



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE INGENIERÍA

2DO CUATRIMESTRE DE 2022

[71.14] MODELOS Y OPTIMIZACIÓN I

Trabajo Práctico 4

Integrantes:

Florencia Sardella <fsardella@fi.uba.ar>

Padrón:

105717

Links:

- [Repositorio - GitHub.](#)

Índice

1. Enunciado	2
2. Paso 1	3
3. Paso 2	4
4. Paso 3	10
5. Paso 4	13
6. Paso 5	18
7. Paso 6	22
8. Paso 7	27
9. Conclusiones	28

1. Enunciado

En esta cuarta entrega se pide que busquen el ÓPTIMO 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 "simetria". 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 sacando. Informe de los pasos de esta entrega.

2. Paso 1

Utilizando el código escrito en lenguaje python para resolver el problema en la entrega 2, se corre el nuevo problema de la cuarta entrega. La resolución fue casi instantánea, la cual resultó en un tiempo total de lavados de 123 unidades de tiempo.

La cantidad de lavados necesarios para llegar a dicha solución es de 11 (0 - 10) lavados. Las prendas y el lavado asignado a cada una de ellas se encuentran en el archivo 'solucion_4.txt'.

3. Paso 2

Para este próximo paso se descargó de la página del trabajo práctico un modelo para solucionar este problema que usa coloreo. Dicho modelo se correrá en CPLEX y se analizará el resultado observado luego de ejecutarlo un cierto tiempo (aproximadamente 10 minutos). Cabe aclarar que la ejecución del modelo es interrumpida cerca de los 10 minutos ya que para ese entonces la solución es bastante estable pero aún no ha llegado al óptimo.

A continuación se muestra el resultado de la solapa 'Statistics' luego de haber ejecutado el modelo por aproximadamente 90 segundos:

Statistic	Value
✓ Cplex	
✓ MIP	
Objective	20
Incumbent	151
Nodes	2
Remaining nodes	2
Iterations	56972

Figura 3.1 – tabla de solapa 'Statistics' antes de los 90 segundos

En dicha dicha figura se puede ver que el nombre del algoritmo utilizado para la resolución fue el MIP. Con el mismo, se puede ver que la cantidad de soluciones distintas es de 20. También, se pueden ver la cantidad de iteraciones que se hicieron hasta el momento.

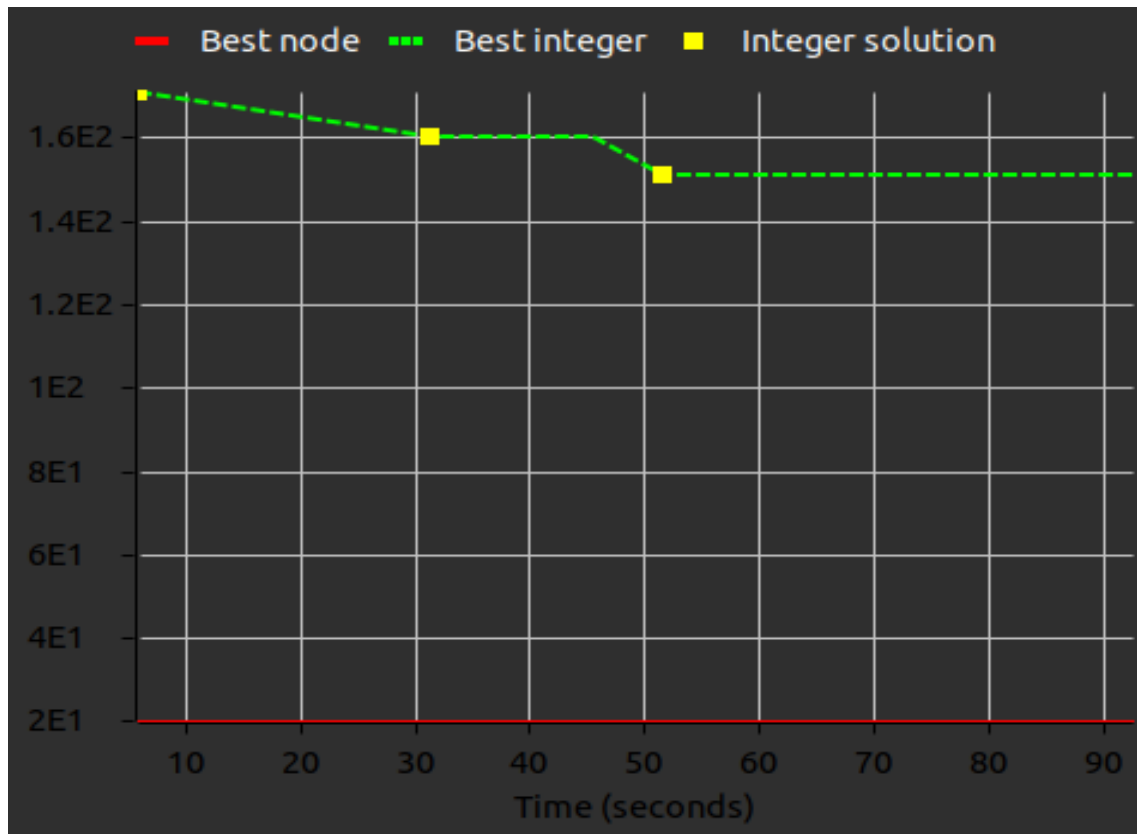


Figura 3.2 – gráfico de solapa 'Statistics' antes de los 90 segundos

En este gráfico se muestra el progreso y los resultados parciales de la ejecución del algoritmo de resolución. El eje vertical es el valor del funcional (función que busca minimizar la cantidad de colores (lavados) a utilizar) y el eje horizontal es el tiempo transcurrido en segundos. Se pueden ver 3 referencias en la parte superior del mismo:

- **Best node:** La línea roja muestra la evolución del valor de 'Best node', este es el mejor valor de los nodos abiertos sobrantes (no necesariamente entero) cuando se mueve de un nodo al otro, esto limita la solución final.
- **Best integer:** La línea verde muestra la evolución del 'Best integer', este es el mejor valor encontrado que es entero.
- **Integer solution:** Los puntos amarillos indican un nodo donde un valor entero fue encontrado (estos valores corresponden a los asteriscos en la solapa de 'Engine log').

Como se puede ver en este caso, la línea roja esta siempre en el cero, mientras que la verde (solución de valores enteros) va decreciendo de a poco hasta quedarse estable en un valor cercano a $1.5E2$. Se pueden ver 3 puntos amarillos que representan el nodo donde el valor entero fue encontrado, los últimos dos tienen un valor de $1.6E2$ y $1.5E2$ respectivamente.

A continuación se pueden ver los resultados de haber corrido el algoritmo por aproximadamente 10 minutos:

