



Universidad Carlos III

Heurística y Optimización 2022-23

Práctica 2

Curso 2022-23

# Satisfacción de Restricciones y Búsqueda Heurística

Fecha de entrega: **15/12/22**

GRUPO: **80**

**Carlos Sánchez Arroyo 100451282**

**Rodrigo Valderrey Tarrero-100451271**

# **Índice**

1. URL de la práctica
2. Introducción
3. Descripción de los modelos
  - 3.1 Primera parte
  - 3.2 Segunda parte
  - 3.3 Explicación de decisiones
4. Análisis de los resultados
  - 4.1 Primera parte
  - 4.2 Segunda parte
5. Conclusiones acerca de la práctica

## **1. URL de la práctica**

La práctica se ha realizado utilizando el IDE de programación Pycharm. Se han implementado los modelos en el lenguaje de programación Python. Los avances realizados por los dos alumnos que forman el grupo se han subido a un repositorio en común encontrado en Github, cuyo enlace es: <https://github.com/carlossanchezarroyo/Practica-2-heuristica>.

## **2. Introducción**

El documento a continuación presentado se compone de cuatro secciones principales (descontando esta). En la primera parte se proporciona un enlace al en el cual se aloja el código de la práctica. Esta parte se encuentra sobre la presente introducción.

En la primera parte de la memoria se explican los modelos implementados para resolver los dos problemas (satisfacción de restricciones y búsqueda heurística). Se encontrarán aquí los desarrollos de las partes 1 y 2.

A continuación se pueden encontrar los resultados que se han obtenido fruto de dicha implementación acompañados de un análisis. Además, se especificará la solución (óptima) obtenida mediante búsqueda heurística, con su respectivo coste.

Por último se encuentran las conclusiones acerca de la práctica extraídas por los alumnos.

## **3. Descripción de los modelos.**

### **3.1 Primera parte**

Para modelizar la primera parte (satisfacción de restricciones) se emplea una terna compuesta por tres elementos (X, D, C), como en cualquier problema de satisfacción de restricciones. Una vez definidos los conjuntos pertenecientes a esta tupla, se puede empezar a comprobar si existe alguna solución al problema.

En primer lugar definiremos  $X = \{x_i\}_{i=1}^n$ , donde se encuentra el conjunto de variables definidas. Para cada uno de los alumnos representados en cada línea del fichero entrada al ejecutar, se define cada variable ( $x_i$ ) concatenando los siguiente atributos: el Id, si es conflictivo o no (C o X respectivamente), y si está considerado de movilidad reducida o no (R o X respectivamente). Por ejemplo, si la línea del alumno correspondiente es "1,1,C,R,0", la variable resultante será "1CR".

A continuación  $D = \{D_i\}_{i=1}^n$  definimos, donde se encuentra el dominio de cada variable definida en el párrafo anterior. Inicialmente el dominio que se puede asignar a cualquiera de las variables de las variables es  $\forall i \in X, D_i = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32)$ . Sin embargo, no todos los alumnos pueden ocupar cualquier asiento, ya que por ejemplo, si uno tiene movilidad reducida, se deberá asignar a este un asiento reservado. Todos los dominios definidos en esta parte son los siguientes:

Argumento	Variables a las que aplica	Dominio resultante
Si es del ciclo 1 y no tiene hermanos, o su hermano también es del ciclo 1	$\forall x \in X$ que cumpla: $(x \in \text{ciclo } 1) \wedge ((x_h = \emptyset \vee x_h \in \text{ciclo } 1))$  Donde $x_h$ representa al hermano de $x$	$D_x = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]$
Si es del ciclo 2 y no tiene hermanos, o su hermano también es del ciclo 2.	$\forall x \in X$ que cumpla: $(x \in \text{ciclo } 2) \wedge ((x_h = \emptyset \vee x_h \in \text{ciclo } 2))$  Donde $x_h$ representa al hermano de $x$	$D_x = [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32]$
Si los hermanos son de distinto ciclo, y el hermano tiene movilidad reducida.	$\forall x \in X$ que cumpla: $(\text{ciclo}(x) \neq \text{ciclo}(x_h)) \wedge (\text{reducida}(x_h))$  Donde $x_h$ representa al hermano de $x$ , $\text{ciclo}()$ representa el ciclo de la variable y $\text{reducida}()$ representa si tiene movilidad reducida.	$D_x = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]$
Si son de distintos ciclos y $x_i$ es el mayor.	$\forall x \in X$ que cumpla: $(\text{ciclo}(x) \neq \text{ciclo}(x_h)) \wedge (\text{ciclo}(x) > \text{ciclo}(x_h))$  Donde $x_h$ representa al hermano de $x$ y $\text{ciclo}()$ representa el ciclo de la variable.	$D_x = [2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15]$
Si son de distintos ciclos y $x_i$ es el menor.	$\forall x \in X$ que cumpla: $(\text{ciclo}(x) \neq \text{ciclo}(x_h)) \wedge (\text{ciclo}(x) < \text{ciclo}(x_h))$  Donde $x_h$ representa al hermano de $x$ y $\text{ciclo}()$ representa el ciclo de la variable.	$D_x = [1, 4, 5, 8, 9, 12, 13, 16]$
Si tiene movilidad reducida, es del ciclo 1 y no tiene hermanos, o su hermano también es del ciclo 1.	$\forall x \in X$ que cumpla: $(x \in \text{ciclo } 1) \wedge ((x_h = \emptyset \vee x_h \in \text{ciclo } 1)) \wedge (\text{reducida}(x))$  Donde $x_h$ representa al hermano de $x$ y $\text{reducida}()$ representa si tiene movilidad reducida.	$D_x = [1, 2, 3, 4, 13, 14, 15, 16]$

Si tiene movilidad reducida, es del ciclo 1 y no tiene hermanos, o su hermano también es del ciclo 2.	$\forall x \in X$ que cumpla: $(x \in \text{ciclo } 1) \wedge ((x_h = \emptyset \vee x_h \in \text{ciclo } 2)) \wedge (\text{reducida}(x))$  Donde $x_h$ representa al hermano de $x$ y $\text{reducida}()$ representa si tiene movilidad reducida.	$D_x = [17, 18, 19, 20]$
Si tiene movilidad reducida, tiene hermanos y no coincide el ciclo.	$\forall x \in X$ que cumpla: $(x_h \neq \emptyset) \wedge (\text{ciclo}(x) \neq \text{ciclo}(x_h)) \wedge (\text{reducida}(x))$  Donde $x_h$ representa al hermano de $x$ , $\text{ciclo}()$ representa el ciclo de la variable y $\text{reducida}()$ representa si tiene movilidad reducida.	$D_x = [1, 2, 3, 4, 13, 14, 15, 16]$

Una vez definidos los dominios de todas las variables, se deberán establecer las restricciones existentes entre variables para que los valores que tomen puedan darse simultáneamente. Las establecidas en este problema son las siguientes:

Argumento	Variables a las que aplica	Restricción
No puede asignarse el mismo asiento a dos alumnos.	$\forall x_1, x_2 \in X$	$x_1 \neq x_2$
Si $x$ tiene movilidad reducida se verifica que nadie esté sentado a su lado.	$\forall x_1 \in X$ que cumpla: $\text{reducida}(x_1)$  Donde $\text{reducida}()$ representa que tiene movilidad reducida.	$\forall x_2 \in X$ : $x_1 \in \text{pares}: x_2 \neq x_1 - 1$ $x_1 \in \text{impares}: x_2 \neq x_1 + 1$  Donde “pares” es el conjunto compuesto por los números “ $y$ ” que cumplen $\{y = 2 * n / n \in N\}$ e “impares” el conjunto de números “ $z$ ” que cumplen $\{z = (2 * n + 1) / n \in N\}$

