

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías  
Industriales

Heurística para la Recolocación de Contenedores en  
Terminales Portuarias

Autor: Inmaculada Vargas Delgado

Tutor: Pablo Cortés Achedad

**Dep. Organización Industrial y Gestión de Empresas II**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2014



Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

# **Heurística para la Recolocación de Contenedores en Terminales Portuarias**

Autor:

Inmaculada Vargas Delgado

Tutor:

Pablo Cortés Achedad

Catedrático

Dep. Organización Industrial y Gestión de Empresas II

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2014

Trabajo Fin de Grado: Heurística para la Recolocación de Contenedores en Terminales Portuarias

Autor: Inmaculada Vargas Delgado

Tutor: Pablo Cortés Achedad

El tribunal nombrado para juzgar el TFG arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2014

El Secretario del Tribunal



## ***Agradecimientos***

En primer lugar deseo expresar mi más profundo y sincero agradecimiento al Dr. Pablo Cortés Achedad, por su dedicación, orientación y ayuda que me ha brindado en la realización de este trabajo.

Gracias a mi familia, a mis padres y hermanos, por aconsejarme y mostrar toda su confianza sin dudar en ningún momento en cada decisión que he tomado.

Gracias a mi pareja, por su paciencia, ánimos y apoyo incondicional, que me ha ayudado a llegar hasta donde estoy ahora, compartiendo las decepciones y alegrías durante estos cuatro años.

## Índice de contenido

<b>1. OBJETO .....</b>	<b>6</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	9
2.2. PRINCIPALES TIPOS DE PUERTOS.....	10
2.3. SUBSISTEMAS DE UNA TERMINAL PORTUARIA .....	12
<b>3. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA ZONA DE ALMACENAJE .....</b>	<b>15</b>
3.1. ESTRUCTURA DE LA ZONA DE ALMACENAJE.....	16
3.2. EL CONTENEDOR Y SU TIPOLOGÍA.....	17
3.2.1. Dimensiones.....	19
3.2.2. Cargas .....	19
3.2.3. Tipos de contenedores .....	20
3.3. EQUIPOS DE MANIPULACIÓN EN LA ZONA DE ALMACENAJE.....	21
3.3.1. Grúas pórtico de almacenamiento.....	21
3.3.2. Carretilla pórtico.....	22
3.3.3. Equipos de manipulación frontal y lateral.....	22
3.3.4. Vehículos portacontenedores .....	23
3.3.5. Vehículos auto-guiados.....	24
<b>4. PROBLEMÁTICA DE LA RECOLOCACIÓN DE CONTENEDORES .....</b>	<b>26</b>
4.1. MODELO MATEMÁTICO BASADO EN GRAFOS.....	27
<b>5. ESTRATEGIAS DE RESOLUCIÓN .....</b>	<b>38</b>
5.1. SUPUESTOS E HIPÓTESIS .....	38
5.2. CÁLCULO DE MOVIMIENTOS.....	40
5.3. CÁLCULO DE TIEMPOS.....	41
5.4. HEURÍSTICA DE PRIORIDADES ORDENADAS .....	41
5.4.1. Aflorar contenedores de mayor prioridad.....	42
5.4.2. Unir contenedores de mayor prioridad .....	43
5.4.3. Aflorar contenedores de menor prioridad.....	44
5.5. HEURÍSTICA DE PRIORIDADES SUCESIVAS .....	46
5.5.1. Aflorar contenedores de prioridad .....	46
5.5.2. Ordenar contenedores.....	47
5.6. IMPLEMENTACIÓN DE LAS HEURÍSTICAS EN ENTORNO DE PROGRAMACIÓN MATLAB .....	49
5.6.1. Principales scripts y funciones de la heurística de prioridades ordenadas .....	50
5.6.2. Principales scripts y funciones de la heurística de prioridades sucesivas.....	52
<b>6. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>55</b>
6.1. APLICACIÓN DE LAS HEURÍSTICAS A ANÁLISIS DE ENSAYO .....	55
6.1.1. Situación 1.....	55
6.1.2. Situación 2.....	61
6.1.3. Situación 3.....	66
6.1.4. Situación 4.....	73
6.1.5. Situación 5.....	79
6.1.6. Situación 6.....	86

6.1.7.	Situación 7.....	92
6.1.8.	Situación 8.....	98
6.1.9.	Situación 9.....	105
6.1.10.	Situación 10.....	111
6.2.	REPRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	119
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>124</b>
<b>8.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>128</b>

## Índice de figuras

Fig. 1. Terminal de contenedores del muelle Príncipe de España en el puerto de Barcelona .....	11
Fig. 2. Puerto seco de Madrid .....	11
Fig. 3. Esquema general y subsistemas de una terminal marítima de contenedores .....	12
Fig. 4. Patio de contenedores del Puerto de Algeciras .....	15
Fig. 5. Disposición del área de almacenamiento de una terminal de contenedores .....	16
Fig. 6. Algunos tipos de contenedores .....	20
Fig. 7. Grúa pórtico sobre neumáticos .....	21
Fig. 8. Grúa pórtico sobre raíles .....	21
Fig. 9. Carretilla pórtico .....	22
Fig. 10. Reach Stacker vs Front Lift Truck .....	23
Fig. 11. Proceso de desplazamiento del Side Leader Truck .....	23
Fig. 12. Vehículo portacontenedor .....	24
Fig. 13. Vehículo Auto-guiado ALV .....	24
Fig. 14. Modelo de red .....	28
Fig. 15. Unidad básica de red en el modelo .....	29
Fig. 16. Ilustración de un modelo y una posible solución .....	30
Fig. 17. Movimiento de contenedores correspondiente a la Fig. 16 .....	31
Fig. 18. Posibles ubicaciones de contenedores en las bahías de la zona de almacenaje .....	39
Fig. 19. Ejemplo del nº de movimientos de un contenedor .....	40
Fig. 20. Estructura general de la estrategia de prioridades ordenadas .....	45
Fig. 21. Estructura general de la estrategia de prioridades sucesivas .....	48
Fig. 22. Nº total de movimientos necesarios según la estrategia utilizada en cada situación .....	120
Fig. 23. Tiempo total necesario para cada situación según estrategia .....	122

## Índice de tablas

<i>Tabla 1. Tipo de contenedor según sus dimensiones.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2. Tipo de contenedor según su carga .....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 3. Número de movimientos para cada situación según la estrategia aplicada .....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 4. Tiempo empleado en cada situación según la estrategia aplicada .....</i>	<i>121</i>

## ***1. Objeto***

## **1. Objeto**

A lo largo de la historia, el transporte de mercancía a través del mar ha ido evolucionando de acuerdo con las necesidades del comercio mundial. Siendo necesaria una mejora de la capacidad técnica para construir barcos cada vez más grandes y unas instalaciones portuarias más eficientes para la manipulación de mercancías.

En los últimos cincuenta años, el aumento del tráfico marítimo internacional ha provocado la modificación de las infraestructuras buscando la mayor eficiencia. Las grandes industrias se instalan cerca de los puertos para que un largo transporte no contrarreste el bajo costo de las materias primas importadas, se construyen buques para transportar cualquier tipo de mercancía y la manipulación de ésta se ha mecanizado.

De este modo, el transporte marítimo, nodo básico en las rutas intercontinentales, ha experimentado grandes cambios estructurales en la última década para satisfacer al mercado. Como el transporte “puerta a puerta”, el concepto de centro de carga o “hub”.

Todos estos cambios no serían efectivos sin un buen rendimiento de la terminal portuaria. Así, todas las operaciones que se realicen en ella deben estar optimizadas con el fin de aumentar su productividad.

El objetivo principal de este trabajo es resolver la problemática que presenta la recolocación de contenedores en la zona de almacenaje de las terminales portuarias. Ya que normalmente, los contenedores no se encuentran apilados según el orden de carga en el medio de transporte correspondiente.

Estas operaciones de recolocación conllevan realizar habitualmente un gran número de desplazamientos. Por lo tanto, se busca minimizar el número de movimientos necesarios para trasladar un contenedor desde su posición original a otra ubicación.

La memoria se divide en tres partes diferenciadas. En la primera de ellas se comienza con una breve reseña histórica que ayude a comprender la evolución de las terminales portuarias y nos sitúe en el contexto actual.

Se verán los conceptos más generales referentes a las terminales marítimas de contenedores, realizando una explicación de los principales subsistemas que lo forman, los diferentes puertos que existen y una clasificación de la maquinaria utilizada en la zona de almacenaje para la manipulación de los contenedores. Así como las dimensiones, cargas y tipos de estos.

La segunda sección explica el problema de la recolocación de contenedores, junto a un modelo de grafos que ha sido consultado para una mejor comprensión del mismo. Una vez introducido el concepto del problema, se desarrollan dos estrategias heurísticas en base a una serie de hipótesis para alcanzar una solución. Además, se exponen los métodos utilizados para calcular el número de movimientos de los contenedores así como el tiempo empleado en realizarlos.

En esta sección, también se hace referencia a los principales scripts y funciones realizados en Matlab para la ejecución de las heurísticas.

A continuación, en la última parte del documento, se efectúa la implementación de las heurísticas a través de diez situaciones, para posteriormente, realizar un análisis de los resultados obtenidos.

Para terminar la memoria, se plantean las conclusiones a las que se ha llegado y las posibles líneas de trabajo futuras.

## ***2. Introducción***

## **2. Introducción**

La navegación y los puertos son factores esenciales para el comercio internacional.

El Diccionario de la lengua de la Real Academia Española define puerto como “el lugar natural o construido en la costa o en las orillas de un río, defendido de los vientos y dispuesto para detenerse las embarcaciones y para realizar las operaciones de carga y descarga de mercancías, embarque y desembarco de pasajeros, etc.”.

Así mismo, la Unión Europea define un puerto como “una zona de tierra y agua dotada de unas obras y equipo que permitan principalmente la recepción de buques, su carga y descarga, y el almacenamiento, recepción y entrega de mercancías, así como el embarco y desembarco de pasajeros”.

En este trabajo se va a utilizar únicamente el concepto de puerto marítimo. Estos actúan como nodo de intercambio entre los modos de transporte marítimo y terrestre, formando parte de una extensa red logística, en la que se realiza el almacenaje, inspección, consolidación y desconsolidación de cargas.

### **2.1. Antecedentes históricos**

El origen de los puertos está íntimamente ligado a la historia de la navegación y del comercio. El desarrollo de la navegación contó desde su comienzo con determinados lugares de la costa, bahías y desembocaduras de ríos, que ofrecieron la posibilidad de atraque y refugio seguro a las primitivas embarcaciones.

Pueblos esencialmente navegantes como fenicios, griegos, vikingos y polinesios, hicieron un amplio uso de estos lugares, tanto en su comercio y actos de piraterías, como en sus migraciones.

Los fenicios fueron los que dotaron de faros a los puertos naturales para favorecer la navegación nocturna, además de iniciar la construcción de los primeros puertos artificiales. Pero el auge de la infraestructura portuaria llegó con el imperio romano, durante el cual se construyeron grandes obras marítimas que no pudieron ser igualadas en los 1500 años posteriores y de las que aún quedan algunos restos.

Durante la Alta Edad Media no se producen grandes avances en la construcción portuaria. Es a partir de los siglos X y XI cuando comienza a producirse un resurgimiento del comercio en el Mediterráneo, y durante el siglo XIII se originan una serie de ordenanzas y reglamentos para regular las actividades marítimas y comerciales.

Poco a poco los puertos fueron incorporando nuevas instalaciones adecuadas a las necesidades del creciente tráfico marítimo. El descubrimiento de América y la posterior apertura de nuevas rutas marítimas y comerciales aumentaron el tamaño y calado de los buques, que provocó, a partir del siglo XVI, la construcción de muelles para facilitar la carga y descarga de mercancías.

Durante el siglo XIX, la invención de la máquina de vapor hizo que se dejara de utilizar el viento como modo de propulsión y, además, los buques pudieron aumentar su tamaño y capacidad de carga. Esto trajo como consecuencia la necesidad de mejorar todas las instalaciones portuarias.

En cuanto a operativa portuaria, hasta mediados del siglo XIX la mercancía transportada debía tener un reducido volumen, ya que las operaciones de carga, descarga, estiba y desestiba se realizaban manualmente.

A partir de este momento, empiezan a usarse con mayor frecuencia elementos mecánicos en estas operaciones, y a principios del siglo XX comienza a ser frecuente disponer de grúas al borde del muelle.

Durante este siglo, sucedieron diferentes acontecimientos que aceleraron de manera drástica la evolución y desarrollo de los puertos. Entre los más importantes está la aparición del contenedor en el transporte marítimo, que junto con el uso de equipamiento especial para su manipulación, hicieron que los procesos de carga y descarga de un buque fueran mucho más rápidos.

