Para esta primera comparación, tenemos que en el paso 3 no contamos con la restricción de simetría. Esto genera que no se pueda llegar a una solución y se tenga que cortar la ejecución del programa pasados los diez minutos. Se obtuvo que la mejor solución entera encontrada es de 117 unidades de tiempo con un gap de 9,40%. Por otro lado, en el paso 5 se obtuvieron resultados distintos, agregandose la restricción de simetría. En este caso si se llegó a una solución y el óptimo fue igualmente de 117 unidades de tiempo con un menor gap, de 5,46%. En este paso también se puede destacar que otra de las restricciones a tener en cuenta fue un máximo de 15 lavados, pero solo fueron necesarios 11 lavados. De aquí se concluye que existe una solución de 11 lavados.

Luego se pide exactamente el mismo análisis pero para dos soluciones de 11 lavados en vez de 15. Esto tiene sentido ya que, como se pudo ver en los pasos 4 y 5, hay una solución de 11 lavados y con esta cantidad es posible lavar todas las prendas existentes, no hace falta una cantidad de 15 lavados.

Para esta segunda comparación, tenemos que en el paso 3 no contamos con la restricción de simetría y el máximo de lavados es 11. En este caso no es posible llegar a una solución y pasados varios minutos es necesario cortar el programa. Como se puede ver en la **figura 12**, llega a que la mejor solución entera encontrada es de 117 unidades de tiempo, con un gap de 11,11%. Se obtuvieron 14 soluciones totales.

| | | | | | | | |
|-------|-------|----------|-----|----------|----------|---------|--------|
| 21085 | 15403 | 110,5000 | 309 | 117,0000 | 104,0000 | 1853746 | 11,11% |
| 21400 | 15575 | 109,0000 | 238 | 117,0000 | 104,0000 | 1869484 | 11,11% |
| 21608 | 15797 | 113,0000 | 246 | 117,0000 | 104,0000 | 1894641 | 11,11% |
| 21903 | 15864 | 107,9151 | 310 | 117,0000 | 104,0000 | 1909161 | 11,11% |
| 22186 | 16261 | 114,0000 | 244 | 117,0000 | 104,0000 | 1953068 | 11,11% |
| 22500 | 16432 | 115,3750 | 263 | 117,0000 | 104,0000 | 1968752 | 11,11% |
| 22707 | 16593 | 108,5498 | 340 | 117,0000 | 104,0000 | 1996222 | 11,11% |
| 23058 | 16930 | 114,0000 | 202 | 117,0000 | 104,0000 | 2032133 | 11,11% |
| 23251 | 16995 | 108,8154 | 264 | 117,0000 | 104,0000 | 2049985 | 11,11% |

23521 17391 116,0000 252 **117,0000** 104,0000 2079732 **11,11%**
 Elapsed time = 233,19 sec. (86871,99 ticks, tree = 362,96 MB, solutions = 14)

Figura 12: Gráfico Engine Log con solución óptima encontrada sin incluir la restricción de simetría e incluyendo el límite de los 11 lavados.

En la **figura 13** se puede observar como la mayoría de las soluciones enteras están dentro de los segundos 0 y 15, luego la evolución de la solución entera se mantiene constante durante el resto de la ejecución.