<p>Si <math>x</math> es conflictivo, se comprueba que no haya nadie conflictivo sentado cerca suyo.</p>	<p><math>\forall x_1, x_2 \in X</math> que cumplan:  <math>conflictivo(x_1) \wedge \sim hermanos(x_1, x_2) \wedge (reducida(x_2) \vee conflictivo(x_2))</math></p> <p>Donde <math>reducida()</math> representa si tiene movilidad reducida, <math>conflictivo()</math> si el alumno es conflictivo y <math>hermanos()</math> si los dos alumnos son hermanos.</p>	<p>si <math>x_1 = 1</math>, entonces <math>x_2 \notin [2, 5, 6]</math>  si <math>x_1 = 4</math>, entonces <math>x_2 \notin [3, 7, 8]</math>  si <math>x_1 = 29</math> entonces <math>x_2 \notin [25, 26, 30]</math>  si <math>x_1 = 32</math> entonces <math>x_2 \notin [27, 28, 31]</math>  si <math>x_1 = 29</math> entonces <math>x_2 \notin [25, 26, 30]</math></p> <p>si <math>(x_1 - 1) \% 4 = 0</math>, entonces:  <math>x_2 \notin [(x - 4), (x - 3), (x + 1), (x + 4), (x + 5)]</math></p> <p>si <math>(x_1 \% 4) = 0</math>, entonces:  <math>x_2 \notin [(x + 4), (x + 3), (x - 1), (x - 4), (x - 5)]</math></p> <p>si <math>x_1 \in [2, 3]</math>, entonces:  <math>x_2 \notin [(x - 1), (x + 3), (x + 4), (x + 5), (x + 1)]</math></p> <p>si <math>x_1 \in [30, 31]</math>, entonces:  <math>x_2 \notin [(x + 1), (x - 3), (x - 4), (x - 5), (x - 1)]</math></p> <p>si <math>x_1 \in [6, 7, 10, 11, 14, 15, 18, 19, 22, 23, 26, 27]</math>, entonces:  <math>x_2 \notin [(x - 5), (x - 4), (x - 3), (x - 1), (x + 1), (x + 3), (x + 4), (x + 5)]</math></p>
<p>Si <math>x_1</math> y <math>x_2</math> son hermanos y alguno de los dos tiene movilidad reducida.</p>	<p><math>\forall x_1, x_2 \in X</math> que cumplan:  <math>hermanos(x_1, x_2) \wedge (reducida(x_2) \vee reducida(x_1))</math></p> <p>Donde <math>reducida()</math> representa si el alumno tiene movilidad reducida y <math>hermanos()</math> si los dos alumnos son hermanos.</p>	<p>si <math>x_1 \in</math> sección 1, entonces:  <math>x_2 \in</math> sección 1  si <math>x_1 \in</math> sección 2, entonces:  <math>x_2 \in</math> sección 2</p> <p>Dónde sección 1 es el conjunto formado por:  <math>[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]</math></p> <p>y sección 2 está formado por:  <math>[17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32]</math></p>

Si $x_1$ y $x_2$ son hermanos, y ninguno tiene movilidad reducida.	$\forall x_1, x_2 \in X$ que cumplan: $hermanos(x_1, x_2) \wedge$ $\sim(reducida(x_2) \vee reducida(x_1))$  Donde $reducida()$ representa si el alumno tiene movilidad reducida y $hermanos()$ si los dos alumnos son hermanos.	$\forall x_2 \in X$ : si $x_1 \in pares$ , entonces $x_2 = x_1 - 1$ si $x_1 \in impares$ , entonces $x_2 = x_1 + 1$  Donde “pares” es el conjunto compuesto por los números “y” que cumplen $\{y = 2 * n / n \in N\}$ e “impares” el conjunto de números “z” que cumplen $\{z = (2 * n + 1) / n \in N\}$ .
--	---	--

Una vez definidos todos estos conjuntos, ya se ha terminado de modelizar el problema y se puede proseguir a buscar soluciones para las que cada variable tiene un valor de su dominio y cumple las restricciones que la afectan.

### 3.2 Segunda parte

Para poder llevar a cabo la segunda parte (búsqueda heurística) se emplea el algoritmo de búsqueda informada A estrella. Para ello, se definen dos clases: Estado y Árbol.

La clase Estado tiene como atributos: “estado”, que se trata de una lista de los alumnos que hay en la cola; “restantes”, que simboliza los alumnos que aún quedan por añadir a la cola; “heurística” que toma el valor 1 o 2 dependiendo de cual sea la seleccionada y “alumnos” que lleva el registro de los asientos asignados. Este estado contiene métodos que permiten calcular el coste de la cola determinada en “estado” y la función heurística del estado (para las dos heurísticas); otro método que permite determinar si el estado es terminal y un último método gracias al que se determina la validez de ese estado. Si un nodo es terminal, se comprobará que no queden alumnos por añadir y además que sea válido. En tal caso se habrá encontrado la solución óptima.