Esto hizo que el tiempo de estancia de los buques en el puerto fuera mucho menor, pero en cambio, se necesitaban grandes explanadas para el depósito de contenedores.

## ***2.2. Principales tipos de puertos***

En la actualidad existen dos principales tipos de terminales de contenedores, terminal de contenedores portuaria y puerto seco. A continuación, se expone las principales características de ambos.

### **❖ Terminal de contenedores portuaria**

Un puerto polivalente es aquel que recibe a buques que transportan cualquier tipo de mercancía. Analizando la evolución de los puertos, mencionada anteriormente, se observa que estos tipos de puertos serán en un futuro próximo especializados únicamente en la recepción de contenedores.

Las características destacables de una terminal de contenedores portuaria (TCP) son:

- Existencia de instalaciones especializadas en el manejo de todo tipo de contenedores.
- Permiten la interconexión entre los diferentes modos de transporte.

La *Fig.1* muestra la TCP de Barcelona.



Fig. 1. Terminal de contenedores del muelle Príncipe de España en el puerto de Barcelona

### ❖ Puerto seco

Un puerto seco es una terminal intermodal de mercancía situada en el interior de un país o región, es decir, sin salida al mar. Normalmente se sitúan cerca de zonas productivas y grandes ciudades, y conectan, por carretera o a través de la red ferroviaria, con el puerto marítimo de origen o destino de la mercancía tratada. En la *Fig. 2* se puede ver el puerto seco de Madrid.



Fig. 2. Puerto seco de Madrid

### 2.3. Subsistemas de una terminal portuaria

El objetivo esencial de una terminal de contenedores es proporcionar los medios y la organización necesaria para que el intercambio de contenedor entre los modos de transporte terrestre y marítimo se produzca en las mejores condiciones de rapidez, eficiencia, seguridad, respeto al medio ambiente y economía.

Una terminal de contenedores puede ser entendida como un sistema integrado por varios subsistemas, con conexión física y de información con las redes de transporte terrestres y marítimas. Esto permite un mejor aprovechamiento de los recursos debido a la diversidad en la maquinaria que se emplea para su funcionamiento. En la Fig. 3 se muestran los distintos subsistemas que forman parte de una terminal portuaria.

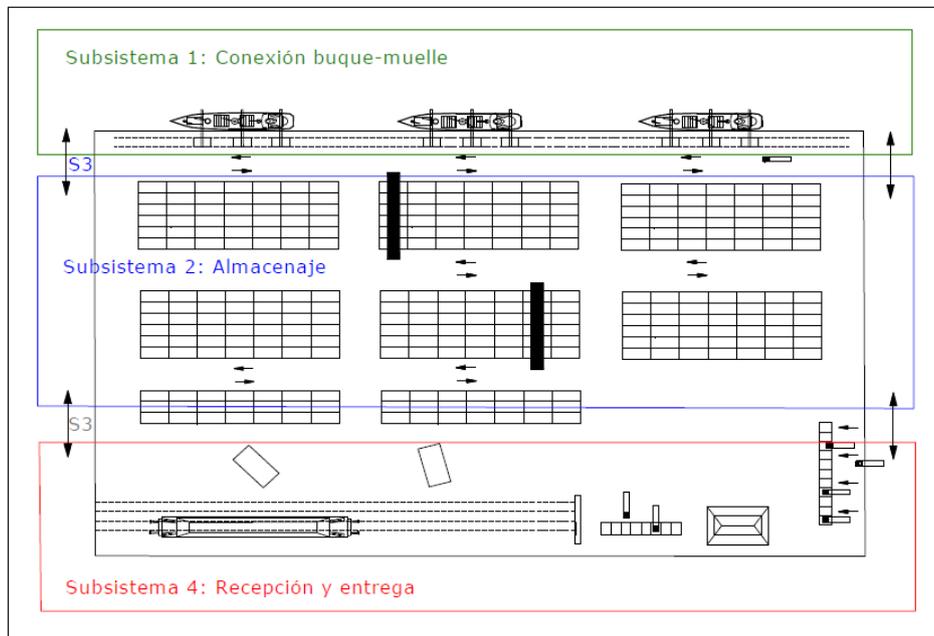


Fig. 3. Esquema general y subsistemas de una terminal marítima de contenedores

Los subsistemas son los siguientes:

- **1. Conexión buque-muelle o zona de operación.**  
Donde se realiza la carga y descarga de la mercancía de los buques que llegan al puerto.
- **2. Zona de almacenamiento.**  
En ella se almacenan los contenedores. Es la que ocupa la mayor parte de la superficie de la terminal, y su disposición y extensión están estrechamente relacionadas con el tráfico de contenedores y con los medios de manipulación que en este subsistema trabajen.

- **3. Interconexión y transferencia de contenedores.** En este subsistema se llevan a cabo las operaciones entre muelle-almacenaje y almacenaje-acceso terrestre. Asegura el transporte horizontal de los contenedores entre los demás subsistemas.
- **4. Recepción y entrega.** Subsistema en el que los contenedores son transportados, cargados y descargados hacia otros medios de transporte. Lo integran las puertas terrestres para camión y ferrocarril.

### ***3. Conceptos básicos de la zona de almacenaje***

### ***3. Conceptos básicos de la zona de almacenaje***

La zona de almacenaje es el lugar de la terminal portuaria donde se almacena los contenedores y que sirve de nodo de conexión entre el muelle y la red de transporte que permite comunicar con otros medios.

El aumento general del tráfico marítimo, de la tasa de contenerización, del porte de las embarcaciones, la concentración progresiva en pocos puertos, etc., han requerido de los puertos la disposición de enormes superficies de almacenamiento de contenedores. La gestión de esta zona se ha convertido en esencial para el buen funcionamiento de las terminales.

Se puede ver en la *Fig. 4* una foto del área de almacenamiento de contenedores, tomada desde una grúa pórtico de muelle en una visita al Puerto de la bahía de Algeciras.



Fig. 4. Patio de contenedores del Puerto de Algeciras

No todas las terminales de contenedores tienen la misma estructura ni todas realizan los mismos procesos con la misma metodología, ya que depende de las características propias de la terminal.

El principal objetivo de este subsistema es proporcionar una forma eficaz de atender los diferentes ritmos que existen entre la carga y descarga de buques, y la recepción y entrega de las mercancías a los modos de transporte terrestre. Para ello se precisa de una superficie de almacenamiento que es atendida por medios de manipulación, que deben de ser elegidos de acuerdo con la estructura de ésta de la mejor forma posible, para obtener la máxima eficiencia.

### 3.1. Estructura de la zona de almacenaje

Como se muestra en la Fig. 5, en la mayoría de los patios de contenedores del mundo, la zona de almacenaje sigue una distribución basada en conjunto de bloques, cada bloque está formado por un conjunto de bahías, cada bahía se compone por una serie de pilares y cada pilar contiene varios niveles. De este modo, cada contenedor adquiere unas coordenadas (calle, pila y altura) para poder ser localizado.

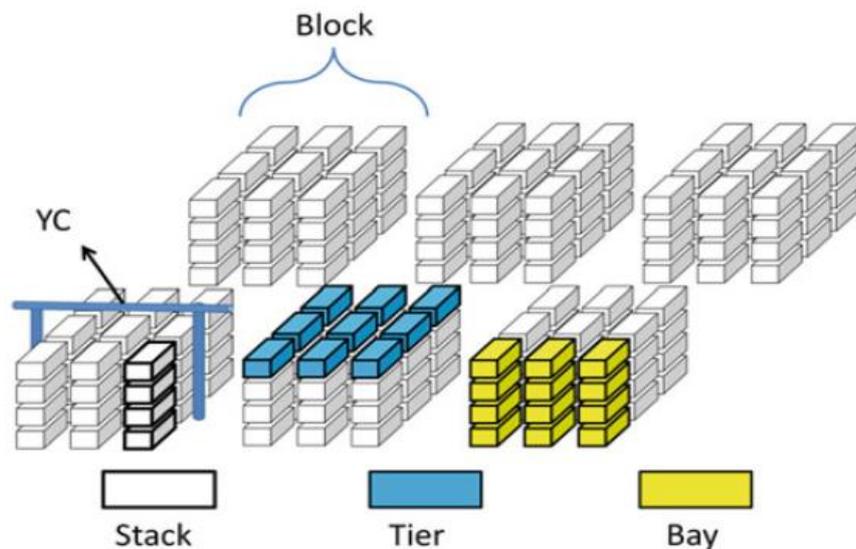


Fig. 5. Disposición del área de almacenamiento de una terminal de contenedores

El número de columnas y el número de contenedores de cada una depende tanto del espacio del patio de contenedores como de la tipología y características de la máquina encargada de realizar las operaciones.

Pero la disponibilidad de ese espacio no es siempre la misma, y el coste del suelo puede alcanzar valores elevados. Esto ha obligado a incrementar la altura de apilado de los contenedores en el patio, y por tanto a disponer de explanadas con elevada carga admisible, limitando los medios de manipulación que se pueden utilizar.

A lo anteriormente expuesto, hay que añadir unas zonas adicionales que complementan la actividad de la terminal en diferentes aspectos.

La existencia de contenedores refrigerados precisa de la disposición de unas determinadas zonas de almacenamiento, que dispongan de las conexiones eléctricas necesarias para que estos contenedores puedan mantener la cadena de frío.

Asimismo, los contenedores de mercancías peligrosas deben de ser situados en algunos casos en lugares separados del tráfico ordinario, de manera que se cumplan las exigencias de seguridad tanto en su almacenamiento como en su operación general. Igualmente, debe haber un lugar adecuado para la inspección de los contenedores que así lo requieran.

Además de estas zonas adicionales, en el subsistema de almacenamiento se sitúan distintas edificaciones como oficinas de la terminal o talleres, donde se efectúan las operaciones de mantenimiento y reparación de los medios mecánicos.

### **3.2. El contenedor y su tipología**

El contenedor supuso una importante revolución innovadora en el comercio internacional y transporte marítimo de las cargas desde su aparición en 1956.

Antes la mercancía se cargaba y descargaba en los muelles y puertos del mundo en paquetes convencionales (*break bulk cargo*) agrupada en cajas, sacos, fardos, u otros contenedores pequeños que variaban según el tipo de producto.

Durante la primera mitad del siglo XX, se desarrollaron diferentes formas de agrupar la carga y facilitar la manera de manipularla, buscando siempre minimizar los tiempos operativos. El aumento del comercio internacional y la aparición de mercaderías con alto valor agregado tenían la necesidad de buscar otros modos de manipulación que fueran más eficientes y minimizaran los riesgos de daños y pérdidas durante el transporte.

Varias fueron las ideas que se llevaron a cabo antes del contenedor. La primera fue utilizar los remolques con caja cerrada de los camiones. Esto facilitaba el proceso de estiba en el buque y permitía utilizar la maquinaria del puerto con gran eficiencia, pero tenía varias desventajas. El remolque debía ser usado en toda la cadena de transporte, requería de espacios especiales para ser acomodado y no utilizaba el ferrocarril, pues las dimensiones de los remolques no coincidían con las de los vagones de los trenes.

Un empresario del transporte automotor, analizando las dificultades en el transporte de mercaderías comenzó a desarrollar lo que sería la solución final y definitiva, separar la “caja” del chasis del remolque y utilizarla como elemento de empaque.

El contenedor multimodal fue una idea sencilla y revolucionaria que acabó con los enormes cuellos de botella que se formaban debido al excesivo tiempo que consumía la mano de obra. Los barcos que atracaban podían permanecer parados en el muelle durante varios días, incluso semanas, antes de que la carga estuviera preparada para partir hacia su destino. Además, la tripulación durante esta operación de carga y descarga permanecía ociosa y la nave inutilizada, lo que suponía muchísimo dinero.

Gracias a la aparición del contenedor se consigue un único modo de transporte que se ejecuta ininterrumpidamente al poder cargarse fácilmente en barcos, trenes o camiones. Esto supuso un aumento en la fiabilidad de entrega de la mercancía en cualquier parte del mundo.

Los contenedores fueron aumentando la productividad del transporte en su conjunto por lo que fue necesaria su estandarización para lograr así que su uso se generalizara. Por ello la ISO (*International Standard Organization*) estableció una serie de directrices para la construcción de contenedores que se recogieron en las normas ISO/TC-104 (Contenedores para el transporte de mercancía).