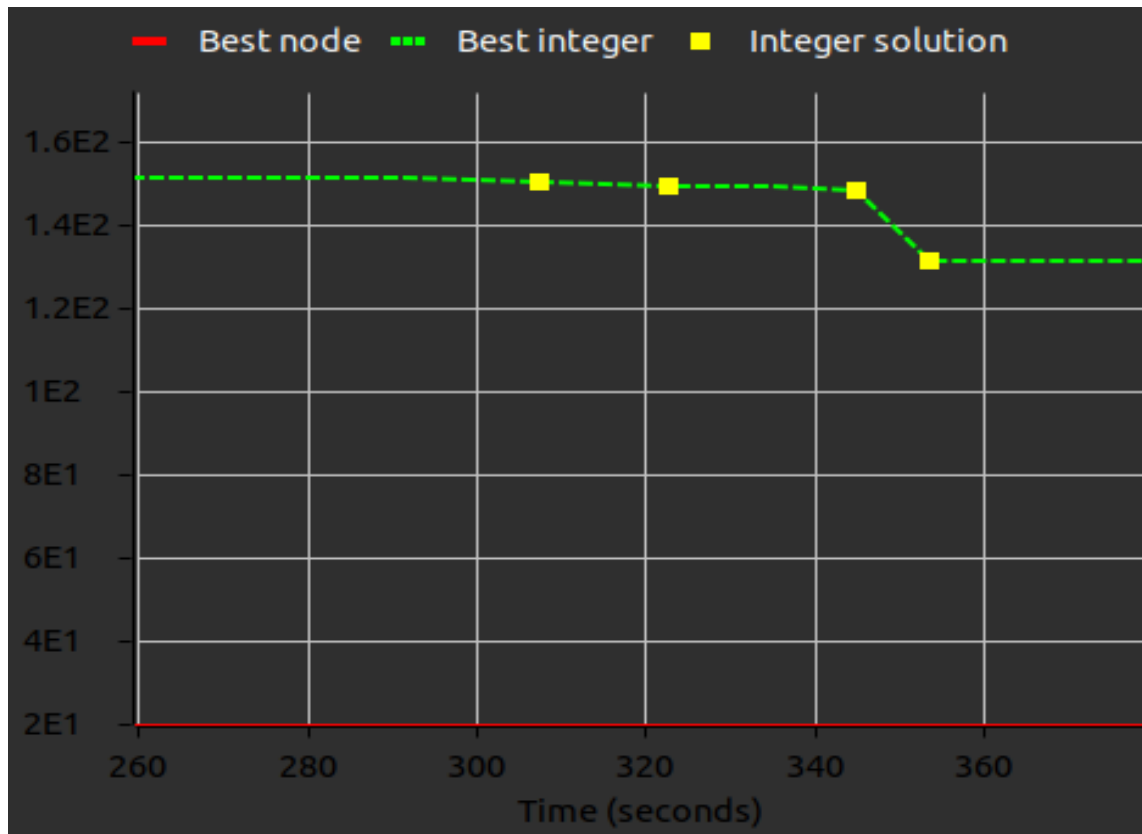


Figura 3.3 – gráfico de solapa 'Statistics' a los 10 minutos de ejecución

En dicho gráfico se puede observar como la línea punteada verde va decreciendo hasta establecerse en un valor de 1.3E2 (130 unidades de tiempo) con el objetivo de ir evolucionando el valor de la solución entera para que de mejores resultados. Va decreciendo ya que nuestro modelo busca minimizar el tiempo total de todos los lavados. Podemos ver que la línea roja continúa siendo cero.

	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			1048,0000	0,0000			100,00%
*	0+	0			171,0000	0,0000			100,00%
	0	0	20,0000	7917	171,0000	20,0000		16	88,30%
*	0+	0			160,0000	20,0000			87,50%
	0	0	20,0000	1889	160,0000	Impl Bds: 101		4323	87,50%
	0	0	20,0000	1499	160,0000	Cuts: 1554		12945	87,50%
	0	0	20,0000	2327	160,0000	Cuts: 1507		19768	87,50%
*	0+	0			158,0000	20,0000			87,34%
*	0+	0			151,0000	20,0000			86,75%
	0	0	-1,000000e+75	0	151,0000	20,0000		19768	86,75%
	0	0	20,0000	1784	151,0000	Cuts: 164		26242	86,75%
	0	0	20,0000	2451	151,0000	Cuts: 1555		34509	86,75%
	0	2	20,0000	1435	151,0000	20,0000		34509	86,75%

Elapsed time = 101,41 sec. (70598,74 ticks, tree = 0,02 MB, solutions = 7)

Figura 3.4 – tabla de solapa 'Statistics' a los 10 minutos de ejecución

En la figura 3.4 se observa el comienzo del 'Engine log'. Como se puede ver se definen ciertas columnas que expresan distintos datos. El algoritmo llegó a obtener soluciones enteras, las mismas se encuentran en la columna 'Best integer' que arranca con un valor de 2760 al comienzo de la ejecución. La columna 'Gap' representa que tan alejado (superiormente) puede estar como máximo el valor encontrado del verdadero óptimo del modelo.

Elapsed time = 299,80 sec. (141382,49 ticks, tree = 12,77 MB, solutions = 10)

	1203	1108	65,0000	452	148,0000	20,0000	2491310	86,49%
	1237	1095	93,0000	370	148,0000	20,0000	2439667	86,49%
	1259	1200	93,0000	373	148,0000	20,0000	2627039	86,49%
	1295	1229	97,0000	333	148,0000	20,0000	2668261	86,49%
	1337	1271	100,0000	330	148,0000	20,0000	2733073	86,49%
	1371	1192	97,0000	269	148,0000	20,0000	2591588	86,49%
	1425	1288	131,0000	106	148,0000	20,0000	2691594	86,49%
*	1445+	1267			131,0000	20,0000		84,73%
	1464	1291	108,0000	225	131,0000	20,0000	2757165	84,73%
	1493	1299	108,0000	280	131,0000	20,0000	2767880	84,73%
	1512	1380	46,2868	1273	131,0000	20,0000	2874194	84,73%

Elapsed time = 321,80 sec. (151087,90 ticks, tree = 18,97 MB, solutions = 12)

Figura 3.5 – tabla de solapa 'Statistics' a los 10 minutos de ejecución

En la figura 3.5 se observa el 'Engine log' a la mitad de su ejecución antes de cortar la misma. Se puede ver que para cuando transcurren 299,80 segundos se encontraron 10 soluciones y que para cuando transcurren 321.80 segundos se encontraron 12 soluciones. Esto quiere decir que en ese lapso de tiempo se hallaron 2 soluciones nuevas distintas. Esto se ve reflejado en la tabla donde los valores de la solución mostrados son: 148 y

131. Cabe destacar que todos los valores hallados son enteros lo que coincide con las figuras analizadas previamente.

Elapsed time = 355,82 sec. (151087,90 ticks, tree = 18,97 MB, solutions = 12)

1528	1383	37,0000	775	131,0000	20,0000	2880621	84,73%
1540	1487	39,0000	709	131,0000	20,0000	2997227	84,73%
1551	1384	46,2868	1210	131,0000	20,0000	2895811	84,73%
1566	1503	93,0000	309	131,0000	20,0000	3014544	84,73%
1579	1516	77,0000	414	131,0000	20,0000	3099976	84,73%
1595	1518	93,0000	244	131,0000	20,0000	3034801	84,73%
1603	1548	101,0000	212	131,0000	20,0000	3134365	84,73%
1615	1527	77,0000	435	131,0000	20,0000	3113662	84,73%
1635	1563	106,0000	201	131,0000	20,0000	3149316	84,73%
1650	1571	106,0000	256	131,0000	20,0000	3154917	84,73%

Elapsed time = 381,72 sec. (160957,93 ticks, tree = 22,40 MB, solutions = 12)

Figura 3.6 – tabla de solapa 'Statistics' a los 10 minutos de ejecución

En la figura 3.6 se puede ver otra captura del 'Engine log' a la mitad de su ejecución. En la misma se observa que para cuando transcurren 355,82 segundos se encontraron 12 soluciones y que para cuando transcurren 381.72 segundos se encontraron 12 soluciones. Como la cantidad de soluciones encontradas no varía en ese lapso de tiempo, se puede decir que no cambia el valor de la solución. Esto se ve expresado en la tabla ya que todos los valores mostrados para la solución son de 131 (no varían).