Las heurísticas empleadas son las siguientes:

1ª Heurística: Los alumnos que queden por asignar que sean de movilidad reducida, incrementarán en 2 unidades la heurística, dado que el coste de añadirlo a la cola será de 3 pero se deberá restar una unidad debido a que el usuario que no tenga movilidad reducida que le ayude será añadido a la cola sin aumentar el coste, según lo especificado en el enunciado. De tal forma que se puede modelizar de la siguiente forma:

$$h_1(n) = ||R|| * 2 + ||X|| - M$$

Donde  $||R||$  representa la cardinalidad del conjunto de movilidad reducida aún por encolar;  $||X||$  la cardinalidad del conjunto de alumnos sin movilidad reducida aún por encolar y  $M$  representa si el último alumno asignado a la cola en dicho estado tiene movilidad reducida o no (tomando valores binarios: 1 si efectivamente tenía movilidad reducida y 0 en otro caso).

De esta forma cuando el último alumno que fue encolado sea de movilidad reducida, se tendrá en cuenta que el próximo alumno en subir no incrementa el coste final.

2ª Heurística: Se tomará de partida la cardinalidad del conjunto de alumnos que quedan por asignar. Se restará a ese valor una unidad si el último alumno añadido tenía movilidad reducida, por lo mencionado anteriormente (el siguiente alumno no incrementa el coste). Por último, se resta una unidad por cada alumno de movilidad reducida que quede por asignar. Esta restricción surge relajando el problema. Para conseguirlo se elimina la restricción que estipula el coste de los alumnos de movilidad reducida. De esta forma la heurística se modela como sigue:

$$h_2(n) = ||A|| - M - ||R||$$

Donde  $||A||$  denota la cardinalidad del conjunto de alumnos que quedan por asignar;  $M$  se trata de un valor binario que adquiere el valor de 0 si el último alumno asignado no era de movilidad reducida y 1 si lo era y  $||R||$  es la cardinalidad del conjunto de alumnos de movilidad reducida aún no asignados.

Así se logra restar a la heurística calculada el coste de los alumnos de movilidad reducida, relajando la restricción previamente mencionada.

Para la resolución del problema, se crea una clase “Arbol” que ejecuta un método llamado “busqueda\_ASTAR” gracias al cual, empleando el algoritmo A estrella se obtienen la solución óptima, el tiempo de cómputo requerido, el coste de llegar a la solución a partir del estado inicial, la profundidad a la que se ha encontrado la solución y los nodos expandidos durante la ejecución del algoritmo.

### **3.3 Explicación de decisiones**

En la parte 1 la funcionalidad en python sigue una serie de pasos.

Primero se abre el fichero el cual se pasa por parámetro. A continuación, se crea el problema con la clase “Problem”, y recorriendo los alumnos que se han leído en el fichero de entrada se crean las variables y para cada una de ellas se define el dominio que le corresponde. Tras haber creado todas, se crea la restricción que establece que las variables no puedan tener el mismo valor, y como siguiente paso se recorren todas las variables para crear las restricciones definidas anteriormente.

Se comprueba que estas se cumplen llamando a funciones definidas antes de las iteraciones, y devuelven “True” cuando se cumple la restricción y “False” cuando no se cumple. Una vez realizado esto, se llama a la función de la clase “Problem” que se encarga de hallar todas las posibles soluciones al problema descrito con las variables y las restricciones. Se escogen como máximo, 3 soluciones de estas, se ordenan por el número de asiento gracias a una función definida en el código. Por último se escribe en el fichero salida el número de soluciones y las soluciones obtenidas.



En cuanto a la parte 2, el código comienza leyendo el diccionario que se encuentra en el fichero de entrada que se ha especificado al ejecutar. Tras hacer esto, se crea un nodo inicial que contiene la lista que representa la cola vacía, y la lista de alumnos restantes contiene todos los alumnos. A continuación se crea un objeto de la clase Arbol, que tiene como nodo inicial el mencionado anteriormente, y se llama a la función de búsqueda de esta clase. Esta función se encargará de expandir los nodos correspondientes en cada iteración e incluirlos en una lista abierta ordenada por la función  $f(x)$  de cada nodo. En cada iteración nueva se escogerá el nodo con menor coste en dicha función. Una vez se encuentre un nodo final, se procederá a escribir los ficheros de salida correspondientes. Uno contendrá la cola inicial y la cola final (con el coste óptimo encontrado), y el otro contendrá estadísticas como el tiempo de búsqueda y dicho coste óptimo.