El contenedor ha sido definido de varias formas oficialmente, según el CSC "International Convention for Safe Containers" y la norma UNE 49-751 y las ISO/TC 104-138 e ISO/TC -104. Se puede definir de la siguiente manera:

"Se entiende por contenedor un instrumento de transporte que reúne las siguientes características:

- Sus características son de carácter permanente, siendo lo suficiente resistente para permitir su uso continuado.
- Está provisto de dispositivos que facilitan su manipulación y trasbordo de un medio a otro de transporte.
- El diseño facilita su carga/descarga.
- Facilita el transporte de mercancías sin ruptura de carga.
- Tiene un volumen interior mínimo de 1 m<sup>3</sup>".

Existen varias maneras de clasificarlo: por sus dimensiones, por la carga o por el uso. De todas éstas, las más usadas son las relacionadas con sus dimensiones y por las características de las cargas que lleva.

### 3.2.1. Dimensiones

Suele ser la forma habitual de clasificarlo. Los tipos más importantes son los denominados de 20 pies y de 40 pies. Las dimensiones de estos se muestran en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Tipo de contenedor según sus dimensiones

Tipo	Longitud (m)	Ancho (m)	Alto (m)
TEU	20 pies (6.058)	8 pies (2.438)	8.5 pies (2.6)
FEU	40 pies (12.2)	8 pies (2.438)	8.5 pies (2.6)

### 3.2.2. Cargas

Una segunda forma de clasificar a los contenedores es por la carga que lleva, como puede verse en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Tipo de contenedor según su carga

Tipo	Descripción	Características
FCL	Full Container Load	Carga que va desde origen a destino
LCL	Less than Container Load	Carga que va desde puerto a puerto
Reefer	Refrigerado	Carga enfriada o congelada
FCL/LCL		Carga que va desde origen a puerto
LCL/FCL		Carga que va desde puerto a destino
Vacío		Sin carga

Un contenedor FCL es aquél que se llena completamente en el origen y solamente se descarga en su destino. En cambio, un LCL es cargado en el puerto de partida y luego es descargado en el puerto de llegada.

Un “reefer” es un contenedor que posee un equipo de refrigeración que le permite mantener la carga a una temperatura establecida, generalmente con temperaturas bajo cero.

Contenedor FCL/LCL es aquél que completa su carga en el origen pero se desconsolida en el puerto de llegada, mientras que un LCL/FCL es lo contrario, se carga en el puerto de salida y se descarga en el de destino.

Finalmente, el vacío es el que espera para ser utilizado en operaciones LCL o LCL/FCL.

### 3.2.3. Tipos de contenedores

En la zona de almacenaje puede haber varios tipos de contenedores:

- **Dry van:** son los contenedores estándar de 20 y 40 pies. Cerrados herméticamente y sin refrigeración o ventilación.
- **High Cube:** contenedores estándar mayoritariamente de 40 pies; su característica principal es su sobrealtura (9,6 pies).
- **Open Top:** contenedores de 20 y 40 pies con la parte superior abierta para transportar mercancías que no se estropean al aire. También existe el “Open Side”, que en lugar de tener abierta la parte superior, tiene uno de sus lados.
- **Tank container:** contenedor cisterna de 20 pies para el transporte de líquidos a granel. La cisterna está contenida dentro de unas vigas de acero que le proporciona las ventajas de poder apilarse y viajar en cualquiera de los medios del transporte intermodal.
- **Flexi-Tank:** para transportes de líquidos a granel. Suponen una alternativa al contenedor cisterna. Consiste en un contenedor estándar (dry van), normalmente de 20 pies, en cuyo interior se fija un depósito flexible de polietileno de un solo uso denominado *flexibag*.
- **Reefer:** contenedores frigoríficos de 20 y 40 pies con puertas en un extremo y un sistema de conservación de frío o calor y termostato en el otro.
- **Flat Rack:** igual que el Open Top pero carecen además de paredes laterales y, en algunos casos, de paredes delanteras y posteriores. Se emplean para cargas atípicas.
- **Metálicos:** como los estándar, pero sin cerrar herméticamente y sin refrigeración. Empleados comúnmente para el transporte de residuos y basuras por carretera.

Por simplificación, para este trabajo sólo se utiliza el contenedor estándar en una de sus dimensiones. La Fig. 6 muestra algunos de los tipos de contenedores nombrados anteriormente.



Fig. 6. Algunos tipos de contenedores

### 3.3. Equipos de manipulación en la zona de almacenaje

La revolución en el transporte que supuso la aparición de los contenedores no estaría completa sin las grúas y vehículos específicos para su manejo. Es difícil hacer una clasificación única de todas ellas porque su tipología es diversa. Este trabajo se centra únicamente en las que se utilizan en la zona de almacén de contenedores.

#### 3.3.1. Grúas pórtico de almacenamiento

Estos equipos de manipulación elevan la carga mediante un montacargas instalado sobre una viga. Su función es transportar los contenedores desde los bloques de almacenamiento hacia la parte superior de otro contenedor, sobre el suelo o sobre otro medio de transporte (camión o tren) y viceversa.

Pueden desplazar los contenedores en los tres sentidos posibles (vertical, horizontal y lateralmente) y son de dos tipos dependiendo del sistema de desplazamiento sobre el que hacen las maniobras.

Las que van montadas sobre ruedas como se puede ver en la Fig. 7, se denominan *Rubber tired gantry crane* (RTG), suelen trabajar con cinco y seis alturas de contenedores en bloques de seis. Y las grúas pórtico que funcionan sobre raíles, Fig. 8, se llaman *Rail mounted gantry crane* (RMG). La anchura entre patas de estas grúas le permite abarcar hasta 20 contenedores, pudiendo apilar hasta cinco alturas.



Fig. 7. Grúa pórtico sobre neumáticos

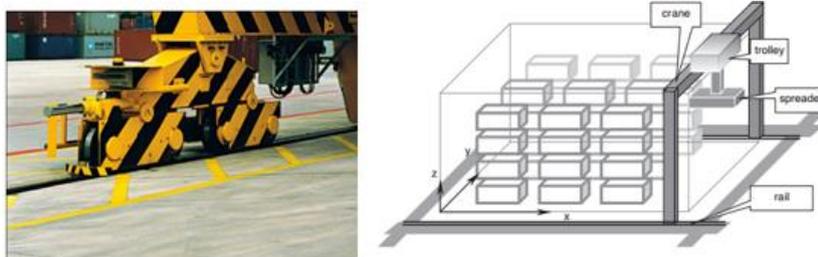


Fig. 8. Grúa pórtico sobre raíles

### 3.3.2. Carretilla pórtico

La carretilla pórtico o *straddle carriers* es un equipo de manipulación de contenedores con cuatro patas sobre ruedas que permite el desplazamiento horizontal y vertical de hasta una altura de cuatro contenedores. Se utiliza para cargar, descargar y apilar contenedores.

Cuando la carretilla está próxima a la parte superior de un contenedor que se encuentra en el suelo o en un remolque, el *spreader* se acopla a las cuatro esquinas del contenedor gracias a un mecanismo hidráulico y es entonces cuando se eleva y transporta.

Durante el desplazamiento de la carretilla pórtico, el contenedor va situado en el hueco de la estructura pudiendo levantar hasta 60 toneladas, que equivale a dos contenedores de 20' o uno de 40' a plena carga. Además puede apilar contenedores hasta cuatro alturas.

La *Fig. 9* representa el transporte de un contenedor por uno de estos equipos.



Fig. 9. Carretilla pórtico

### 3.3.3. Equipos de manipulación frontal y lateral

Existen otros tipos de manipulación de contenedores para solventar la multitud de situaciones que se pueden dar en el momento de cargar un contenedor.

Algunos de estos equipos son:

- **Reach Stacker**

Vehículos usados para transportar contenedores en distancias cortas rápidamente y apilarlo. Estas grúas le han ganado bastante terreno en el manejo de contenedores a las carretillas pórtico debido a su flexibilidad y alta optimización y capacidad de almacenamiento.

- **Front Lift Truck y Side Leader Truck**

Estas máquinas también son utilizadas para apilar y transportar contenedores. En la *Fig. 10* se muestra una grúa apiladora y un cargador frontal.

El cargador frontal puede apilar hasta una altura de cuatro contenedores llenos, mientras que el cargador lateral sólo puede apilar hasta dos. Este camión grúa tiene la limitación de que el transporte de contenedores llenos sólo es posible si estos son de 20', los de 40' se manipulan si están vacíos. Es muy útil para la carga y descarga de contenedores en vagones de ferrocarril.

La *Fig. 11* representa el proceso de desplazamiento del cargador lateral.



Fig. 10. Reach Stacker vs Front Lift Truck



Fig. 11. Proceso de desplazamiento del Side Leader Truck

### 3.3.4. Vehículos portacontenedores

El transporte desde que los contenedores llegan al muelle hasta la zona de almacenaje o a las terminales de carga se realiza mediante unos remolques provistos de una plataforma con unos dispositivos para el anclaje del contenedor en la misma. Existen modelos extensibles que permiten transportar un contenedor de 40 pies, dos de 20, o sólo uno de 20. En la *Fig. 12* se presenta uno de estos vehículos transportando dos contenedores de 20'.

Estos camiones son muy utilizados para el transporte horizontal de la mercancía ya que son más rápidos que los equipos de manipulación frontal.



Fig. 12. Vehículo portacontenedor

### 3.3.5. Vehículos auto-guiados

En las principales TCP del mundo se han incorporado a los equipos de manipulación tradicionales los vehículos auto-guiados, encargados de un transporte rápido y económico de contenedores dentro de la terminal.

Existen dos tipos de estos vehículos: los AGVs (Automated Guided Vehicles) y los ALVs (Automated Lift Vehicles). Ambos tienen como objetivo movilizar los contenedores de forma autónoma, pero los ALVs a diferencia de los AGVs convencionales, tiene dos plataformas elevadoras que permiten levantar y colocar los contenedores en ciertos lugares sin la ayuda de otro equipo de manipulación. Además puede manipular dos contenedores de 20' independientemente uno del otro, como se muestra en la Fig. 13.



Fig. 13. Vehículo Auto-guiado ALV

## ***4. Problemática de la recolocación de contenedores***

## ***4. Problemática de la recolocación de contenedores***

Como ya se ha explicado anteriormente, una terminal portuaria está formada por cuatro zonas bien diferenciadas que son: zona de carga y descarga de mercancía, zona de almacenamiento, zona de intercambio de modo de transporte y por último la zona de recepción y entrega.

La zona de almacenamiento es fundamental en la productividad de una terminal marítima, ya que en ella confluyen los principales flujos de contenedores (intercambio entre barcos portacontenedores, y entre éstos y medios de transporte terrestres).

En ella se pueden diferenciar dos subsistemas: la localización de contenedores en la explanada, es decir, decidir en qué lugar debe ser ubicado un contenedor después de ser descargado de un medio de transporte, ya sea marítimo o terrestre; y la recolocación de contenedores, situación en la que se centra este estudio.

El almacenamiento de los contenedores es uno de los mayores problemas a resolver debido al gran aumento del volumen de contenedores por año. La escasez de espacio para el almacenamiento y el afán de las empresas para aumentar su productividad anual hacen que sea necesaria una combinación precisa de los distintos elementos que componen este subsistema.

En el patio de contenedores, estos son almacenados en pilas de varias alturas que reciben el nombre de bahías, para utilizar el espacio disponible de manera más eficiente. Permaneciendo apilados hasta el momento en que son cargados en un medio de transporte para llevarlos a su destino final.

Esta carga se hace siguiendo un determinado plan de estiba que indica el orden o prioridad en que deben cargarse los contenedores en el barco. Normalmente, el plan de estiba es conocido varias horas antes de que comiencen las operaciones de carga o descarga y la mayoría de veces son necesarias operaciones de recolocación durante la carga en el barco, porque rara vez los contenedores se hayan apilados según el orden establecido en el plan de estiba.

Además, las tareas de desplazamiento, retirada y colocación de contenedores dentro de las bahías son realizadas habitualmente por Rail-Mounted Gantry Cranes (RMGCs). Máquinas que pueden acceder únicamente a los contenedores que se encuentran situados en la parte más alta de las pilas. De manera que para acceder a contenedores tapados por otros, es necesaria una constante recolocación de los mismos.

Estas operaciones pueden retrasar gravemente la salida del barco y producen un efecto negativo en la eficiencia operativa de la terminal.

Para evitar que esto ocurra, las operaciones de recolocación, que transformen la distribución inicial de contenedores en otra que cumpla una serie de restricciones establecidas previamente, deben desarrollarse antes de que el barco o cualquier otro medio de transporte llegue a la terminal.

Para asignar a los contenedores una nueva ubicación en la zona de almacenaje se tienen en cuenta diversos factores, el puerto de destino, el tipo de contenedor, tamaño, peso, prioridad u otros atributos. Siendo el más utilizado el destino de envío.