1677	0	23,1792	1544	131,0000	Cuts: 1017	3414561	82,31%
1677	0	23,7584	1931	131,0000	Cuts: 1296	3433082	81,86%
1677	0	24,1930	1755	131,0000	Cuts: 1264	3445762	81,53%
1677	0	24,4896	1772	131,0000	Cuts: 1372	3456394	81,31%
1677	0	24,7952	1789	131,0000	Cuts: 1517	3471063	81,07%
1677	0	24,9727	1813	131,0000	Cuts: 1291	3484627	80,94%
1677	0	25,1125	1734	131,0000	Cuts: 1490	3495994	80,83%
1677	0	25,2728	1691	131,0000	Cuts: 1559	3512092	80,71%
1677	0	25,3682	1798	131,0000	Cuts: 1307	3527833	80,63%
1677	0	25,4325	1722	131,0000	Cuts: 1420	3535159	80,59%
1677	0	25,5327	1638	131,0000	Cuts: 1629	3545530	80,51%
1677	0	25,6222	1667	131,0000	Cuts: 1416	3554460	80,44%
1677	0	25,7350	1751	131,0000	Cuts: 1521	3565602	80,35%
1677	0	25,8299	1962	131,0000	Cuts: 1473	3579599	80,28%
1677	0	25,9195	1616	131,0000	Cuts: 1689	3589636	80,21%

Figura 3.7 – tabla de solapa 'Statistics' a los 10 minutos de ejecución

En la figura 3.7 se puede ver el final del 'Engine log' al cortar la ejecución. Se observa que ya no varía la solución encontrada y el gráfico de la solapa 'Statistics' es

estable (la línea punteada verde es horizontal), por lo que se decidió cortar la ejecución en ese momento (aproximadamente pasaron 10 minutos de ejecución del algoritmo). En la tabla se ve reflejado que la última solución hallada antes de cortar la ejecución es de 131 con un gap final de 80,21 %. Este último porcentaje dice que la máxima diferencia del valor encontrado como solución y el óptimo real es de ese valor (siendo la solución hallada mayor al óptimo real por ser un problema de minimización).

4. Paso 3

En este paso se da la indicación de que se sabe que hay una solución que usa 15 lavados. Para expresar esto en el modelo se modifica el valor de la variable 'limiteColores' (que representa el límite de la cantidad de lavados). El valor de la misma pasa de ser n (cantidad de prendas) lo que representaría tener un lavado para cada prenda a ser 15 (propuesto por enunciado).

Antes de los 90 segundos de ejecución se puede ver el siguiente gráfico en la solapa 'Statistics':

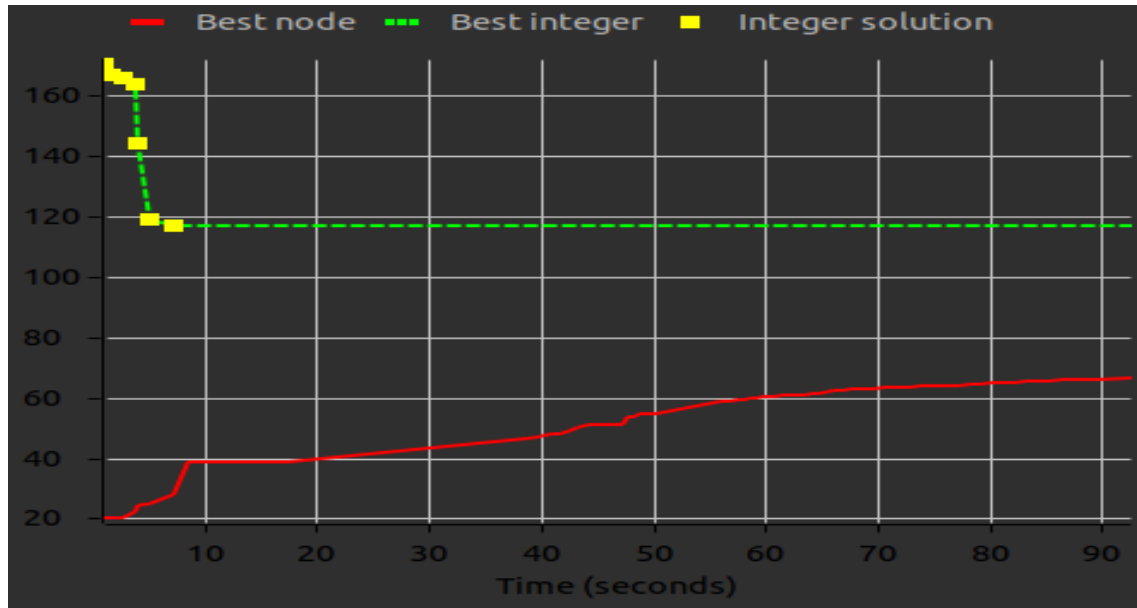


Figura 4.1 – gráfico de solapa 'Statistics' antes de los 90 segundos de ejecución

En la figura se pueden notar varias cosas: en principio que la línea punteada verde va decreciendo con el objetivo de encontrar una mejor solución, varios puntos amarillos y que la línea roja en este caso no es cero. Se puede ver que la línea verde luego de los 5 segundos se establece en un valor cercano pero menor a 120 (unidades de tiempo que representa el tiempo total de todos los lavados). La línea roja en este caso va incrementándose hasta rondar un valor entre 60 y 70 unidades de tiempo.

La resolución del modelo en este caso tampoco llegó al óptimo antes de los 10 minutos por lo que se decidió cortar la ejecución. Los gráficos y tablas para ese momento se ven a continuación:

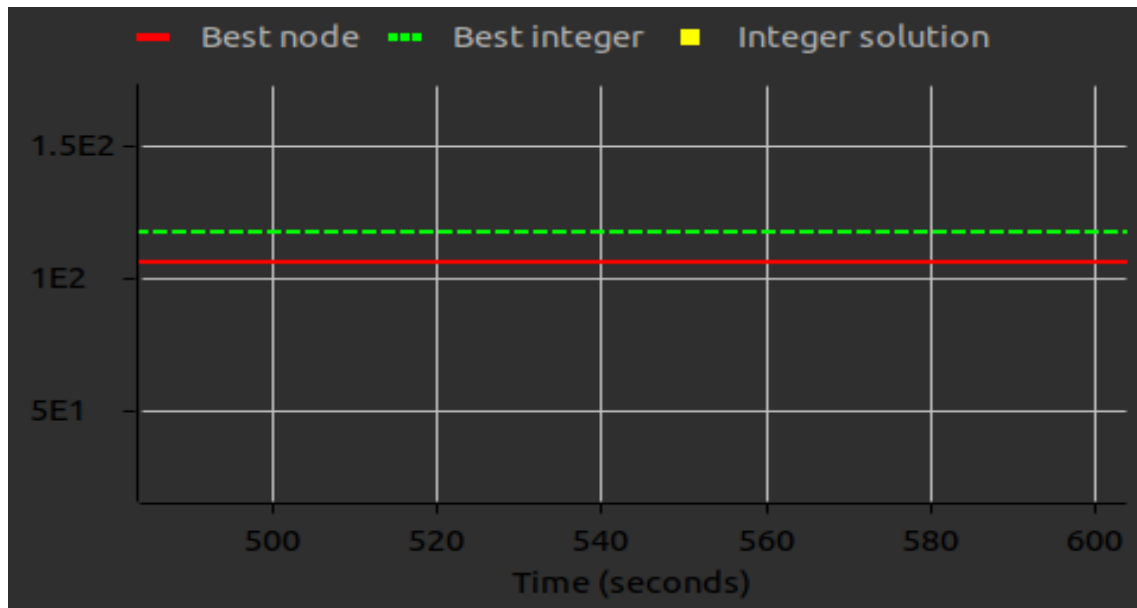


Figura 4.2 – gráfico de solapa 'Statistics' a los 10 minutos de ejecución

En la figura 4.2 se puede ver el gráfico de la solapa 'Statistics' al momento de cortar la ejecución. Como se puede ver ambas líneas están estables siendo el valor de la línea verde punteada mayor a la de la roja. Ambas tienen un valor superior a 1E2 unidades de tiempo y menor a 1.25E2 unidades de tiempo.

```

Elapsed time = 537,55 sec. (620928,91 ticks, tree = 2590,83 MB, solutions = 11)
Nodefile size = 537,78 MB (501,85 MB after compression)
138410 63333 108,0000 417 117,0000 106,0000 18361614 9,40%
138830 63446 115,6310 383 117,0000 106,0000 18406727 9,40%
139102 63885 107,0000 454 117,0000 106,0000 18544462 9,40%
139303 64047 106,6250 358 117,0000 106,0000 18600692 9,40%
139610 64200 109,5660 440 117,0000 106,0000 18665568 9,40%
139978 64300 114,0000 367 117,0000 106,0000 18704280 9,40%
140178 64672 113,3683 438 117,0000 106,0000 18843745 9,40%
140527 64905 112,0000 253 117,0000 106,0000 18949452 9,40%
140949 65137 115,0000 351 117,0000 106,0000 19033922 9,40%
141269 65208 108,5642 417 117,0000 106,0000 19034488 9,40%
Elapsed time = 571,95 sec. (659204,46 ticks, tree = 2712,62 MB, solutions = 11)
Nodefile size = 654,50 MB (611,45 MB after compression)
141598 65717 110,2805 440 117,0000 106,0000 19200572 9,40%
142172 66035 112,0000 285 117,0000 106,0000 19291331 9,40%
142533 66096 111,1864 322 117,0000 106,0000 19306246 9,40%
142899 66608 107,3873 402 117,0000 106,0000 19441295 9,40%
143205 66944 114,4757 452 117,0000 106,0000 19547902 9,40%
143661 66959 108,5942 433 117,0000 106,0000 19562719 9,40%
143878 67413 108,0000 471 117,0000 106,0000 19696936 9,40%
144080 67522 114,1429 343 117,0000 106,0000 19737268 9,40%

```

Figura 4.3 – tabla de solapa 'Statistics' a los 10 minutos de ejecución

En la figura 4.3 se puede ver la tabla de la solapa 'Statistics' al momento de cortar la ejecución. Se puede ver que entre los segundos 537,55 y 571,95 no se encontraron nuevas soluciones, la solución es 117 unidades de tiempo. Luego del segundo tiempo continúa la ejecución hasta ser interrumpida pero sigue manteniendo el mismo valor de solución. Este valor está dentro del rango de la solución obtenido en la figura 4.2. Se puede observar que el valor hallado para la solución es entero.

Comparando esta resolución con la del paso 2 se puede ver que el valor de la solución

se decrementó en 14 unidades de tiempo. También, se observa que el valor del gap en este caso es de 9,40 %.

5. Paso 4

En este paso se buscaba correr el modelo original (volviendo a tener el límite de lavados igual a la cantidad de prendas). Para ello, el valor de la variable 'limiteColores' se volvió a setear como n.

Lo que varía en este caso es que se debe descomentar el código de la restricción 'simetría' para que comience a ser tenida en cuenta. Esta restricción establece que el peso de cada color debe ser mayor o igual al peso del color que sigue. Analogamente, para nuestro problema sería que el tiempo de un lavado sea mayor o igual al tiempo del lavado posterior.

En este caso, a diferencia de los pasos anteriores, se llegó a una solución en aproximadamente 2 minutos.

A continuación se muestra el gráfico de la solapa 'Statistics' antes de los 90 segundos de ejecución:

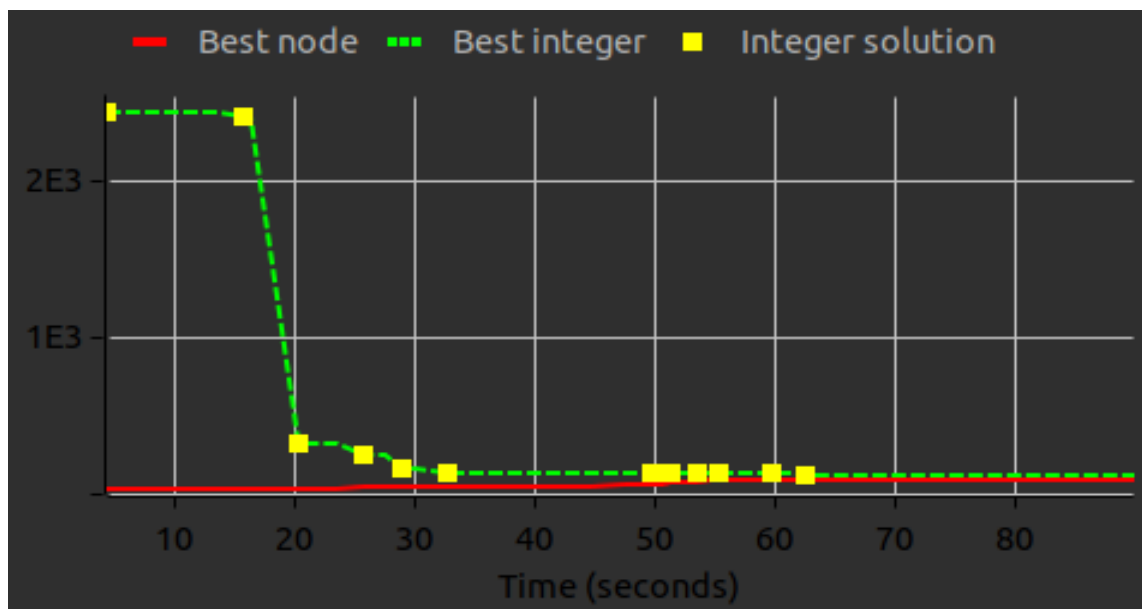


Figura 5.1 – gráfico de solapa 'Statistics' antes de los 90 segundos de ejecución

En dicha figura se puede ver que la línea verde punteada baja abruptamente hasta los 20 segundos y que ambas líneas toman valor y se establecen aproximadamente a los 60 segundos transcurridos.

Se muestran ahora las tablas y gráficos al momento de llegar a la solución:

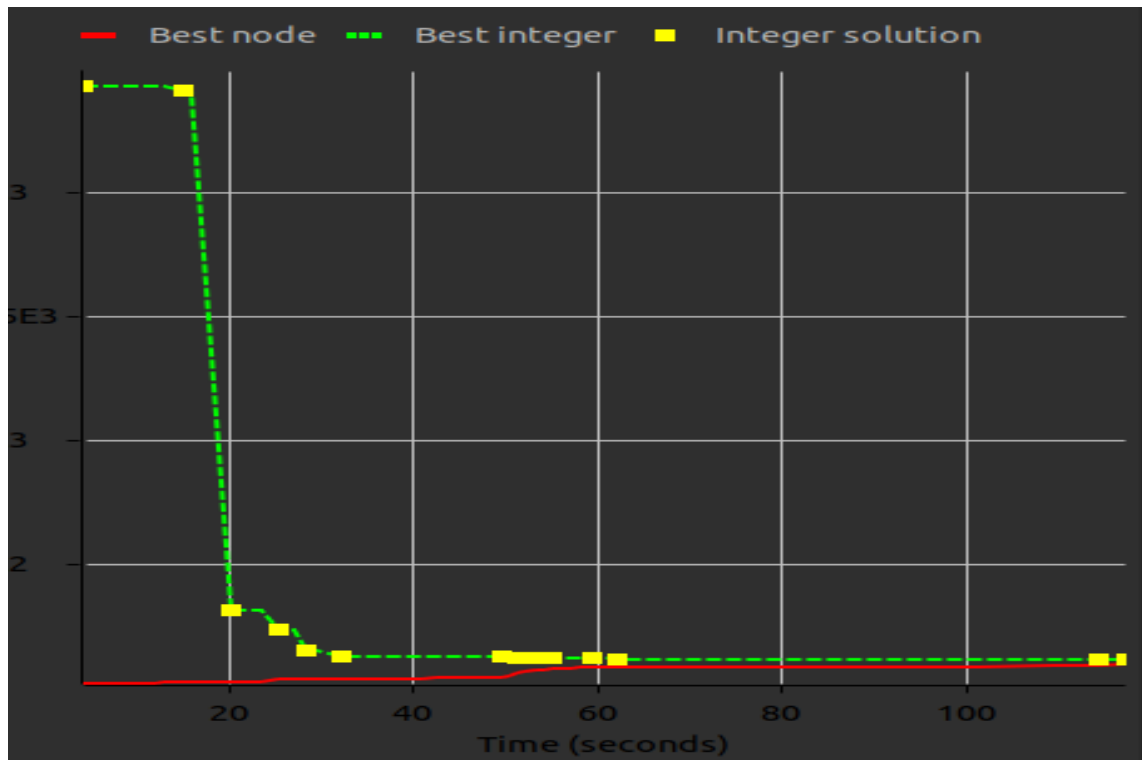


Figura 5.2 – gráfico de solapa 'Statistics' al momento de hallar la solución

En la figura 5.2 se puede ver como la línea verde punteada baja abruptamente hasta tomar un valor similar al de la recta roja a partir de los 60 segundos. Ambas tienen un valor menor a 1. También se puede ver un punto amarillo justo al final del gráfico, el mismo es de la solución final.

```

Elapsed time = 111,29 sec. (97122,02 ticks, tree = 0,65 MB, solutions = 30)
  7138   145   104,7223   195   119,0000   92,3523   720170   22,39%
+ 7302+   241   105,7808   317   118,0000   92,3523   742855   21,74%
  7471   298   105,1768   343   118,0000   94,6783   766258   19,76%
  7780   388   cutoff     0     118,0000   99,1628   812591   15,96%
+ 8434   566   integral    0     117,0000  100,7449   826521   14,62%
  8646   525   104,8125   274   117,0000  103,3142   843105   13,89%
  9191    34   104,8125   274   117,0000  103,3142   843105   11,70%

Clique cuts applied: 8
Implied bound cuts applied: 3
Flow cuts applied: 39
Mixed integer rounding cuts applied: 136
Zero-half cuts applied: 29
Gomory fractional cuts applied: 22

Root node processing (before b&c):
  Real time      = 39,14 sec. (36546,98 ticks)
Parallel b&c, 6 threads:
  Real time      = 77,90 sec. (66153,92 ticks)
  Sync time (average) = 12,43 sec.
  Wait time (average) = 0,03 sec.
-----
Total (root+branch&cut) = 117,04 sec. (102700,90 ticks)

```

Figura 5.3 – tabla de solapa 'Statistics' al momento de hallar la solución

En esta tabla se puede ver que se encontró una solución en 117,04 segundos. Se ve que el valor de la solución encontrada es de 117 unidades de tiempo con un gap de 11,70 %. Se obtuvieron un total de 33 soluciones distintas durante la ejecución del algoritmo.

Finalmente, como en este caso se obtuvo una solución, se puede ver la misma en la solapa de 'Scripting log'. A continuación se muestran capturas de la primera, media y última parte del log.

```

solution: 117 /size: 138 /time: 1669036497.681771994
Nodo 1: 1
Nodo 2: 1
Nodo 3: 1
Nodo 4: 1
Nodo 5: 1
Nodo 6: 1
Nodo 7: 3
Nodo 8: 2
Nodo 9: 1
Nodo 10: 2
Nodo 11: 1
Nodo 12: 2
Nodo 13: 3
Nodo 14: 2
Nodo 15: 3
Nodo 16: 2
Nodo 17: 1
Nodo 18: 4
Nodo 19: 1
Nodo 20: 6
Nodo 21: 9
Nodo 22: 2
Nodo 23: 1
Nodo 24: 1

```

Figura 5.4 – comienzo del resultado del modelo

La figura 5.4 muestra la asignación de lavados de las prendas 1 al 24.


```
Nodo 67: 2  
Nodo 68: 1  
Nodo 69: 6  
Nodo 70: 5  
Nodo 71: 1  
Nodo 72: 7  
Nodo 73: 2  
Nodo 74: 11  
Nodo 75: 3  
Nodo 76: 1  
Nodo 77: 1  
Nodo 78: 8  
Nodo 79: 1  
Nodo 80: 6  
Nodo 81: 10  
Nodo 82: 2  
Nodo 83: 6  
Nodo 84: 2  
Nodo 85: 1  
Nodo 86: 2  
Nodo 87: 1  
Nodo 88: 1  
Nodo 89: 3  
Nodo 90: 1
```

Figura 5.5 – sección intermedia del resultado del modelo

La figura 5.5 muestra la asignación de lavados de las prendas 67 al 90, en la misma se puede ver el mayor número de lavado: 11.

```
Nodo 115: 6  
Nodo 116: 6  
Nodo 117: 2  
Nodo 118: 6  
Nodo 119: 1  
Nodo 120: 2  
Nodo 121: 1  
Nodo 122: 4  
Nodo 123: 7  
Nodo 124: 2  
Nodo 125: 1  
Nodo 126: 2  
Nodo 127: 1  
Nodo 128: 2  
Nodo 129: 1  
Nodo 130: 8  
Nodo 131: 2  
Nodo 132: 1  
Nodo 133: 1  
Nodo 134: 3  
Nodo 135: 9  
Nodo 136: 2  
Nodo 137: 1  
Nodo 138: 5
```

Figura 5.6 – final del resultado del modelo

A partir de dichas figuras se puede ver qué lavado se le fue asignado a cada una de las 138 prendas. Se puede notar también que la cantidad de lavados utilizados es de 11.

6. Paso 5

En este paso se pide usar el modelo como estaba en el punto anterior en el sentido de mantener la restricción de simetría pero se modifica el valor de la variable 'limiteColores' para que pase de valer n a valer 15.

Al igual que en el caso anterior se llega a una solución pero en menor tiempo. Este comportamiento se asemeja con los pasos 2 y 3 donde a pesar de no haber llegado a la solución, el paso 3 al incorporar que la solución se encuentra con menos de 15 lavados hizo que el proceso evolucione más rápido.

A continuación se muestra la información de la solución y del proceso para hallarla:

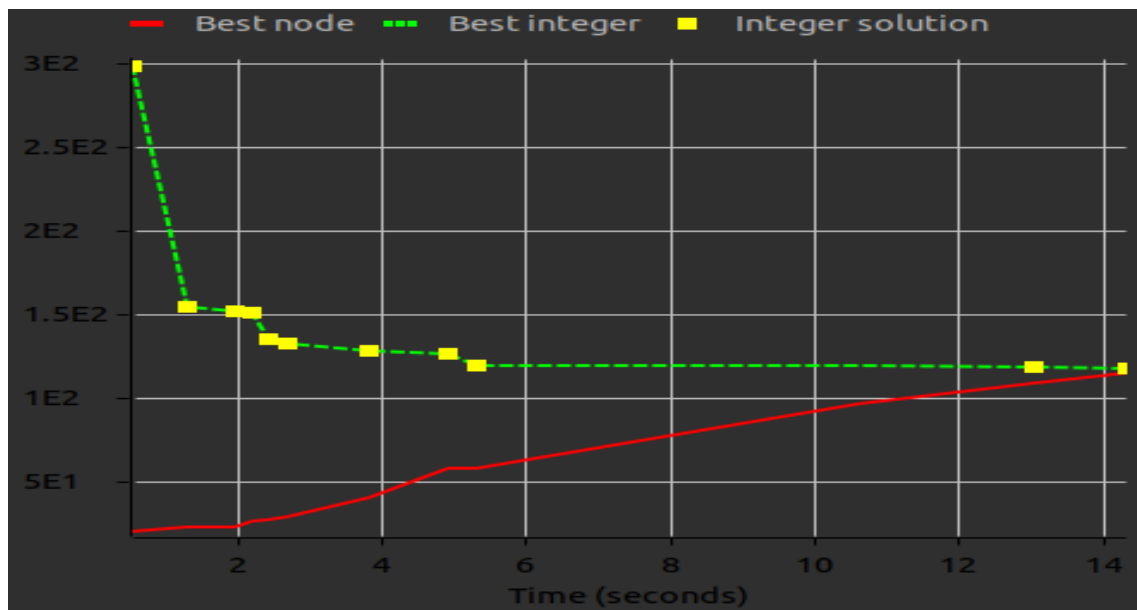


Figura 6.1 – gráfico de solapa 'Statistics' al momento de hallar la solución

En la figura se puede observar que tanto la línea verde punteada como la línea roja toman valor. La línea verde va disminuyendo su valor, lo hace más abruptamente antes de los 2 segundos, y la línea roja lo va incrementando hasta casi converger en el último punto amarillo mostrado en el gráfico. Dicho valor es mayor a $1E2$ y menor a $1,25E2$.

```

Elapsed time = 11,10 sec. (10782,25 ticks, tree = 0,03 MB, solutions = 13)
  3668   222   115,0000   120   119,0000   105,9385   229305   10,98%
*  5171+ 1049   118,0000   108,3664   110,0000   113,7500   368229   3,60%
  5553  1023   113,0980   213   118,0000   110,4730   298016   6,38%
  7110   800   infeasible   118,0000   113,7500   368229   3,60%
*  7215   766   integral    0   117,0000   114,4381   369655   2,19%

Clique cuts applied:  6
Implied bound cuts applied:  7
Flow cuts applied:  47
Mixed integer rounding cuts applied:  201
Zero-half cuts applied:  14
Gomory fractional cuts applied:  11

Root node processing (before b&c):
  Real time           =    5,02 sec. (4610,12 ticks)
Parallel b&c, 6 threads:
  Real time           =    9,17 sec. (9197,68 ticks)
  Sync time (average) =    1,36 sec.
  Wait time (average) =    0,01 sec.
-----
Total (root+branch&cut) =   14,20 sec. (13807,79 ticks)

```

Figura 6.2 – tabla de solapa 'Statistics' al momento de hallar la solución

En la figura 6.2 se puede observar el final de la solapa 'Engine log' donde se ve que la solución alcanzada tiene un valor de 117 unidades de tiempo con un gap de 2,19 %. También, se ve reflejado que el tiempo en encontrar dicha solución fue de 14,20 segundos (gran decremento en comparación con el paso anterior). Durante la ejecución del algoritmo se encontraron 16 soluciones distintas hasta llegar a la óptima.

Se muestra a continuación la solapa de 'Scripting log' parcialmente:

```
solution: 117 /size: 138 /time: 1669037059.699732065
Nodo 1: 1
Nodo 2: 1
Nodo 3: 1
Nodo 4: 1
Nodo 5: 1
Nodo 6: 1
Nodo 7: 4
Nodo 8: 2
Nodo 9: 1
Nodo 10: 2
Nodo 11: 1
Nodo 12: 2
Nodo 13: 2
Nodo 14: 1
Nodo 15: 1
Nodo 16: 2
Nodo 17: 1
Nodo 18: 3
Nodo 19: 1
Nodo 20: 7
Nodo 21: 4
Nodo 22: 1
Nodo 23: 1
Nodo 24: 2
Nodo 25: 2
Nodo 26: 5
Nodo 27: 2
Nodo 28: 5
Nodo 29: 6
```

Figura 6.3 – comienzo del resultado del modelo

```
Nodo 55: 2
Nodo 56: 2
Nodo 57: 11
Nodo 58: 10
Nodo 59: 1
Nodo 60: 1
Nodo 61: 3
Nodo 62: 2
Nodo 63: 1
Nodo 64: 1
Nodo 65: 1
Nodo 66: 1
Nodo 67: 2
Nodo 68: 2
Nodo 69: 3
Nodo 70: 5
Nodo 71: 1
Nodo 72: 7
Nodo 73: 2
Nodo 74: 11
Nodo 75: 1
Nodo 76: 1
Nodo 77: 1
Nodo 78: 10
Nodo 79: 1
Nodo 80: 1
Nodo 81: 10
```

Figura 6.4 – sección intermedia del resultado del modelo

```
Nodo 109: 1
Nodo 110: 2
Nodo 111: 1
Nodo 112: 2
Nodo 113: 1
Nodo 114: 1
Nodo 115: 11
Nodo 116: 6
Nodo 117: 2
Nodo 118: 2
Nodo 119: 4
Nodo 120: 3
Nodo 121: 1
Nodo 122: 8
Nodo 123: 8
Nodo 124: 2
Nodo 125: 1
Nodo 126: 6
Nodo 127: 1
Nodo 128: 1
Nodo 129: 1
Nodo 130: 4
Nodo 131: 3
Nodo 132: 1
Nodo 133: 5
Nodo 134: 2
Nodo 135: 9
Nodo 136: 2
Nodo 137: 2
Nodo 138: 5
```

Figura 6.5 – final del resultado del modelo

Nuevamente, la cantidad de lavados para la solución hallada es de 11.

7. Paso 6

En esta sección se pide volver a correr los pasos 3 y 5 pero ahora teniendo en cuenta que existe una solución de 11 lavados. Teniendo esto en cuenta se modifica en cada paso la variable 'limiteColores' para que sea igual a 11. Se debe considerar que la diferencia entre ambos pasos reside en que en el paso 3 no se tiene la restricción de simetría y en el paso 5 sí.

Debido a esto último, el paso 3 con un límite de 11 lavados tampoco llega una solución. El algoritmo se corre aproximadamente 10 minutos.

A continuación se puede ver el gráfico de la solapa 'Statistics' antes de los 90 segundos de ejecución:

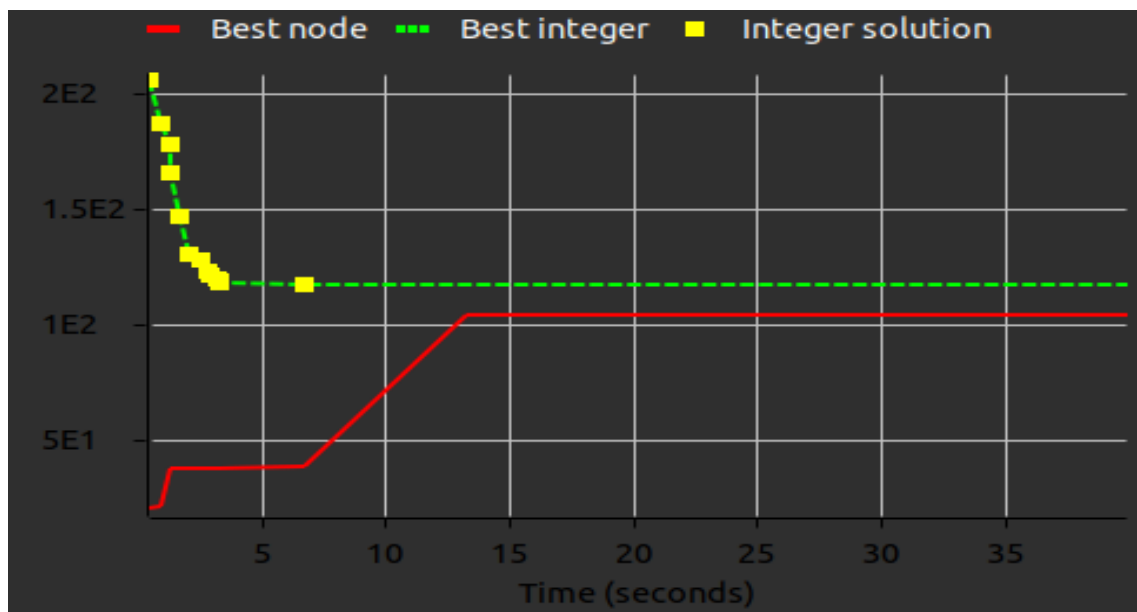


Figura 7.1 – gráfico de solapa 'Statistics' antes de los 90 segundos de ejecución

En dicho gráfico se ve que la línea punteada verde baja abruptamente antes de los 5 segundos y después se estabiliza en un valor superior a 1E2 y menor a 1,25E2. En cambio, la línea roja arranca en cero y va incrementando su valor hasta estabilizarse cerca de los 13 segundos en un valor cercano a 1E2. Ambas rectas se modifican haciendo que sus valores se asemejen lo más posible.