## 4. Análisis de los resultados

### 4.1 Primera parte

Para evaluar esta parte se ha considerado la realización de 8 pruebas diferentes. De cara al análisis de los resultados, se emplea la siguiente notación:

Los alumnos que no sean ni conflictivos ni de movilidad reducida serán llamados “corrientes”.

Los que sean tanto de movilidad reducida como conflictivos serán denominados “mixtos”.

Los que tan solo tengan movilidad reducida serán llamados “alumnos de movilidad reducida”.

Los que son conflictivos y no tienen movilidad reducida recibirán serán “conflictivos”.

En los dibujos, la zona coloreada de amarillo representa un asiento ocupado.

Input	Output	Análisis	Dibujo casos
1,1,C,X,3 2,2,X,X,0 3,2,X,X,1 4,2,C,R,0 5,1,X,X,0 6,1,X,X,0 7,2,C,X,0 8,2,X,R,0	Número de soluciones: 576576 {'6XX': 2, '3XX': 3, '1CX': 4, '5XX': 9, '8XR': 17, '4CR': 19, '2XX': 21, '7CX': 25} {'5XX': 1, '3XX': 7, '1CX': 8, '6XX': 10, '8XR': 17, '4CR': 20, '2XX': 24, '7CX': 31} {'1CX': 1, '3XX': 2, '6XX': 4, '5XX': 13, '4CR': 17, '8XR': 19, '7CX': 28, '2XX': 31}	Los alumnos de movilidad reducida y mixtos han sido asignados a asientos reservados para ellos (17, 19), (17,20), (17,19). En todos los casos el alumno que es mixto (id=4) ha sido separado del de todos salvo en un caso que se encuentra junto a su hermano (id = 3). El resto de alumnos varía su asignación sin nada destacable, pero siempre cumpliendo las restricciones.	

1,1,C,X,3 2,2,X,X,0 3,2,X,X,1 4,2,C,R,9 5,1,X,X,0 6,1,X,X,0 7,2,C,X,0 8,2,X,R,0 9,2,C,X,4	Número de soluciones: 1790880 {'6XX': 5, '1CX': 9, '3XX': 10, '5XX': 14, '4CR': 18, '8XR': 20, '9CX': 21, '2XX': 30, '7CX': 32}  {'6XX': 1, '1CX': 5, '3XX': 6, '5XX': 13, '4CR': 18, '8XR': 20, '2XX': 24, '7CX': 28, '9CX': 29}  {'1CX': 1, '3XX': 2, '6XX': 3, '5XX': 10, '4CR': 18, '8XR': 20, '2XX': 25, '7CX': 28, '9CX': 30}	En este caso se puede observar que la presencia de un alumno mixto proporciona casos en los que siempre está aislado (asientos 18, 18, 18). El único caso en el que un conflictivo tiene un acompañante al lado es el de id = 9, que siempre está con su hermano. Los de movilidad reducida no tienen a nadie a su lado y están en asientos correctos. Todas las restricciones se cumplen.	<table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table> <table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table> <table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table>	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																
1,1,X,R,2 2,2,X,R,1 3,2,X,R,0 4,1,X,R,0 5,1,X,R,0 6,1,X,R,0	Número de soluciones: 0	Como se puede observar, todos los alumnos son de movilidad reducida, por lo que deben ocupar los 6 asientos. Sin embargo, como 4 son del ciclo 1 y uno de estos tiene un hermano del ciclo 2 (que también tiene que sentarse en movilidad reducida, en el ciclo 1) no existe configuración posible.	No hay soluciones.																																																																																																																																																						
1,1,X,R,0 2,2,X,R,0 3,2,X,R,0 4,1,X,R,0 5,1,X,R,0 6,1,X,R,0	Número de soluciones: 3072 {'5XR': 2, '1XR': 4, '4XR': 13, '6XR': 15, '2XR': 18, '3XR': 20}  {'5XR': 2, '6XR': 4, '1XR': 13, '4XR': 15, '2XR': 17, '3XR': 19}  {'1XR': 1, '4XR': 3, '5XR': 13, '6XR': 16, '2XR': 17, '3XR': 19}	En este caso, todos son de movilidad reducida sin hermanos y sin ser conflictivos. Por lo tanto número de soluciones posibles se reduce a la operación: 4 * 2 * 8 * 6 * 4 * 2 Ya que estos alumnos no deben tener a su lado ningún alumno y deben ocupar. Se calculan las combinaciones recordando que cuando se ocupa un asiento se descarta como candidato el de al lado. Todas las restricciones se cumplen ya que nunca tienen a nadie al lado y se les puede asignar en su ciclo.	<table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table> <table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table> <table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table>	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																