Un ejemplo de una reubicación de contenedores se da cuando un contenedor  $A$  con una fecha de salida próxima, está debajo de contenedores  $B$  con fecha de salida posterior al  $A$ , lo que implica que deben ser relocalizados los contenedores  $B$  de manera que el contenedor  $A$  quede libre y pueda ser movido a su medio de transporte.

#### **4.1. Modelo matemático basado en grafos**

En la literatura se puede encontrar diferentes publicaciones relacionadas con la recolocación de contenedores. Para la realización de este trabajo se ha analizado el modelo de flujos que propone Y. Lee (2006) "*An optimization model for the container pre-marshalling problem*".

En dicho estudio se desarrolla un modelo de programación entera que tiene un problema de flujo de red multi-modal basado en una red espacio-tiempo. Los movimientos de los contenedores se miden en intervalos de tiempo y las instantáneas de la distribución (layout) del patio de contenedores están representadas por instantes de tiempo.

Para ello, toma cuatro supuestos básicos:

1. Las operaciones de recolocación tienen lugar en la misma bahía de contenedores
2. Todos los contenedores tienen la misma longitud
3. Se asume que un único barco está cargándose
4. El orden de carga de los contenedores es conocido

Este modelo mide la carga de trabajo por el número de movimientos necesarios para realizar la secuencia de recolocación de los contenedores, y el objetivo de optimización es minimizar el número de movimientos requeridos para transformar una situación inicial del patio de contenedores en una distribución final.

El tamaño de la red está determinado por 4 parámetros,  $C$ , tipo de contenedores;  $T$ , representa el número de instantes de tiempo en la red; el intervalo de tiempo entre los instantes  $t$  y  $t+1$  serán referidos como segmento  $t$ .  $S$ , número de pilas de contenedores (ancho de la bahía) y por último  $H$ , máxima altura de cada pila.

Las pilas son numeradas de 1 a  $S$  en el modelo, y los espacios en cada pila son numerados de 1 a  $H$ , donde 1 representa el nivel inferior y  $H$  el máximo nivel superior.

En la *Fig. 14* se muestra un modelo de red formado por  $S$  pilares,  $T-1$  segmentos de tiempo y una altura máxima de  $H=4$ .

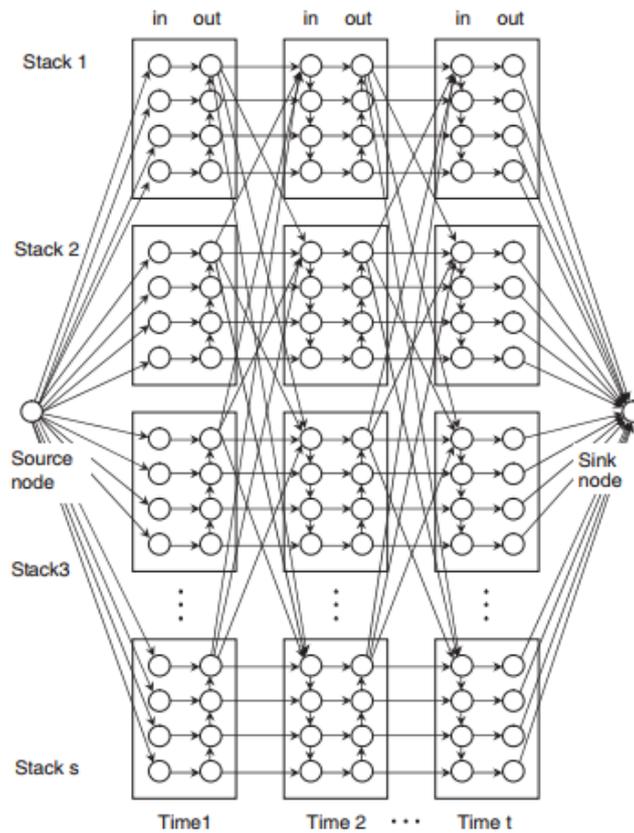


Fig. 14. Modelo de red

Como se puede ver en la figura anterior, la red está formada por unidades básicas de red como la de la *Fig. 15*. Los nodos representan los espacios donde se almacenan los contenedores de manera que dos nodos en un mismo nivel constituyen un espacio para almacenar un contenedor.

Los arcos corresponden a los posibles movimientos que pueden realizar los contenedores, y el flujo de red corresponde a los movimientos de los contenedores en los espacios de tiempo. Esta unidad básica está representada por un rectángulo que equivale un pilar de contenedores en el que los nodos izquierdos son nodos de entrada y los derechos de salida.

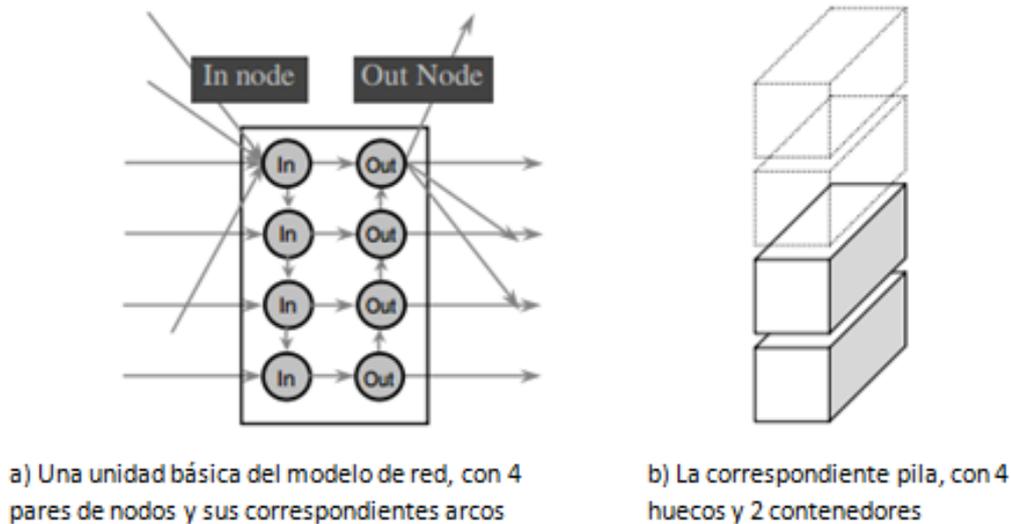


Fig. 15. Unidad básica de red en el modelo

Además de estos dos nodos, existen otros dos tipos: nodo origen o nodo de entrada y nodo destino o de salida.

El objetivo del nodo de entrada es dar la situación actual de la explanada de contenedores, mientras que el objetivo del nodo de salida es dar la nueva situación ya optimizada.

Los arcos en el modelo de red pueden ser de cinco tipos, todos ellos orientados y se hace referencia a ellos cuando conectan el nodo  $a$  con el nodo  $b$  como el arco  $(a, b)$ . Estos son:

- **Arco ascendente**, aquel que va de un nodo de salida ubicado en el espacio  $h$  a otro nodo de salida ubicado en el espacio  $h+1$  del mismo pilar  $p$ , se representaría como  $(S_{tp_h}, S_{tp_{(h+1)}})$ . Por este arco los contenedores pueden subir de un nivel a otro en un mismo pilar.
- **Arco descendente**, es aquel que va de un nodo de entrada ubicado en el espacio  $h$  a otro nodo de entrada ubicado en el espacio  $h-1$  del mismo pilar  $p$ . Este se representa como  $(E_{tp_h}, E_{tp_{(h-1)}})$ . Por él los contenedores pueden bajar de un nivel a otro.

- **Arco interno**, no representa movimiento del contenedor. Une el nodo de entrada y su correspondiente nodo de salida en el mismo nivel  $h$ , en el mismo instante de tiempo  $t$  y en el mismo pilar  $p$ . Se representa como  $(E_{tph}, S_{tph})$ . Corresponde a un nivel en un instante de tiempo y llevará flujo sólo cuando un contenedor ocupa un hueco en ese instante de tiempo.
- **Arco estacionario**, el flujo en estos arcos representa a un contenedor que permanece quieto entre dos instantes de tiempo consecutivos, es decir, después de pasar del tiempo  $t$  al tiempo  $t+1$  el contenedor sigue en el mismo espacio  $h$  y en el mismo pilar  $p$ . Representado como  $(S_{tph}, E_{(t+1)ph})$ .
- **Arco de movimiento**, es aquel que conecta un nodo superior de salida del espacio  $H$ , del pilar  $p$ , en el tiempo  $t$ , con un nodo de entrada superior del espacio  $H$ , del pilar  $z$  y en el tiempo  $t+1$ , esto es representado como  $(S_{tph}, E_{(t+1)zH})$ . Este arco representa el movimiento de un contenedor de un pilar a otro.

En la Fig.16 se muestra una posible solución (línea gruesa) para un problema utilizando el modelo de flujo.

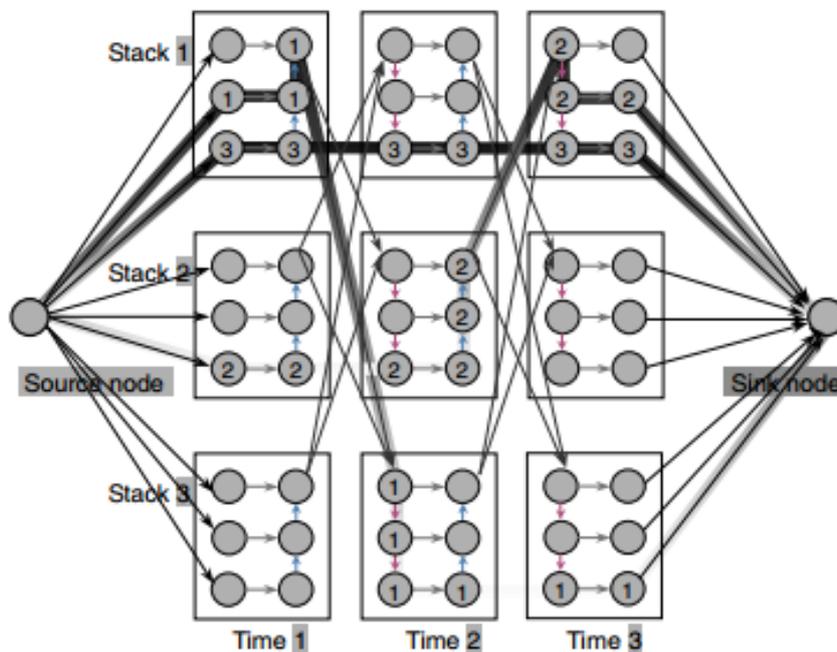


Fig. 16. Ilustración de un modelo y una posible solución

Para este ejemplo, todos los parámetros representados,  $H$ ,  $S$ ,  $T$  y  $C$  valen 3. En el instante inicial, hay tres contenedores almacenados, dos en el primer pilar y otro en el segundo.

En el primer instante de tiempo, los arcos de transporte de flujo indican que el contenedor de tipo 1 se mueve hacia arriba a través de un arco ascendente para abandonar la pila 1 y entrar en la 3 en el segundo instante de tiempo.

Entre los instantes 2 y 3 este flujo se mueve en un arco estacionario indicando que el contenedor 1 no se ha movido, y finalmente entra en el nodo de salida. El contenedor 3 permanece sin moverse durante todo el tiempo, mientras que el contenedor 2 se traslada del pilar 2 al 1 en el segundo intervalo de tiempo.

La Fig.17 muestra el movimiento de los contenedores en los tres instantes de tiempo.

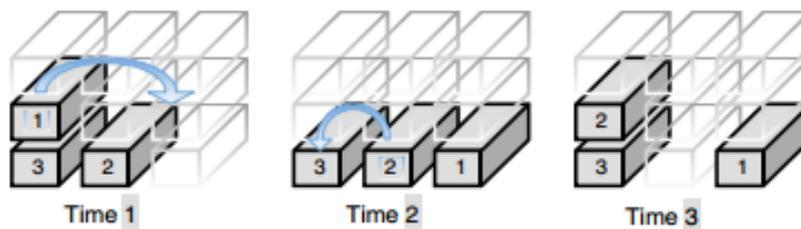


Fig. 17. Movimiento de contenedores correspondiente a la Fig. 16

A continuación se presenta el modelo matemático basado en la red de flujo.

### Modelo CPMP

#### Parámetros:

**$C$**  Conjunto de todos los tipos de contenedores, donde  $c = 1, \dots, C$

**$T$**  Conjunto de instantes de tiempo, donde  $t = 1, \dots, T$

**$P$**  Conjunto de pilares,  $p = 1, \dots, P$

**$H$**  Conjunto de los posibles espacios, donde  $h = 1, \dots, H$

**$MH$**  Máxima altura de los diferentes pilares

#### Datos:

**$CI_{ph}$**  Vale 1 si el espacio  $h$  en el pilar  $p$  tiene un contenedor de tipo  $c$  en la situación inicial, 0 en otro caso.