Luego de los 10 minutos de ejecución se interrumpe el algoritmo. Se obtienen los siguientes gráficos y tablas:

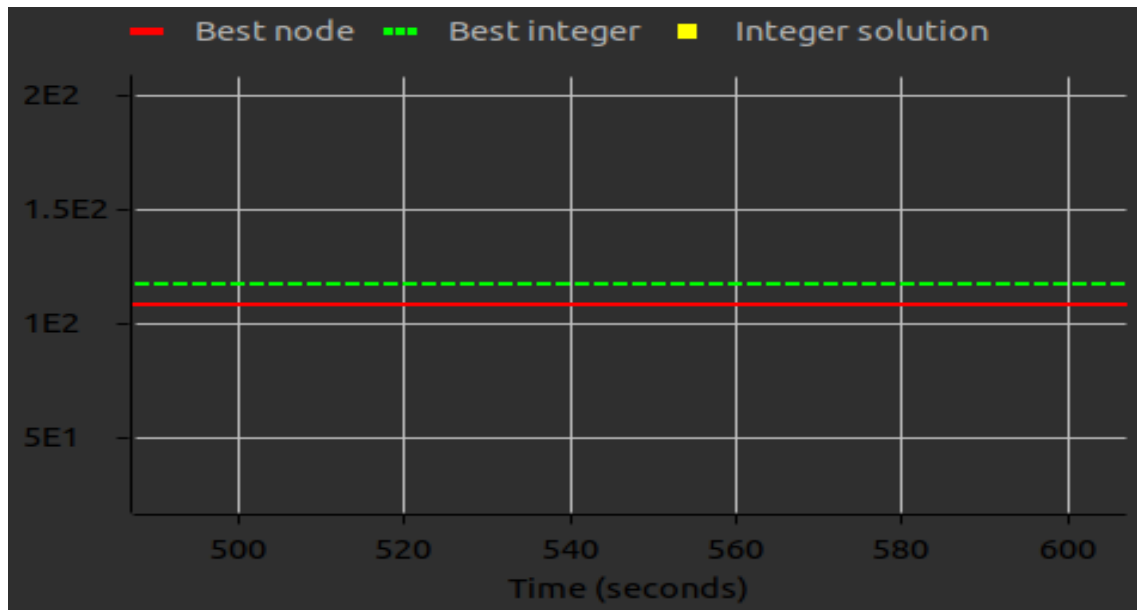


Figura 7.2 – gráfico de solapa 'Statistics' a los 10 minutos de ejecución

En la figura 7.2 se puede ver a ambas líneas estables con un valor bastante semejante que se encuentra entre 1E2 y 1,25E2.

```

Elapsed time = 566,76 sec. (675520,32 ticks, tree = 1575,35 MB, solutions = 21)
193097 61906    110,3157    395    117,0000    108,0000 30600717    7,69%
193749 62290    112,3333    311    117,0000    108,0000 30670137    7,69%
194498 62841    112,2222    327    117,0000    108,0000 30773147    7,69%
195085 63638    110,0000    413    117,0000    108,0000 30923131    7,69%
195635 63867    112,0000    335    117,0000    108,0000 30973839    7,69%
196207 64337    114,0000    333    117,0000    108,0000 31079136    7,69%
196829 64881    114,0000    281    117,0000    108,0000 31200232    7,69%
197354 65406    112,0000    306    117,0000    108,0000 31320136    7,69%
197965 65759    108,6561    382    117,0000    108,0000 31399380    7,69%
198638 66326    108,6561    336    117,0000    108,0000 31533668    7,69%
Elapsed time = 599,20 sec. (713780,93 ticks, tree = 1722,68 MB, solutions = 21)

```

Figura 7.3 – tabla de solapa 'Statistics' a los 10 minutos de ejecución

En la figura 7.3 se puede ver que al momento de cortar la ejecución la solución encontrada es de 117 unidades de tiempo con un gap de 7,69%. Esta es una de las 21 soluciones distintas encontradas durante el procesamiento del algoritmo hasta ese momento. El algoritmo fue interrumpido a los 599,20 segundos transcurridos donde la solución era estable.

Por otro lado, el paso 5 con un límite de 11 lavados sí llegó a una solución óptima debido a que este paso tenía en consideración la restricción de simetría. Los gráficos y tablas desarrollados durante la ejecución del algoritmo se encuentran a continuación:

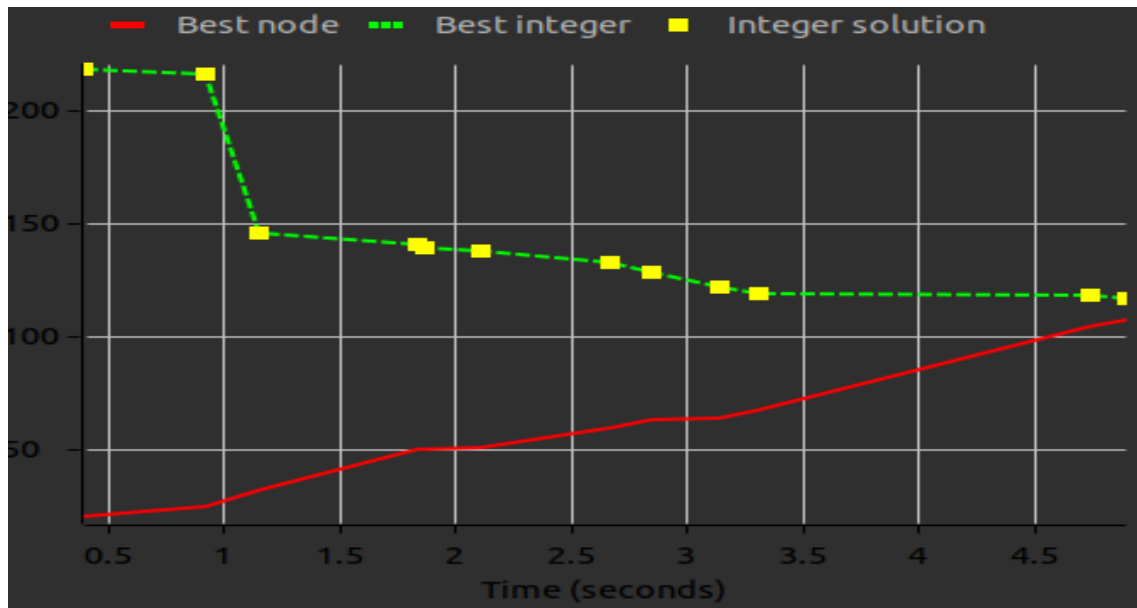


Figura 7.4 – gráfico de solapa 'Statistics' al llegar a la solución

En la figura 7.4 se puede ver que la línea verde va disminuyendo su valor (más abruptamente hasta después del segundo) y la línea roja va aumentando su valor. Ambas líneas se acercan en un valor mayor a 100 y menor a 150 donde se puede ver un punto amarillo.

```

Elapsed time = 3,59 sec. (3768,16 ticks, tree = 0,02 MB, solutions = 12)
  119   43   110,0000   122   119,0000   70,3648   36303   40,87%
  707  322   109,7692   123   119,0000   90,1148   59329   24,27%
 1221  654      cutoff   119,0000   98,4576   84337   17,26%
+ 1869  911   integral     0   118,0000   104,1803   97922   11,71%
 2153  947   109,3158   161   118,0000   106,0236   104244   10,15%
+ 2302+ 1040      117,0000   107,5232    8,10%
 2985  929   112,0000   145   117,0000   109,0000   126913    6,84%

Clique cuts applied:  2
Implied bound cuts applied:  794
Mixed integer rounding cuts applied:  107
Zero-half cuts applied:  91
Multi commodity flow cuts applied:  15

Root node processing (before b&c):
  Real time           =    3,55 sec. (3714,57 ticks)
Parallel b&c, 6 threads:
  Real time           =    1,63 sec. (1477,15 ticks)
  Sync time (average) =    0,42 sec.
  Wait time (average) =    0,00 sec.
-----
Total (root+branch&cut) =    5,18 sec. (5191,72 ticks)