1,1,X,R,0 2,1,X,R,0 3,1,X,X,4 4,1,X,X,3 5,1,X,R,0 6,1,X,R,0 7,1,X,X,8 8,1,X,X,7 9,1,X,X,1 0 10,1,X,X, 9	Número de soluciones: 73728 {'5XR': 1, '6XR': 4, '9XX': 7, '10XX': 8, '8XX': 9, '7XX': 10, '3XX': 11, '4XX': 12, '1XR': 13, '2XR': 15}  {'1XR': 2, '5XR': 4, '4XX': 7, '3XX': 8, '10XX': 9, '9XX': 10, '7XX': 11, '8XX': 12, '6XR': 13, '2XR': 15}  {'2XR': 1, '6XR': 3, '9XX': 5, '10XX': 6, '8XX': 9, '7XX': 10, '3XX': 11, '4XX': 12, '5XR': 13, '1XR': 16}	El aumento de alumnos a asignar, y que todos sean del ciclo 1 supone una disminución en el número de soluciones encontradas.  En todos los casos los alumnos con movilidad reducida están solos. Por lo tanto no se incumple ninguna restricción.  El resto de alumnos son hermanos así que se sientan juntos. Por ejemplo (3 y 4) que están asignados a los pares (11,12), (8,7), (11,12) cumpliendo así todas las restricciones.	<table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table> <table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table> <table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table>	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																
1,1,C,X,0 2,1,C,X,0 3,1,C,X,0 4,1,C,X,0 5,2,C,X,0 6,2,C,X,0 7,2,C,X,0 8,2,C,X,0	Número de soluciones: 729792 {'4CX': 2, '2CX': 4, '1CX': 10, '3CX': 12, '6CX': 18, '7CX': 24, '8CX': 25, '5CX': 31}  {'3CX': 1, '4CX': 3, '1CX': 10, '2CX': 12, '8CX': 22, '6CX': 24, '7CX': 29, '5CX': 31}  {'3CX': 5, '2CX': 7, '4CX': 13, '1CX': 16, '7CX': 21, '6CX': 23, '8CX': 29, '5CX': 31}	En este caso obtenemos 4 alumnos conflictivos por ciclo.  Así pues, se deben distribuir separados (sin contacto ni en las diagonales) pudiendo ocupar los asientos para movilidad reducida puesto que no hay ningún alumno que los vaya a requerir.  Todas las restricciones se cumplen de nuevo.	<table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table> <table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table> <table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table>	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																
1,1,X,R,2 2,2,X,R,1 3,1,X,R,0 4,1,X,R,0 5,1,X,R,6 6,1,X,R,5	Número de soluciones: 0	No hay soluciones posibles dado que hay 5 alumnos de movilidad reducida en el primer ciclo y aunque haya 8 asientos para este tipo de alumnos, no se puede asignar a un alumno junto a otro de movilidad reducida. Es por esto que se pueden asignar hasta 4 alumnos de movilidad reducida del ciclo 1 y en este caso hay 5.	No hay soluciones.																																																																																																																																																						

1,1,X,R,2 2,2,X,R,1 3,1,X,R,0 4,1,X,R,0	Número de soluciones: 384 {'1XR': 1, '3XR': 3, '4XR': 14, '2XR': 16}  {'2XR': 2, '1XR': 4, '4XR': 13, '3XR': 16}  {'1XR': 2, '2XR': 3, '3XR': 13, '4XR': 15}	En este caso se asignan asientos a 4 alumnos de movilidad reducida. 3 de ellos son del ciclo 1 pero el que es del ciclo 2 tiene un hermano en el ciclo 1 y por ello debe sentarse en la parte delantera del autobús. Así se hace cómo se puede ver en las representaciones de la derecha.	<table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table> <table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table> <table><tr><td>29</td><td>25</td><td>21</td><td>17</td><td>puerta</td><td>13</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>chofer</td></tr><tr><td>30</td><td>26</td><td>22</td><td>18</td><td></td><td>14</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td colspan="10">PASILLO</td></tr><tr><td>31</td><td>27</td><td>23</td><td>19</td><td></td><td>15</td><td>11</td><td>7</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>32</td><td>28</td><td>24</td><td>20</td><td>puerta</td><td>16</td><td>12</td><td>8</td><td>4</td><td>puerta</td></tr></table>	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta	29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer	30	26	22	18		14	10	6	2		PASILLO										31	27	23	19		15	11	7	3		32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																
29	25	21	17	puerta	13	9	5	1	chofer																																																																																																																																																
30	26	22	18		14	10	6	2																																																																																																																																																	
PASILLO																																																																																																																																																									
31	27	23	19		15	11	7	3																																																																																																																																																	
32	28	24	20	puerta	16	12	8	4	puerta																																																																																																																																																