**$CF_{ph}$**  Vale 1 si el espacio  $h$  en el pilar  $p$  tiene un contenedor de tipo  $c$  en la situación final, 0 en otro caso.

$CM_t$  Número total de contenedores de tipo  $c$  que deben ser movidos en la explanada durante el tiempo  $t$

Variables:

- $c_{a_{tp h}}$  Variable binaria que toma el valor 1 si el flujo circula por el arco ascendente  $a = (S_{tp h}, S_{tp(h+1)})$ , 0 en caso contrario
- $c_{d_{tp h}}$  Variable binaria que toma el valor 1 si el flujo circula por el arco descendente  $d = (E_{tp h}, E_{tp(h-1)})$ , 0 en caso contrario
- $c_{i_{tp h}}$  Variable binaria que toma el valor 1 si el flujo circula por el arco interno  $i = (E_{tp h}, S_{tp h})$ , 0 en caso contrario
- $c_{e_{tp h}}$  Variable binaria que toma el valor 1 si el flujo circula por el arco estacionario  $e = (S_{tp h}, E_{(t+1)ph})$ , 0 en caso contrario
- $c_{m_{tp z}}$  Variable binaria que toma el valor de 1 si el flujo circula por el arco de movimiento  $m = (S_{tp H}, E_{(t+1)zH})$ , 0 en caso contrario
- $c_{o_{p h}}$  Variable binaria que toma el valor de 1 si el flujo circula por el arco origen  $o = (Nodo Origen, E_{1ph})$ , 0 en caso contrario
- $c_{u_{p h}}$  Variable binaria que toma el valor de 1 si el flujo circula por el arco de salida  $u = (S_{Tph}, Nodo ultimo)$ , 0 en caso contrario

Restricciones:

En primer lugar, la función objetivo del modelo es minimizar el sumatorio de todos los movimientos necesarios en la recolocación de contenedores.

$$Min \sum_{\substack{t \in T \\ t \neq T}} \sum_{p \in P} \sum_{\substack{z \in P \\ z \neq p}} \sum_{c \in C} c_{m_{tpz}}$$

A continuación, se explican brevemente las restricciones que componen el modelo.

La restricción (1) garantiza que sólo se pueda ubicar un contenedor en la posición  $h+1$  si la posición  $h$  ya está ocupada por otro contenedor. Es decir, sólo puede existir flujo por el arco interno en el instante  $t$ , en el pilar  $p$  y espacio  $h+1$  si existe flujo en el arco interno en el mismo instante de tiempo y pilar, pero en el espacio  $h$ .

$$\sum_{c \in C} c_{i_{tp h}} \geq \sum_{c \in C} c_{i_{tp(h+1)}} \quad \forall t \in T, p \in P, h \in H, h \neq MH \quad (1)$$

La restricción siguiente garantiza que no exista flujo en el arco ascendente para un contenedor de tipo  $c$  si el contenedor que está encima de él no ha sido quitado.

$$c_{a_{tph}} \leq c_{a_{tp(h+1)}} \quad \forall c \in C, t = 1, \dots, (T-1), p \in P, h = 1, \dots, (MH-1) \quad (2)$$

La restricción (3) complementa a la (2) ya que garantiza que si se genera flujo de ascenso para un contenedor que está en el espacio  $h$ , no exista un flujo interno en el espacio  $h+1$ . Es decir, para que un contenedor pueda salir del pilar, no puede haber ningún contenedor tapándole.

$$\sum_{c \in C} c_{i_{tp(h+1)}} + \sum_{c \in C} c_{a_{tph}} \leq 1 \quad \forall t = 1, \dots, (T-1), p \in P, h \in H, h \neq MH \quad (3)$$

Como se ha explicado anteriormente, sólo se puede realizar un movimiento de contenedor por cada intervalo de tiempo:

$$\sum_{p \in P} \sum_{z \in P, p \neq z} \sum_{c \in C} c_{m_{tph}} \leq 1 \quad \forall t = 1, \dots, (T-1) \quad (4)$$

El siguiente conjunto de restricciones (5)-(9) expone que por un arco sólo puede circular una unidad de flujo correspondiente a un contenedor. El lado izquierdo de cada restricción es el flujo total de cada tipo de arco.

$$\sum_{c \in C} c_{a_{tph}} \leq 1 \quad \forall t = 1, \dots, (T-1), p \in P, h \in H, h \neq MH \quad (5)$$

$$\sum_{c \in C} c_{i_{tph}} \leq 1 \quad \forall t \in T, p \in P, h \in H \quad (6)$$

$$\sum_{c \in C} c_{d_{tph}} \leq 1 \quad \forall t \in T, T \neq 1, p \in P, h \in H, h \neq 1. \quad (7)$$

$$\sum_{c \in C} c_{e_{tph}} \leq 1 \quad \forall t = 1, \dots, (T-1), p \in P, h \in H \quad (8)$$

$$\sum_{c \in C} c_{m_{tpz}} \leq 1 \quad \forall t = 1, \dots, (T-1), p, z \in P, p \neq z \quad (9)$$

El siguiente par de restricciones corresponde a la distribución inicial y final del patio de contenedores. La restricción (10) establece que según lo especificado en la distribución inicial, los flujos tienen que entrar en los nodos de entrada del instante de tiempo 1 desde el nodo origen. Esta restricción da la posición exacta de todos los contenedores en la distribución inicial.

$$CI_{ph} = c_{i_{1ph}} \quad \forall c \in C, p \in P, h \in H \quad (10)$$

El estado final de la explanada se obtiene con la restricción (11), ya que son igualados los arcos internos de cada pilar en el último segmento de tiempo con los datos de las localizaciones finales.

$$CF_{ph} = c_{i_{Tph}} \quad \forall c \in C, p \in P, h \in H. \quad (11)$$

El siguiente conjunto de restricciones muestran la conservación de flujo en cada nodo.

En la (12) se garantiza que si existe flujo en el arco interno del pilar  $p$  en el segmento de tiempo  $t$  es porque existió flujo en el arco estático del mismo pilar en el segmento de tiempo  $(t-1)$ .

$$C_{e_{(t-1)p1}} + C_{d_{tp2}} = c_{i_{tp1}} \quad \forall c \in C, t \in T, T \neq 1, p \in P \quad (12)$$

La siguiente restricción de conservación de flujo (13) es para nodos de entrada que no están en la parte superior ni inferior del pilar  $p$ . Para estos nodos intermedios, en un momento dado  $t$ , un contenedor puede entrar al espacio intermedio  $h$  desde el espacio de arriba en el mismo instante de tiempo o puede ser trasladado desde el instante de tiempo anterior. Estos flujos se muestran en la parte izquierda de la ecuación.

Para salir del nodo, el flujo puede tomar el arco descendente que conduce al nodo de entrada del hueco de abajo o el arco interno que conduce al arco de salida del mismo nivel.

$$c_{e_{(t-1)ph}} + c_{d_{tp(h+1)}} = c_{d_{tph}} + c_{i_{tph}} \quad \forall c \in C, t \in T, T \neq 1, p \in P, h \in H, h \neq \{1, MH\} \quad (13)$$

La restricción (14) es similar a la anterior. La diferencia es que solo tiene en cuenta las localizaciones en la cima de los pilares, por lo cual no considera que el flujo pueda venir de un nodo por encima de éste ya que no existe y contempla entonces que el flujo puede venir de todos los posibles nodos superiores de los diferentes pilares que estén en el segmento de tiempo anterior a él.

$$c_{e_{(t-1)pMH}} + \sum_{z \in P, z \neq p} c_{m_{(t-1)zp}} = c_{d_{tpMH}} + c_{i_{tpMH}} \quad \forall c \in C, t \in T, T \neq 1, p \in P. \quad (14)$$

La restricción (15) asegura que como máximo sea una unidad de flujo la que entre a cada pilar en el mismo intervalo de tiempo.

$$\sum_{c \in C} c_{e_{(t-1)pMH}} + \sum_{c \in C} \sum_{\substack{z \in P, \\ z \neq p}} c_{m_{(t-1)zp}} \leq 1 \quad \forall t \in T, T \neq 1, p \in P. \quad (15)$$

De la restricción (16) a la (18) se expone conservación de flujo para nodos de salida. En la primera se evalúan los nodos de salida que están al fondo del pilar, donde un flujo interno sólo puede tener dos opciones que son: tomar el arco ascendente o pasar al otro nodo de entrada del otro período siguiente del mismo pilar a través de un arco estático.

$$c_{i_{tp1}} = c_{a_{tp1}} + c_{e_{tp1}} \quad \forall c \in C, t = 1, \dots, (T-1), p \in P. \quad (16)$$

La siguiente restricción corresponde a los nodos intermedios. Estos al igual que antes, pueden tomar un arco ascendente o pasar al siguiente período de tiempo del mismo pilar a través de un arco estático.

$$c_{i_{tph}} + c_{a_{tp(h-1)}} = c_{a_{tph}} + c_{e_{tph}} \quad \forall c \in C, t = 1, \dots, (T-1), p \in P, h \in H, h \neq \{1, MH\} \quad (17)$$

Para cerrar este conjunto de restricciones, la (18) tiene en cuenta los nodos de la cima de cada pilar.

$$c_{i_{tpMH}} + c_{a_{tp(MH-1)}} = c_{e_{tpMH}} + \sum_{\substack{z \in P \\ z \neq p}} c_{m_{tpz}} \quad \forall c \in C, t = 1, \dots, (t-1), p \in P. \quad (18)$$

El objetivo de la recolocación del patio de contenedores es reducir o eliminar situaciones donde un contenedor esté tapado por otro que va a salir del patio de contenedores más tarde. En este modelo se asume que los contenedores cuyo número de tipo sea más pequeño son siempre sacados de la bahía antes que otros cuyo tipo de contenedor sea más grande.

Por ejemplo, un contenedor de tipo 2 sale antes que otro de tipo 3.

Este requerimiento es expresado con la restricción (19):

$$\sum_{c1 \in C} c1 * c1_{uph} \geq \sum_{c2 \in C} c2 * c2_{up(h+1)} \quad \forall p \in P, h \in H, h \neq MH. \quad (19)$$

El lado izquierdo de la restricción será igual al número del tipo de contenedor si el espacio  $h$  está ocupado, ó 0 si está vacío. Es decir, si un contenedor de tipo 2 está en el espacio  $h$  del pilar  $p$  en la distribución final, esta parte de la restricción valdrá 2.

La parte derecha de la restricción representa lo mismo para el espacio  $h+1$ .

De este modo, la restricción (19) asegura que en el espacio  $h+1$  haya un contenedor cuyo número de tipo sea más pequeño o igual que el del contenedor que esté en el espacio  $h$ , o esté vacío.

Una vez presentado el modelo de grafos anterior, destacar que existen diversas heurísticas y modelos para resolver el problema de la recolocación de contenedores, pero los métodos exactos de optimización del problema serían tremendamente ineficientes debido al carácter del problema, que es NP-Duro.

Del modelo presentado se pueden tomar conceptos relevantes para el diseño de los métodos heurísticos a desarrollar:

- Se tomará una única dimensión de contenedores, y la reubicación de estos tendrá lugar en una única bahía del patio de contenedores
- Se conoce la disposición inicial de los contenedores en la bahía, así como el tipo de prioridad de cada contenedor
- La reubicación de contenedores es debida a que contenedores con fecha de salida próxima están debajo de contenedores con fecha de salida posteriores
- En cada intervalo de tiempo se mueve un único contenedor, es decir, no puede haber dos grúas moviendo contenedores a la vez

## ***5. Estrategias de resolución***

## **5. Estrategias de resolución**

En este capítulo se presentan dos estrategias de solución heurística, buscando ambas el mismo objetivo, que un contenedor con fecha más temprana para ser cargado en un barco o en otro medio de transporte terrestre, no éste enterrado por otros contenedores que en un momento determinado no tienen previsto abandonar la zona de almacenaje.

Para ello, dada una situación inicial de un patio de contenedores y una secuencia de carga de los contenedores en el barco determinada, el objetivo es minimizar el número de movimientos de contenedores durante la recolocación, de tal manera que un contenedor con mayor prioridad para salir no puede quedar enterrado por otro con menor prioridad.

Esto minimizará o eliminará futuros movimientos adicionales.

### **5.1. Supuestos e hipótesis**

A continuación se presentan una serie de hipótesis y supuestos que se tendrán en cuenta en la resolución del problema.