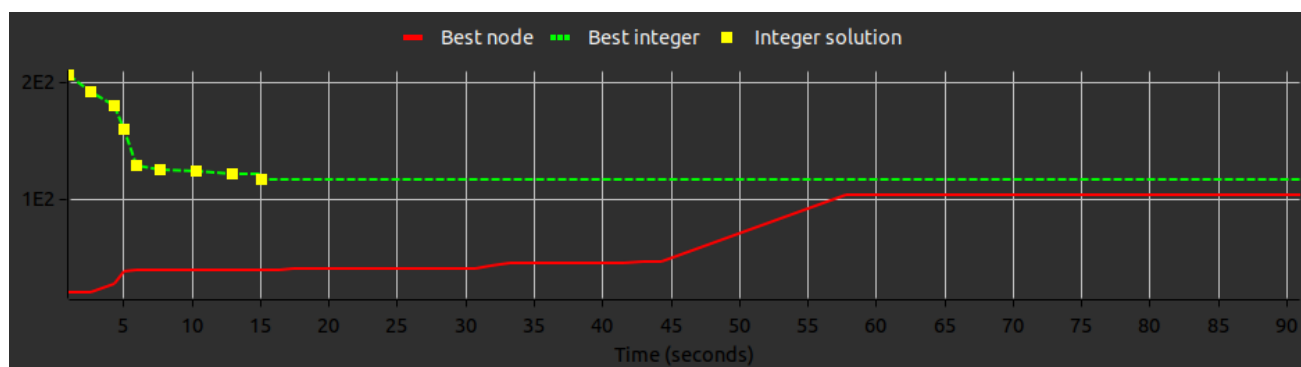


Figura 13: Gráfico Statics hasta el segundo 90 para el modelo sin la restricción de simetría y el límite de 11 lavados.

Por otro lado, en el paso 4 contamos tanto con la restricción de simetría y con el máximo de 11 lavados. En este caso se llegó a una solución en 41,70 segundos. Además se obtuvieron 19 soluciones totales y la solución óptima fue de 117 unidades de tiempo, con un gap de 5,13%. Toda esta información se puede deducir de la **figura 14** donde se muestra el Engine Log.

| | | Nodes | | | Cuts/ | | |
|---------|------|-----------|------|-----------------|------------------|-------|--------------|
| Node | Left | Objective | IInf | Best Integer | Best Bound | ItCnt | Gap |
| * 3621+ | | 0 | | 117,0000 | 105,7475 | 9,62% | |
| 3621 | 0 | 105,7129 | 260 | 117,0000 | Cuts: 68 185287 | | 9,62% |
| 3621 | 0 | 105,7129 | 288 | 117,0000 | Cuts: 197 185543 | | 9,62% |
| 3621 | 0 | 105,7129 | 241 | 117,0000 | Cuts: 36 185689 | | 9,61% |
| 3621 | 0 | 105,7129 | 249 | 117,0000 | Cuts: 157 185908 | | 9,61% |
| 3621 | 2 | 105,7380 | 235 | 117,0000 | 105,7524 186094 | | 9,61% |
| 3683 | 12 | 111,0000 | 200 | 117,0000 | 108,0000 194187 | | 7,69% |
| 4250 | 121 | 114,0000 | 170 | 117,0000 | 111,0000 224867 | | 5,13% |

Clique cuts applied: 10
 Implied bound cuts applied: 13
 Flow cuts applied: 28
 Mixed integer rounding cuts applied: 118
 Zero-half cuts applied: 8
 Multi commodity flow cuts applied: 2
 Gomory fractional cuts applied: 10

Root node processing (before b&c):

Real time = 14,97 sec. (4922,40 ticks)

Parallel b&c, 4 threads:

Real time = 26,73 sec. (9043,21 ticks)

Sync time (average) = 2,93 sec.

Wait time (average) = 0,01 sec.

Total (root+branch&cut) = **41,70 sec.** (13965,61 ticks)

Figura 14: Gráfico Engine Log con solución óptima encontrada incluida la restricción de simetría y el límite de los 11 lavados.

Teniendo en cuenta que la restricción impone un máximo de 11 lavados, en la solapa de Scripting Log se puede apreciar que se usa esa misma cantidad de lavados para distribuir los nodos.

En la **figura 15** se muestra el gráfico de Statics para este modelo donde se pueden observar las 19 soluciones enteras totales durante los 40 segundos aproximadamente de corrida.