## 4.2 Segunda parte

En cuanto a las pruebas realizadas para la segunda parte, se han considerado 6 casos diferentes. Al probar cada caso con las 2 heurísticas creadas, las pruebas resultantes son 12. En los resultados obtenidos de cada una se obtiene la propia solución del orden de la cola, el coste de dicha solución, el tiempo que se ha tardado en hacer la búsqueda, la longitud de la solución y el número de nodos expandidos. A continuación se mostrarán los resultados de cada prueba, mostrando para cada caso la solución de la primera y segunda heurística.

El primer caso es el que aparece en el enunciado de la parte 2 como un ejemplo. Este se caracteriza por tener varios elementos del problema variados. Las soluciones obtenidas en este ejemplo se muestran en la siguiente tabla:

<b>Primera Heurística</b>
<p>INICIAL: {'3XX': 11, '1CX': 12, '6XX': 15, '5XX': 16, '8XR': 18, '4CR': 20, '2XX': 31, '7CX': 32}</p> <p>FINAL: {'7CX': 32, '2XX': 31, '5XX': 16, '8XR': 18, '6XX': 15, '4CR': 20, '3XX': 11, '1CX': 12}</p> <p>Tiempo total: 2</p> <p>Coste total: 11</p> <p>Longitud del plan: 8</p> <p>Nodos expandidos: 3080</p>
<b>Segunda Heurística</b>
<p>INICIAL: {'3XX': 11, '1CX': 12, '6XX': 15, '5XX': 16, '8XR': 18, '4CR': 20, '2XX': 31, '7CX': 32}</p> <p>FINAL: {'7CX': 32, '2XX': 31, '5XX': 16, '8XR': 18, '6XX': 15, '4CR': 20, '3XX': 11, '1CX': 12}</p> <p>Tiempo total: 3</p> <p>Coste total: 11</p> <p>Longitud del plan: 8</p> <p>Nodos expandidos: 4490</p>

En el segundo caso probado, existen 9 alumnos, y es el caso más largo de ejecución de todos. Es igualmente variado con las condiciones de los alumnos que se dan. Los resultados de su ejecución son los siguientes:

<b>Primera Heurística</b>
<p>INICIAL: {'6XX': 7, '3XX': 11, '1CX': 12, '9CR': 13, '5XX': 16, '8XR': 19, '4CX': 25, '2XX': 31, '7CX': 32}  FINAL: {'7CX': 32, '4CX': 25, '5XX': 16, '3XX': 11, '8XR': 19, '2XX': 31, '9CR': 13, '6XX': 7, '1CX': 12}</p> <p>Tiempo total: 32  Coste total: 14  Longitud del plan: 9  Nodos expandidos: 10836</p>
<b>Segunda Heurística</b>
<p>INICIAL: {'6XX': 7, '3XX': 11, '1CX': 12, '9CR': 13, '5XX': 16, '8XR': 19, '4CX': 25, '2XX': 31, '7CX': 32}  FINAL: {'7CX': 32, '4CX': 25, '5XX': 16, '3XX': 11, '8XR': 19, '2XX': 31, '9CR': 13, '6XX': 7, '1CX': 12}</p> <p>Tiempo total: 112  Coste total: 14  Longitud del plan: 9  Nodos expandidos: 17090</p>

El tercer caso se caracteriza por tener un conflictivo sentado en el primer asiento y el resto de alumnos en asientos con número más grande. La solución de este ejemplo es que dicho alumno conflictivo se encuentre al final de la cola. Los resultados de las ejecuciones son