- Se asume que en el patio de contenedores sólo existen 3 tipos de contenedores: contenedor con prioridad alta, contenedor con prioridad baja y contenedor sin prioridad. Siendo de prioridad alta los contenedores que van a abandonar antes el patio de contenedores, y de prioridad baja, los que van a salir más tarde.
- La recolocación de contenedores tendrá lugar en una misma bahía dentro de un bloque, siendo este proceso aplicable a las demás bahías para todos los bloques del patio de contenedores. En la realidad es bastante lento y supone una gran inestabilidad de la grúa trasladar la carga a otras bahías, al tener que trasladarse horizontal y longitudinalmente con ella.

En la *Fig. 18* se muestran tres bloques de contenedores situados en tres calles diferentes y, en color, las posiciones a las que se podrían mover los contenedores si estuvieran colocados en esa misma bahía.

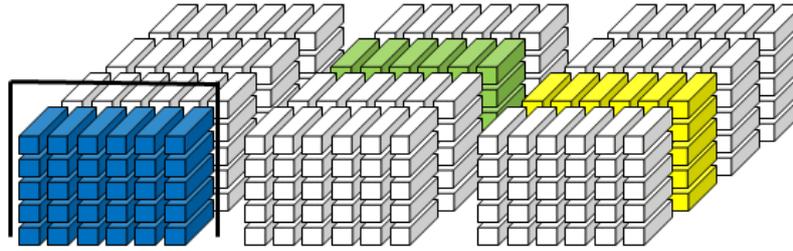


Fig. 18. Posibles ubicaciones de contenedores en las bahías de la zona de almacenaje

- Como se ha podido ver en la figura anterior, se tomará una bahía formada por 6 pilares y 5 alturas, para cumplir con las medidas de una grúa pódica de almacenamiento de dimensiones estándar.
- La gran mayoría de contenedores que se encuentran en la zona de almacenaje son de 20 o 40 pies. En principio, contenedores de estas dos longitudes pueden mezclarse en una misma pila. Por ejemplo, un contenedor de 40 pies puede estar encima de dos de 20 pies pero no al revés. Pero hacer esto complica demasiado las operaciones y en la realidad se evita siempre que sea posible. Por ello, en las estrategias desarrolladas a continuación se asume que todos los contenedores tienen la misma longitud.
- El orden de carga de los contenedores es conocido. Como se ha visto anteriormente, el plan de estiba es conocido varias horas antes de que el barco llegue al puerto.
- Existe una explanada, con espacio suficiente, alejada de la bahía de contenedores. En ella se almacenarán contenedores que no pueden moverse a ningún pilar en el proceso de recolocación, ya sea porque no hay espacio disponible o porque no hay ningún pilar con las características necesarias para poder apilarlo en él.
- Para el transporte desde la bahía actual, una vez que el contenedor ha sido puesto en tierra por la grúa pódica, hasta dicha explanada, se utilizará un vehículo portacontenedor para que el traslado sea lo más rápido posible.
- La distribución y apilamiento de los contenedores en la explanada no es objeto de este trabajo.
- Para el cálculo de movimientos de los contenedores se considerará que el desplazamiento entre dos niveles o pilares contiguos es una unidad, y para el desplazamiento de un contenedor desde la bahía a la explanada se tomarán 30 unidades, cantidad mayor para reflejar la distancia a esta.
- El tiempo de traslado entre cada ubicación contigua y el tiempo de tránsito a la explanada es de una unidad de tiempo cada desplazamiento. El tiempo que tarda la grúa en coger o soltar un contenedor en una posición debe ser mayor al tiempo de

traslado ya que estas dos operaciones necesitan una mayor precisión. Se consideran 3 unidades de tiempo para ello.

Estos dos últimos supuestos se explican con mayor detenimiento en los dos siguientes apartados.

## 5.2. Cálculo de movimientos

Para el cálculo de los movimientos, como bien se ha dicho antes, se ha considerado que el paso de un nivel a otro consecutivo es una unidad, y el paso de un pilar a otro contiguo, cuenta como otra unidad de movimiento.

Así por ejemplo, si un contenedor está situado en el pilar 2, nivel 3 y se traslada a pilar 6, nivel 2, supondría un total de 9 desplazamientos.

Como se puede ver en la Fig. 19, donde los cuadros azules son espacios ocupados por contenedores y los blancos espacios vacíos, si el contenedor con fondo verde se tiene que desplazar hacia la posición con línea amarilla, hay 9 flechas, es decir, tiene que realizar 9 movimientos.

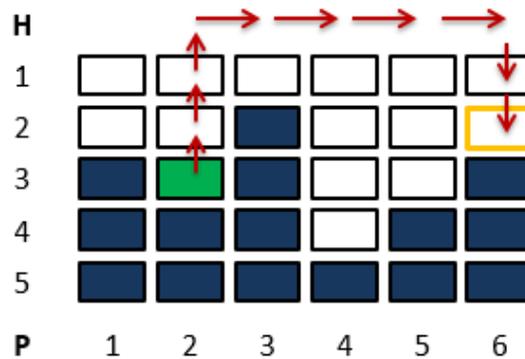


Fig. 19. Ejemplo del nº de movimientos de un contenedor

En el caso de que un contenedor tenga que trasladarse a la explanada, el número de movimientos que realiza será, el necesario para subir y salir del pilar en que se encuentra ( $Rexp_j$ ) más el número de unidades de desplazamiento hacia la explanada, que por simplificación se considerará siempre 30 uds. ( $d$ ).

$$Nexp_j = Rexp_j + d$$

Por tanto, siguiendo con el ejemplo anterior, si el contenedor verde se traslada a la explanada, realizará 33 movimientos.

De este modo, dada una situación inicial de contenedores, el número total de movimientos necesarios para la recolocación de contenedores vendrá dado por:

$$N_{total} = \sum_{\forall i} N_i + \sum_{\forall j} N_{exp_j}$$

Donde  $N_i$  es el número de movimientos necesarios para mover el contenedor  $i$  desde su posición actual a una posición final dentro de la bahía; y  $N_{exp_j}$  el número de movimientos necesarios para trasladar el contenedor  $j$  desde su posición actual a la explanada.

### 5.3. Cálculo de tiempos

Como se vio en el apartado de hipótesis y supuestos, el número de unidades empleadas para calcular el tiempo de transporte de un contenedor eran:

- Desplazamiento entre pilares/niveles contiguos (**t1**) : 1ud/desplazamiento
- Coger contenedor (**t2**) : 3 uds
- Soltar contenedor (**t3**) : 3 uds
- Transporte a explanada (**t4**) : 1ud/desplazamiento explanada

Así, el tiempo de un contenedor que se traslada a otra ubicación de la bahía vendrá dado por:

$$t_i = N_i * t1 + t2 + t3$$

Y el tiempo de un contenedor que se desplaza a la explanada:

$$t_{exp_j} = R_{exp_j} * t1 + t2 + t3 + t4 * d$$

Por tanto, el tiempo total necesario para realizar todos los movimientos de recolocación será:

$$T_{total} = \sum_{\forall i} t_i + \sum_{\forall j} t_{exp_j}$$

### 5.4. Heurística de prioridades ordenadas

El propósito de esta heurística es aflorar primero los contenedores de mayor prioridad, no pudiendo quedar ningún contenedor con prioridad inferior por encima de estos.

Una vez que estén los contenedores de mayor prioridad arriba, se intenta reunirlos en un mismo pilar o en varios pilares para así poder después disponer de un mayor número de huecos libres para el afloramiento de contenedores de prioridad baja.

Por último, se trasladan a otras ubicaciones los contenedores que tapan a los de prioridad baja, no pudiendo quedar de nuevo un contenedor de prioridad alta tapado por otros.

Tanto para realizar esta estrategia como la siguiente, siempre se va comprobar si un contenedor con prioridad está tapado de izquierda a derecha, es decir, se empieza por el primer pilar más a la izquierda de la bahía de contenedores. Si en él, algún contenedor con prioridad está enterrado, los contenedores que lo cubren se trasladan a otros pilares. Estos pilares destinos también se buscarán de izquierda a derecha. Si un contenedor puede trasladarse a varios pilares que cumplen unas determinadas condiciones, se trasladará al primero de ellos que esté más a la izquierda. En la *Fig. 20* se representa un diagrama con la estructura de esta estrategia.

A continuación se explica cada paso de la estrategia anterior y las condiciones que deben cumplir los pilares a los que se pueden trasladar cada contenedor dependiendo del tipo que sea y del momento en que se encuentre.

#### **5.4.1. Aflorar contenedores de mayor prioridad**

Empezando por el pilar más a la izquierda, si hay contenedores con prioridad alta y están tapados por otros, estos se van trasladando de uno en uno, dependiendo del tipo de contenedor, a otro pilar en el siguiente orden:

##### **Contenedor de prioridad baja:**

1. A pilares con sólo contenedores de prioridad baja.
2. A pilares que tengan contenedores de prioridad baja y sin prioridad, siempre que estos últimos no tapan a los de prioridad baja.
3. A pilares con sólo contenedores sin prioridad.
4. A pilares completamente vacíos.
5. A pilares con contenedores de prioridad baja y sin prioridad indistintamente de las posiciones en que se encuentren.

##### **Contenedor sin prioridad:**

1. A pilares que sólo tengan contenedores sin prioridad.
2. A pilares vacíos.
3. A pilares que tengan contenedores sin prioridad y con prioridad baja.

##### **Contenedores con prioridad alta:**

Esta situación se da cuando hay por ejemplo dos contenedores de prioridad alta en un mismo pilar y están separados por otros contenedores intermedios.

De este modo, para despejar el contenedor con prioridad alta más enterrado, habrá que trasladar el que se encuentra más arriba a otros pilares, con el siguiente orden de preferencia:

1. A pilares que tengan previamente almacenados sólo contenedores con prioridad alta.
2. A pilares en los que sólo haya contenedores con prioridad baja.
3. A pilares que tengan contenedores de prioridad siempre que los de baja no tapen a los de alta.
4. A pilares que tengan contenedores sin prioridad y contenedores con prioridad alta siempre que estos no estén cubiertos.
5. A pilares que tengan los contenedores con prioridad baja encima de contenedores sin prioridad.
6. A pilares con sólo contenedores sin prioridad.
7. Pilares completamente desocupados.
8. A pilares que tengan contenedores sin prioridad y con prioridad baja en cualquier orden.

Para este caso, si hay varios pilares con contenedores de esos tipos, se calcula la distancia entre el primer contenedor almacenado (independientemente del tipo que sea) y el contenedor de prioridad baja que esté más enterrado. El contenedor con prioridad alta se trasladará al pilar que tenga la distancia anterior más pequeña, pues así, cuando haya que aflorar el último contenedor de prioridad baja se tendrán que trasladar menor número de contenedores.

En el caso de que haya más de un pilar cuya distancia anterior sea la misma, se tomará como pilar destino aquel que tenga menor número de contenedores con prioridad baja en sus ubicaciones.

#### **5.4.2. Unir contenedores de mayor prioridad**

Una vez que los contenedores de mayor prioridad no están cubiertos por otros tipos, se unen cuando sea posible con el objetivo de tener después más huecos libres para mover los contenedores que tapan a los de prioridad baja. Los contenedores con prioridad alta se irán uniendo en pilares según el siguiente orden de prioridad:

1. En pilares que no tengan contenedores de prioridad baja ni sin prioridad, es decir, en pilares completamente vacíos o que sólo haya almacenados otros contenedores con prioridad alta.
2. En pilares donde no haya contenedores de prioridad baja. Puede haber contenedores de prioridad alta y sin prioridad.

De todos los pilares anteriores que se encuentren, vamos a ir uniéndolos empezando por el pilar que más contenedores con prioridad alta tenga

previamente almacenados. Si no hay huecos libres suficientes para alojar ahí todos los contenedores de prioridad de la bahía, se sigue con el siguiente pilar con mayor número de unos, y así sucesivamente hasta que queden unidos.

3. En pilares en los que pueda haber cualquier tipo de contenedor siempre que los de prioridad alta no estén tapados por otros tipos, y los de prioridad baja no estén tapados por contenedores sin prioridad.

Si no es posible unirlos en ninguna de las dos situaciones anteriores, los contenedores de mayor prioridad se quedan en las ubicaciones originales. Unirlos en pilares que tengan contenedores de prioridad baja enterrados no es eficiente ya que después se tendrían que mover de nuevo cuando haya que aflorar los de prioridad inferior.