```

Figura 7.5 – tabla de solapa 'Statistics' al llegar a la solución

En la tabla superior se puede ver que el valor de la solución hallada es de 117 unidades de tiempo con un gap de 6,84 %. A lo largo de la ejecución se encontraron 15 soluciones distintas hasta llegar a la óptima. Se halló la solución en 5,18 segundos.

A continuación se dejan capturas parciales de la solapa 'Scripting log':

```
solution: 117 /size: 138 /time: 1669038071.433537006
Nodo 1: 1
Nodo 2: 1
Nodo 3: 5
Nodo 4: 1
Nodo 5: 1
Nodo 6: 1
Nodo 7: 3
Nodo 8: 2
Nodo 9: 1
Nodo 10: 2
Nodo 11: 1
Nodo 12: 2
Nodo 13: 1
Nodo 14: 1
Nodo 15: 6
Nodo 16: 3
Nodo 17: 2
Nodo 18: 4
Nodo 19: 1
Nodo 20: 6
Nodo 21: 3
Nodo 22: 2
Nodo 23: 1
Nodo 24: 9
```

Figura 7.6 – inicio de la solución del modelo

```
Nodo 67: 2
Nodo 68: 1
Nodo 69: 2
Nodo 70: 4
Nodo 71: 1
Nodo 72: 7
Nodo 73: 2
Nodo 74: 11
Nodo 75: 5
Nodo 76: 2
Nodo 77: 1
Nodo 78: 10
Nodo 79: 1
Nodo 80: 2
Nodo 81: 10
Nodo 82: 1
Nodo 83: 6
Nodo 84: 2
Nodo 85: 1
Nodo 86: 1
Nodo 87: 1
Nodo 88: 1
Nodo 89: 3
Nodo 90: 2
Nodo 91: 1
Nodo 92: 5
```

Figura 7.7 – sección intermedia de la solución del modelo

```

Nodo 113: 6
Nodo 114: 1
Nodo 115: 5
Nodo 116: 6
Nodo 117: 1
Nodo 118: 2
Nodo 119: 2
Nodo 120: 4
Nodo 121: 2
Nodo 122: 4
Nodo 123: 3
Nodo 124: 2
Nodo 125: 4
Nodo 126: 7
Nodo 127: 2
Nodo 128: 1
Nodo 129: 1
Nodo 130: 10
Nodo 131: 5
Nodo 132: 6
Nodo 133: 3
Nodo 134: 2
Nodo 135: 9
Nodo 136: 2
Nodo 137: 2
Nodo 138: 5

```

Figura 7.8 – fin de la solución del modelo

Nuevamente, se puede ver que la cantidad de lavados fue de 11. Pero a diferencia de los pasos anteriores en donde se llegó a una solución, esta resolución fue la más veloz ya que se limitó aún más la cantidad máxima de lavados para que se asemeje más a la solución real.

Se puede ver que ambos pasos terminan en el mismo valor de solución: 117 unidades de tiempo. Sin embargo, el paso 3 no finaliza de correr y el paso 5 sí. Esto se debe a que el paso 5 considera la restricción de simetría y como ya estuvimos viendo en los pasos previos, esta restricción es clave para que el modelo encuentre el óptimo.

8. Paso 7

Con la heurística del paso 1 se llegó a una solución de 123 unidades de tiempo con un total de 11 lavados (0 - 10).

En cambio, mediante programación lineal entera obtuvimos distintos resultados en cada paso.

- Con el paso 2 no se llegó a la solución óptima, pero al interrumpir la ejecución del algoritmo a los 10 minutos se ve una solución de 131 unidades de tiempo.
- Con el paso 3 no se llegó a la solución óptima, pero al interrumpir la ejecución del algoritmo a los 10 minutos se ve una solución de 117 unidades de tiempo. La misma se corrió con un máximo de 15 lavados.
- Con el paso 4 se llegó a la solución óptima, la misma es de 117 unidades de tiempo y se alcanzó en un tiempo de alrededor 2 minutos. La misma se corrió con la restricción de simetría.
- Con el paso 5 se llegó a la solución óptima, la misma es de 117 unidades de tiempo y se alcanzó en un tiempo menor al minuto. La misma se corrió con la restricción de simetría y con un máximo de 15 lavados.
- Con el paso 6, por un lado no se llegó a una solución óptima al usar el paso 3 pero con un máximo de 11 lavados aunque al cortar la ejecución a los 10 minutos la última solución hallada fue de 117 unidades de tiempo; por otro lado, si se llegó a la solución óptima utilizando el paso 5 con 11 lavados como máximo, la misma fue de 117 unidades de tiempo y se alcanzó en un tiempo menor al minuto y menor que en el paso 5. La misma se corrió con la restricción de simetría y con un máximo de 11 lavados.

Observaciones:

- Con ningún modelo de la programación lineal se llegó al mismo resultado que en el paso 1.
- El resultado del paso 1 (123) es mayor a todo el resto de los pasos (117) salvo el 2 (131 unidades de tiempo).
- Todos los modelos resueltos mediante programación lineal que llegaron a un óptimo utilizaron la misma cantidad de lavados que la resolución del paso 1 (11).
- El tiempo de ejecución más cercano al del paso 1 es el del paso 6 utilizando el paso 5.
- Tanto en el paso 1 como en el resto se busca minimizar el tiempo total de todos los lavados.

9. Conclusiones

Luego de haber resuelto este y los anteriores trabajos prácticos se pudieron analizar y resforzar distintos temas vistos durante el transcurso del cuatrimestre.

Cada entrega de tp era una iteración para resolver de distintas maneras la misma problemática creando distintos modelos y utilizando distintas herramientas, esto permitió fortalecer no sólo los conceptos teóricos sino también los prácticos.

La primera entrega consistió en la resolución de la problemática con tan solo 20 prendas. Para ello se implementó una solución en lenguaje Python que terminó con un tiempo total de lavado de 63 unidades de tiempo.

Para la segunda entrega se incrementó la cantidad de prendas a 200 y la ejecución del algoritmo resultó en un tiempo total de lavado de 485 unidades de tiempo.

La tercera entrega consistía en la modelización de la situación problemática utilizando programación lineal. Para la misma se propuso una combinación del problema de la mochila en conjunción con el problema de schedulling.

La cuarta y última entrega consistió en la utilización de la herramienta CPLEX para analizar la resolución de la situación problemática habiendolo formulado como un problema de coloreo.

En conclusión, siento que la realización de los distintos trabajos prácticos y el orden en que se fueron dando me ayudaron en gran medida a profundizar los temas de la materia. Además, considero que fue de gran estímulo ver como se podía resolver la situación problemática utilizando programación como venimos aprendiendo todos estos años en la carrera Ing. informática ya que esto permite generar una conexión entre ambas temáticas.