<b>Primera Heurística</b>
<p>INICIAL: {'3CX': 1, '2XX': 2, '1XX': 3, '4XX': 5, '5XX': 6, '6XX': 7, '7XX': 8}  FINAL: {'2XX': 2, '7XX': 8, '6XX': 7, '5XX': 6, '4XX': 5, '1XX': 3, '3CX': 1}</p> <p>Tiempo total: 1  Coste total: 8  Longitud del plan: 7  Nodos expandidos: 3195</p>
<b>Segunda Heurística</b>
<p>INICIAL: {'3CX': 1, '2XX': 2, '1XX': 3, '4XX': 5, '5XX': 6, '6XX': 7, '7XX': 8}  FINAL: {'2XX': 2, '7XX': 8, '6XX': 7, '5XX': 6, '4XX': 5, '1XX': 3, '3CX': 1}</p> <p>Tiempo total: 1  Coste total: 8  Longitud del plan: 7  Nodos expandidos: 3195</p>

El cuarto caso se caracteriza por tener un alumno conflictivo con movilidad reducida, para comprobar que no existe ningún problema con este caso. Los resultados de su ejecución se muestran a continuación:

<b>Primera Heurística</b>
INICIAL: {'4CR': 3, '3CX': 5, '2XX': 11, '1XX': 12} FINAL: {'2XX': 11, '4CR': 3, '1XX': 12, '3CX': 5}  Tiempo total: 0 Coste total: 7 Longitud del plan: 4 Nodos expandidos: 24
<b>Segunda Heurística</b>
INICIAL: {'4CR': 3, '3CX': 5, '2XX': 11, '1XX': 12} FINAL: {'2XX': 11, '4CR': 3, '1XX': 12, '3CX': 5}  Tiempo total: 0 Coste total: 7 Longitud del plan: 4 Nodos expandidos: 26

Los resultados del quinto caso de pruebas son los siguientes:

<b>Primera Heurística</b>
INICIAL: {'1CX': 1, '2XR': 4, '3XX': 17, '4XR': 19, '5CX': 25, '6XX': 27, '7CX': 28} FINAL: {'2XR': 4, '6XX': 27, '4XR': 19, '3XX': 17, '7CX': 28, '5CX': 25, '1CX': 1}  Tiempo total: 0 Coste total: 14 Longitud del plan: 7 Nodos expandidos: 1083
<b>Segunda Heurística</b>
INICIAL: {'1CX': 1, '2XR': 4, '3XX': 17, '4XR': 19, '5CX': 25, '6XX': 27, '7CX': 28} FINAL: {'2XR': 4, '6XX': 27, '4XR': 19, '3XX': 17, '7CX': 28, '5CX': 25, '1CX': 1}  Tiempo total: 0 Coste total: 14 Longitud del plan: 7 Nodos expandidos: 1308

Los resultados del quinto caso de pruebas son los siguientes:

<b>Primera Heurística</b>
INICIAL: {'3XR': 11, '1CX': 12, '6CX': 15} FINAL: {'3XR': 11, '6CX': 15, '1CX': 12}  Tiempo total: 0 Coste total: 8 Longitud del plan: 3 Nodos expandidos: 11
<b>Segunda Heurística</b>
INICIAL: {'3XR': 11, '1CX': 12, '6CX': 15} FINAL: {'3XR': 11, '6CX': 15, '1CX': 12}  Tiempo total: 0 Coste total: 8 Longitud del plan: 3 Nodos expandidos: 11

## **5. Conclusiones acerca de la práctica**

Esta práctica ha ayudado a los dos participantes a familiarizarse más con los problemas de satisfacibilidad de restricciones, ya que, pese a haber realizado ejercicios en clase, un problema en el que el número de variables puede variar y a su vez las restricciones y dominios de cada una de ellas ayuda mucho a la hora de asentar conceptos y aclarar dudas. En cuanto a la segunda parte, se ha conseguido aprender la forma de hacer una búsqueda y comprobar un problema que, al igual que el de la parte uno, tiene datos de entrada que pueden variar bastante. Además se ha profundizado en la creación de heurísticas, ya que en un inicio las que se pensaron podían llegar a sobreestimar el coste real y así no se llegaba a una solución óptima.

En cuanto a las herramientas utilizadas a lo largo de la elaboración de la práctica, se ha empleado la IDE pycharm para la creación de los ficheros escritos en python, y también para organizar los archivos de la manera especificada en el enunciado. Además de esto se ha hecho uso de Github para poder ver los cambios más recientes en la progresión de la práctica, lo que ha ayudado a los alumnos a poder trabajar de una manera más fluida.