### **5.4.3. Aflorar contenedores de menor prioridad**

Empezando de nuevo por el pilar más a la izquierda, si en alguno hay contenedores con prioridad baja tapados por otros, estos se van trasladando de uno en uno, dependiendo del tipo de contenedor que sea, a otro pilar en el siguiente orden:

#### **Contenedor sin prioridad:**

1. A pilares que sólo tengan contenedores sin prioridad.
2. A pilares completamente vacíos.

#### **Contenedor con prioridad baja:**

1. A pilares que tengan previamente almacenados sólo contenedores de prioridad baja.
2. A pilares que tengan contenedores sin prioridad y con prioridad baja, siempre que los de prioridad baja no estén.
3. A pilares que sólo tengan contenedores sin prioridad.

**Contenedor con prioridad alta:** mismo orden que el utilizado en el afloramiento de contenedores de este tipo.

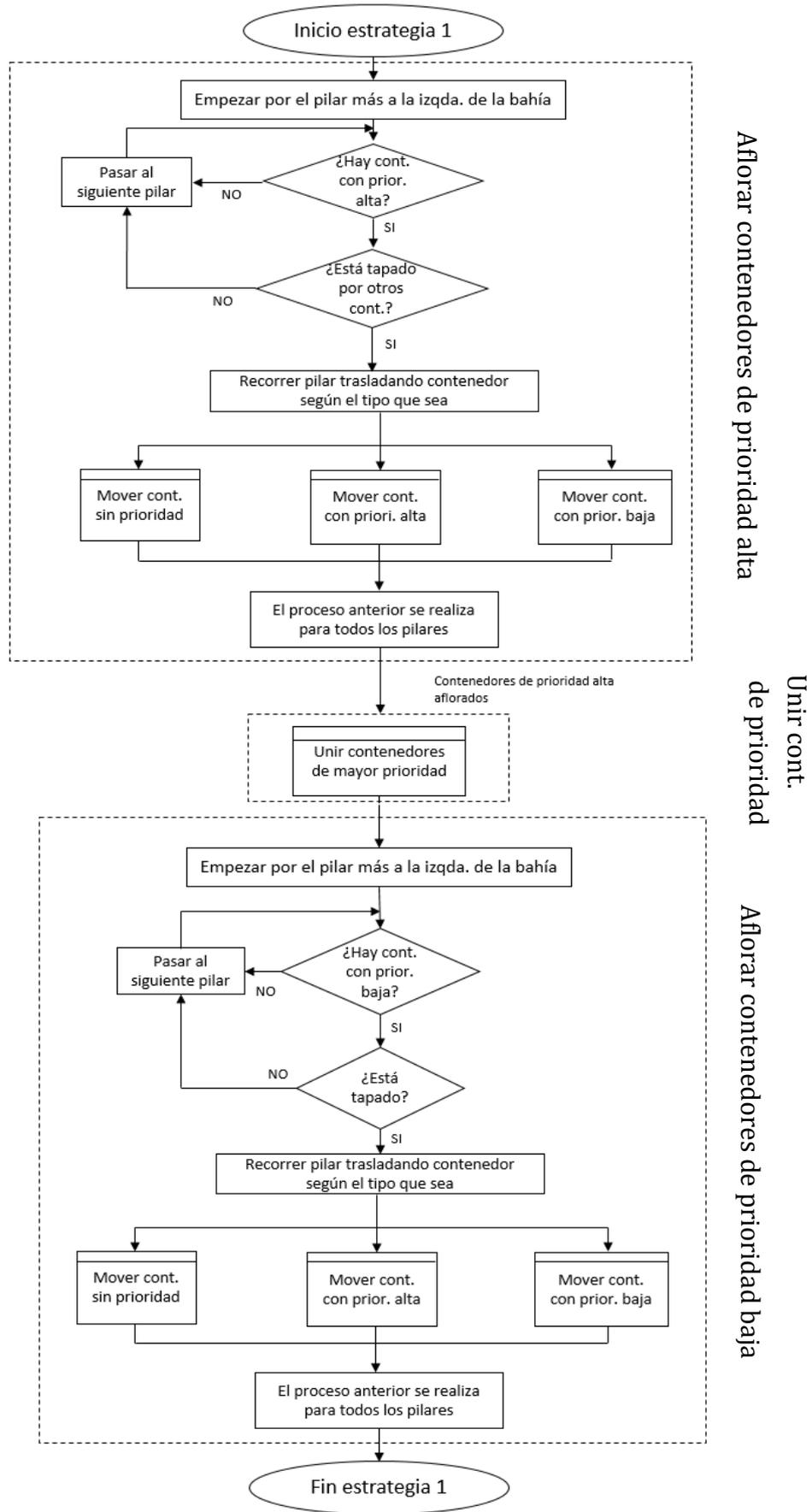


Fig. 20. Estructura general de la estrategia de prioridades ordenadas

## 5.5. Heurística de prioridades sucesivas

En esta segunda heurística primero se afloran contenedores de prioridad, independientemente de si es alta o baja y de si, a priori, se coloca un contenedor con prioridad inferior encima de uno con prioridad superior. Es decir, en este paso se desplazan todos los contenedores sin prioridad que tapen a uno con prioridad.

Una vez que no haya ningún contenedor de prioridad tapado por uno sin prioridad, se ordenan de tal modo que un contenedor de prioridad baja no quede arriba de uno de prioridad alta.

Seguidamente se explica cada paso de esta estrategia y las condiciones que deben cumplir los pilares a los que se pueden trasladar cada contenedor dependiendo del tipo que sea. El esquema general de esta estrategia se muestra en la *Fig. 21*.

### 5.5.1. Aflorar contenedores de prioridad

Si en los pilares, de izquierda a derecha, hay contenedores con prioridad alta o baja y están tapados, estos se van trasladando de uno en uno a otro pilar con el siguiente orden de preferencia:

#### **Contenedor sin prioridad:**

1. A pilares que sólo tengan almacenados previamente contenedores sin prioridad.

#### **Contenedor con prioridad baja:**

1. A pilares que sólo tengan contenedores con prioridad baja.
2. A pilares que tengan contenedores de prioridad baja y sin prioridad siempre que estos no tapen a los anteriores.
3. A pilares vacíos.
4. A pilares que sólo tengan contenedores con prioridad (puede haber prioridad alta y baja).
5. A pilares que sólo tengan contenedores sin prioridad.

#### **Contenedor con prioridad alta:**

1. A pilares que sólo tengan contenedores con prioridad alta.
2. A pilares que tengan contenedores de prioridad alta y sin prioridad, de modo que estos no tapen a los anteriores.
3. A pilares vacíos.
4. A pilares que sólo tengan contenedores con prioridad (puede haber de prioridad alta y baja).
5. A pilares que sólo tengan contenedores sin prioridad.

### 5.5.2. Ordenar contenedores

Una vez que los contenedores con prioridad están en las posiciones más altas de los pilares y no están tapados por ningún contenedor sin prioridad, hay que dejarlos situados de tal modo que un contenedor con prioridad baja no quede encima de uno con prioridad alta.

Si en un pilar hay un contenedor de prioridad baja que tapa a uno de alta, este se traslada:

1. A pilares que sólo tengan previamente almacenados contenedores de prioridad baja.
2. A pilares que sólo tengan contenedores sin prioridad.
3. A pilares vacíos.

En el caso de que entre un contenedor de prioridad baja y uno de alta haya que desplazar un contenedor de prioridad alta, éste se moverá a los pilares indicados en el mismo orden que se sigue en *“Aflorar contenedores de prioridad”*.

Tanto para la estrategia de prioridades ordenadas como para la de prioridades sucesivas, en el caso de que un contenedor que se tiene que trasladar a otra ubicación, no haya realizado su movimiento tras recorrer todos los pilares posibles en los que se puede apilar, se trasladará a la explanada.

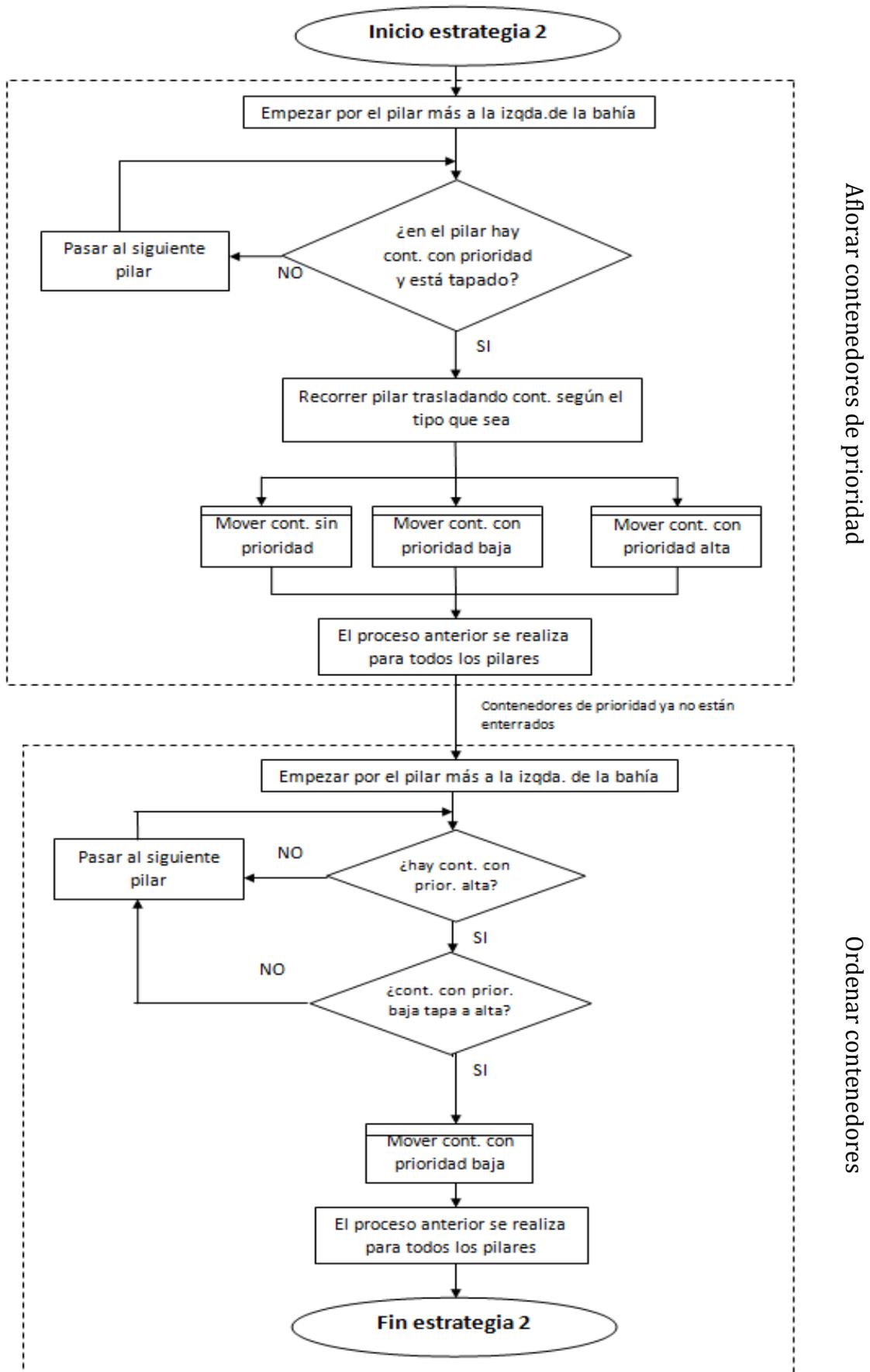


Fig. 21. Estructura general de la estrategia de prioridades sucesivas

## 5.6. Implementación de las heurísticas en entorno de programación MATLAB

La programación de las estrategias para mostrar después los resultados de ambas se ha realizado con el software MATLAB R2013b.

MATLAB (abreviatura de *MATrix LABORatory*, "laboratorio de matrices") es una herramienta de software matemático que destaca por su versatilidad, simpleza y gran poder para aplicaciones numéricas, simbólicas y gráficas. Debido a estas características, se ha elegido este lenguaje de programación para la implementación de las estrategias.

Dada la forma que presentan las bahías de contenedores, estas se pueden asemejar a una matriz de orden  $H \times P$ , donde  $H$  es el máximo nivel de altura de la pila y  $P$  el número máximo de pilares.

Los espacios en la bahía para la colocación de los contenedores se pueden registrar como las componentes de la matriz anterior. Con la única problemática de cómo distinguir los distintos tipos de contenedores, según su prioridad, que pueden haber almacenados.

Se podían tener tres tipos de contenedores, que eran:

- **Con prioridad alta.** Estos contenedores son los que están marcados en el plan de estiba con una fecha de salida más temprana, es decir, no pueden quedar enterrados por otros de menor prioridad.
- **Con prioridad baja.** Su fecha de salida es posterior a los anteriores.
- **Sin prioridad.** No tienen asignados aún fecha de salida.