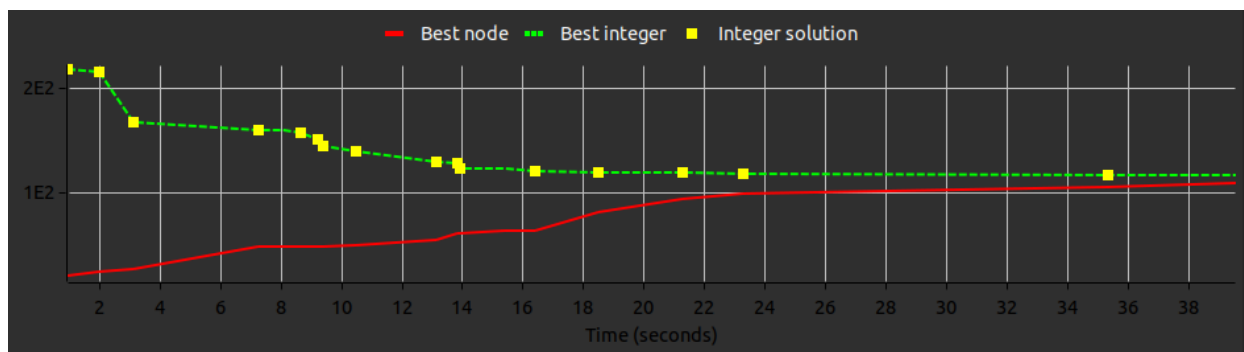


Figura 15: Gráfico Statics hasta el segundo 40 para el modelo con la restricción de simetría y el límite de 11 lavados.

Paso 7: Comparar en el informe la heurística (paso 1) con la solución mediante programación lineal entera.

En el caso de la heurística que se tiene en el paso 1, se obtuvo una solución óptima de 123 unidades de tiempo para poder realizar el lavado de todas las prendas, con un total de 10 grupos de lavado.

Mientras que, en el caso de la solución obtenida mediante programación lineal entera, obtuvimos diferentes resultados dependiendo de la alternativa utilizada, entre estos están:

- En el paso 2, corriendo el código sin cambios, no se obtuvo una solución y se frenó la ejecución luego de pasado cierto tiempo de corrida. El mejor resultado obtenido fue de 119 unidades de tiempo.
- En el paso 3, corriendo el código con la restricción de 15 lavados, de igual manera no se obtuvo una solución pero el mejor resultado obtenido fue de 117 unidades de tiempo.
- En el paso 4, corriendo el código original con la restricción de simetría, el programa pudo terminar por sí solo, llegando a una solución. Como solución óptima se tiene 117 unidades de tiempo y para llegar a la misma se utilizaron 11 grupos de lavado.

- En el paso 5, corriendo el código con las restricciones de 15 lavados y la de simetría, se llega a una solución óptima en un muy corto periodo de tiempo (1 minuto aproximadamente) y esta sigue siendo de 117 unidades de tiempo. Al igual que en el paso anterior, se llega a esta solución utilizando 11 grupos de lavado.
- Se puede decir que la mejor solución resulta en el punto 6 cuando se modifica la restricción de 15 lavados a 11 lavados, que son los justos y necesarios que se necesitan para poder minimizar el tiempo total de lavado y la cantidad de grupos de lavado. En este caso se obtiene la solución óptima en el menor tiempo posible, de 40 segundos. En el caso de que se intente probar con 10 lavados o menos, el problema ya no tendría solución, dando un mejor resultado entero “inviabile”. Se puede verificar en la **figura 16**.

| Node | Left | Nodes | | Cuts/ | | Gap |
|------|------|-----------|-------------------|------------|-------|-----|
| | | Objective | IInf Best Integer | Best Bound | ItCnt | |
| | 0 | 0 | infeasible | | 1124 | |

Root node processing (before b&c):

Real time = 0,33 sec. (135,29 ticks)

Parallel b&c, 4 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) = 0,33 sec. (135,29 ticks)

Figura 16: Gráfico Engine Log sin solución, incluida la restricción de simetría y el límite de 10 lavados.

En comparación a la heurística realizada, se puede concluir que hay una diferencia de 6 unidades de tiempo con respecto a la solución óptima de programación lineal entera. Es decir que, teniendo en cuenta las dos soluciones de tiempo de lavado, la mejor fue la de programación lineal entera, siendo de 117 unidades de tiempo contra 123 unidades de tiempo.

Sin embargo, en la heurística se tiene la posibilidad de utilizar 10 grupos de lavado en vez de 11, como se utiliza en la solución óptima de programación lineal entera. En este caso, teniendo en cuenta la cantidad de grupos de lavado, la conclusión sería inversa. Es decir, es mejor la solución de la heurística en comparación a la obtenida en programación lineal entera.

Ambas conclusiones suceden debido a que en el caso de la heurística se prioriza el armado de la menor cantidad de grupos de lavado/cantidad de colores. En cambio, en el caso de la solución por programación lineal entera se prioriza minimizar el tiempo de lavado total.

Conclusión final

En primer lugar, se tuvieron 4 entregas parciales para poder finalizar el trabajo práctico de la materia. En cada una de las instancias se plantearon diferentes situaciones para poder llegar a diversas conclusiones y objetivos.

En la primera instancia de entrega, se tenía que programar una heurística a partir de los conocimientos previos e investigación propia. Como bien no sabía por donde arrancar a resolver la heurística ni cuál era el objetivo de la misma, mi primera idea fue resolverlo con la lógica con la cual se resuelve un algoritmo.

El trabajo lo desarrollé en C++ ya que estoy familiarizada con el lenguaje y tiene muchos atajos posibles. Por lo tanto, primero planteé la idea de generar los grupos de lavado (sin importar cuantos fuesen) siempre respetando que las prendas que se encuentran en cada uno de estos grupos fueran compatibles entre sí.

Luego, para poder calcular el tiempo total de lavado, se obtuvo el tiempo total de lavado a través de la sumatoria de los mayores tiempos de lavado de cada uno de los grupos formados. De esta manera, priorice el armado de grupos antes del tiempo total que podría llegar a tardar realizar todos los lavados.

En la segunda instancia, la idea fue realizar mejoras a la heurística desarrollada en la primera instancia. Corriendo esta heurística sobre la nueva instancia de la segunda entrega me daba un tiempo de lavado bastante más grande que en la primera instancia (al tratarse de una mayor cantidad de prendas, era de esperarse). Por esta razón, decidí realizarle mejoras al código y reorganizar la formación de grupos de lavado, para que de esta forma se siga respetando la formación de grupos a partir de prendas compatibles y además se tenga un menor tiempo de lavado por grupo y, por consiguiente, un menor tiempo de lavado total. Se pudo reducir el tiempo a la mitad del resultado original obtenido.

En la tercera instancia, la idea fue modelizar el problema propuesto en las primeras dos instancias a través de programación lineal entera, sin implementarlo en un solver. No fue necesario desarrollar código en esta parte pero me permitió pensar diferentes alternativas para la resolución del ejercicio.

Finalmente, en esta última entrega, considero que, si bien el algoritmo de ordenamiento por incompatibilidades implementado no tiene el mejor tiempo de lavado de prendas, sí tiene una buena mínima cantidad de grupos de lavado para las prendas totales. Estas últimas conclusiones pueden obtenerse comparando la solución de programación lineal entera con la heurística desarrollada.

Es así como se concluye con el trabajo práctico de la materia. Considero que los trabajos realizados fueron útiles y destaco el orden en el que fueron dados debido a que a medida que se iban realizando y practicando iban cerrando ideas que quedaban pendientes de clases o temas anteriores, ya que la materia tiene una forma de resolución de problemas que generalmente uno no está acostumbrado a pensar y es por eso que la práctica es esencial para el entendimiento de la misma.