La solución más rápida y fácil para el problema planteado es asignar números a cada tipo de contenedor. De este modo queda:

- Prioridad alta: '1'
- Prioridad baja: '2'
- Sin prioridad: '10'
- Hueco vacío: '0'

Con todo esto, el problema se asemeja a una matriz de orden  $5 \times 6$  compuesta por los números 1, 2, 10 y 0, según el tipo de contenedor que esté situado en cada localización de la bahía.

Los ficheros de Matlab que contienen el código de las dos estrategias están contenidos en el CD-ROM que incluye esta memoria. A continuación se explican los principales scripts y funciones para la implementación de ambas estrategias.

### 5.6.1.Principales scripts y funciones de la heurística de prioridades ordenadas

#### ➤ **subir\_tipo1.m**

Este archivo es el fichero principal desde el que se ejecuta la primera estrategia. Su objetivo es comprobar si en las columnas de la matriz, que representa la bahía de contenedores, hay algún contenedor de prioridad alta tapado, para proceder a mover los contenedores que lo están tapando.

#### Parámetros de entrada:

Como dato de entrada recibe las componentes de una matriz  $M$  de orden  $5 \times 6$ , la cual se introduce por teclado en el propio fichero.

#### Parámetros de salida:

Este fichero no devuelve parámetros de salida propiamente dichos, sino que conduce a otros ficheros dependiendo del tipo de contenedor que esté tapando al de prioridad alta:

- Contenedor sin prioridad: **mover\_10.m**
- Contenedor de prioridad baja: **mover\_2.m**
- Contenedor de prioridad alta: **mover\_1.m**

Estos tres scripts mueven el tipo de contenedor indicado en su nombre a los pilares que cumplen las condiciones ya expuestas en el apartado 5.4.1.

#### ➤ **unir1.m**

Una vez que los contenedores de prioridad alta no están tapados, se procede a unirlos como se explicaba en el apartado 5.4.2.

Dependiendo de las condiciones del pilar en el que van a ser unidos, este script conducirá a:

- **unir1\_A.m**, unión en pilares donde sólo haya contenedores de prioridad alta o vacíos
- **unir1\_B.m**, unión en pilares donde no haya contenedores de prioridad baja
- **unir1\_C.m**, unión en pilares donde hay contenedores de prioridad baja pero los de prioridad alta están encima, y los de sin prioridad están debajo.

Parámetros de entrada:

Para realizar el proceso de unión, este script recibe como dato de entrada la matriz  $M$  con los cambios realizados en el fichero anterior (*subir\_tipo1.m*)

Parámetros de salida:

Devuelve la matriz  $M$  con los cambios realizados después de unir los contenedores de prioridad.

➤ **busca\_huecos(a)**

El objetivo de esta función es buscar el número de espacios libres (posiciones con '0') que hay en un determinado pilar de la matriz  $M$  en el que puede unirse contenedores de prioridad alta.

Parámetros de entrada:

Como dato de entrada recibe el parámetro  $a$ , pilar de la matriz  $M$ .

Parámetros de salida:

Devuelve el número de huecos que hay en el pilar  $a$ .

➤ **desplazar(mover)**

Esta función se encarga de trasladar los contenedores de prioridad alta que se van a unir en el pilar  $a$ .

Parámetros de entrada:

Recibe como parámetro de entradas el dato *mover*, que representa el número de contenedores de prioridad alta que se van a transportar al pilar  $a$ .

Parámetros de salida:

Devuelve la matriz  $M$  con las nuevas posiciones de los contenedores.

➤ **subir\_tipo2.m**

Cuando ya se han unido los contenedores de prioridad alta que han sido posibles, se pasa a aflorar los contenedores de prioridad baja. Esto se realiza mediante este script.

Su función es, cuando en un pilar encuentre un contenedor de prioridad baja y esté tapado por otro contenedor, comenzar a trasladar estos últimos a otros pilares.

Parámetros de entrada:

Recibe la matriz  $M$  que devuelve *unir1.m*.

Parámetros de salida:

Devuelve la matriz  $M$  con la disposición final de los contenedores.

## 5.6.2. Principales scripts y funciones de la heurística de prioridades sucesivas

➤ **aflorar\_tipo1y2.m**

Este archivo es el fichero principal de la segunda estrategia desarrollada. Su principal objetivo es comprobar si en las columnas de la matriz  $M$  hay contenedores con prioridad tapados por contenedores si prioridad.

Parámetros de entrada:

Al igual que para la estrategia anterior, como dato de entrada recibe las componentes de una matriz  $M$  de orden  $5 \times 6$ , la cual se introduce por teclado en el propio fichero.

Parámetros de salida:

No devuelve parámetros de salida propiamente dichos, sino que conduce a otros ficheros dependiendo del tipo de contenedor que esté tapando al de prioridad:

- Contenedor sin prioridad: **mover\_10.m**
- Contenedor de prioridad baja: **mover\_2.m**
- Contenedor de prioridad alta: **mover\_1.m**

Aunque tengan el mismo nombre que en la estrategia de prioridades ordenadas, el código de estos ficheros es diferente. Estos tres ficheros mueven el tipo de contenedor indicado en su nombre a los pilares que cumplen determinadas condiciones, en el orden establecido en el apartado 5.5.1.

➤ **organizar.m**

Una vez que se tienen los contenedores de prioridad despejados, hay que organizarlos de manera que un contenedor de prioridad baja no tape a uno de alta. De ello se encarga este dichero.

Parámetros de entrada:

Recibe la matriz  $M$  con los cambios realizados en el fichero anterior (*aflorar\_tipo1y2.m*).

Parámetros de salida:

Este script, cuando un contenedor de prioridad alta está tapado, conduce a:

- **mover\_1.m**, un contenedor de prioridad baja tapa a uno de alta, y encima de él hay otro contenedor de prioridad alta
- **organizar\_2.m**, mueve el contenedor de prioridad baja que tapa al de alta

Cuando no exista ningún contenedor de prioridad alta tapado, devuelve la matriz  $M$  con la distribución final de los contenedores.

## ***6. Análisis de resultados***

## 6. Análisis de resultados

En esta sección se presenta una colección de 10 problemas para los que se va a resolver la recolocación de contenedores dada una situación inicial mediante las dos estrategias desarrolladas. Para ver cómo se comportan las estrategias en cada situación, se resuelven 5 problemas que no presentan limitaciones de espacio para reubicar contenedores, 2 problemas en los que el número de espacios libres es menor y aumentan los contenedores de prioridad, y por último, otros 3 que tienen que hacer uso de la explanada para solventar el problema de la recolocación.

Una vez resueltas las 10 situaciones, se pasará a presentar y analizar los resultados que se han obtenido.

### 6.1. Aplicación de las heurísticas a análisis de ensayo

A continuación se muestran dos formatos gráficos de solución, el resultado de MATLAB y en paralelo para una mejor visualización, en forma de bloques, en el que el cuadro en color indica el contenedor movido a la nueva posición en ese paso.

Tras el resultado que muestra Matlab aparece “nº de movimientos” y “nº de movimientos acumulados” seguido de una cifra. Esto se refiere al número de movimientos que han sido necesarios para desplazar un contenedor en ese paso concreto, según el método de cálculo que se vio en el capítulo anterior.

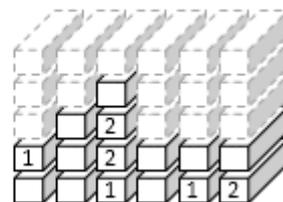
En este apartado, se refiere como estrategia 1 o estrategia primera, y estrategia 2 o estrategia segunda, a la heurística de prioridades ordenadas y a la heurística de prioridades sucesivas, respectivamente.

#### 6.1.1. Situación 1

##### ➤ S1. Estrategia 1:

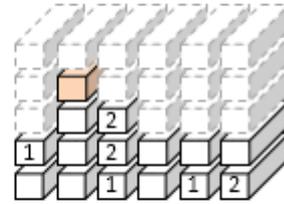
Situación actual del patio de contenedores:

0	0	0	0	0	0
0	0	10	0	0	0
0	10	2	0	0	0
1	10	2	10	10	10
10	10	1	10	1	2



Despejar 10 de encima de un 1  
 MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

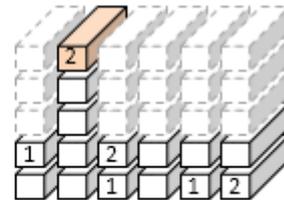
0	0	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0
0	10	2	0	0	0
1	10	2	10	10	10
10	10	1	10	1	2



n° movimientos: 5  
 n° movimientos acumulados: 5

Despejar 2 de encima de un 1  
 No se ha podido mover a pilar con solo 2  
 No se ha podido mover a pilar con 2 encima de 10  
 MUEVO CONTENEDOR 2 A PILARES CON SOLO 10

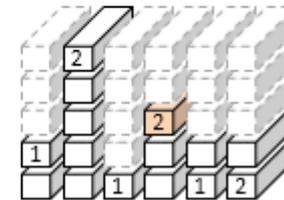
0	2	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0
1	10	2	10	10	10
10	10	1	10	1	2



n° movimientos: 5  
 n° movimientos acumulados: 10

Despejar 2 de encima de un 1  
 No se ha podido mover a pilar con solo 2  
 No se ha podido mover a pilar con 2 encima de 10  
 MUEVO CONTENEDOR 2 A PILARES CON SOLO 10

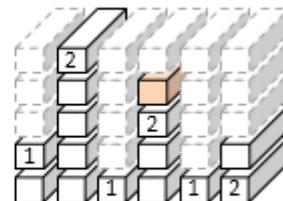
0	2	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0
0	10	0	2	0	0
1	10	0	10	10	10
10	10	1	10	1	2



n° movimientos: 8  
 n° movimientos acumulados: 18

Despejar 10 de encima de un 1  
 MUEVO CONTENEDOR 10 encima de otros 10 y 2

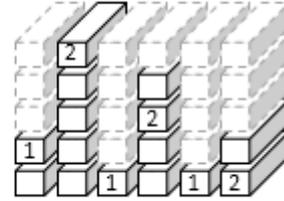
0	2	0	0	0	0
0	10	0	10	0	0
0	10	0	2	0	0
1	10	0	10	0	10
10	10	1	10	1	2



n° movimientos: 7  
 n° movimientos acumulados: 25

Contenedores de mayor prioridad están arriba:

0	2	0	0	0	0
0	10	0	10	0	0
0	10	0	2	0	0
1	10	0	10	0	10
10	10	1	10	1	2



Ahora unimos contenedores tipo 1:

Una vez que tenemos arriba los de mayor prioridad, los unimos para facilitar más tarde aflorar los de segunda prioridad

Pilares en los que no hay 2 ni 10:

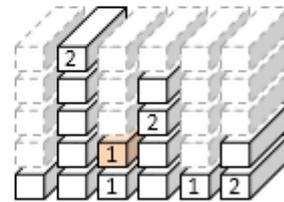
3 5

Entra en unir1\_A (donde sólo haya 1)

Número de unos en el pilar 3: 1

Número de unos en el pilar 5: 1

0	2	0	0	0	0
0	10	0	10	0	0
0	10	0	2	0	0
0	10	1	10	0	10
10	10	1	10	1	2

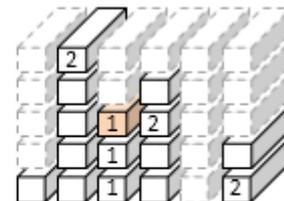


nº movimientos: 10

nº movimientos acumulados: 35

Como se vio en el desarrollo de la estrategia 1, los contenedores de prioridad intentan primero unirse en pilares en los que solo haya contenedores de este tipo. En este caso, existen dos pilares de estas características (3 y 5) y como los dos tienen el mismo número de contenedores de prioridad, se unen en el primero de ellos.

0	2	0	0	0	0
0	10	0	10	0	0
0	10	1	2	0	0
0	10	1	10	0	10
10	10	1	10	0	2

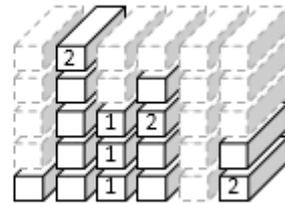


nº movimientos: 10

nº movimientos acumulados: 45

Disposición de contenedores después de unir 1:

0	2	0	0	0	0
0	10	0	10	0	0
0	10	1	2	0	0
0	10	1	10	0	10
10	10	1	10	0	2

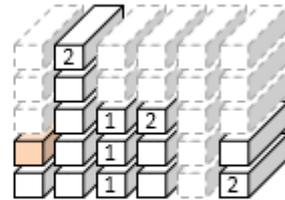


Ahora afloramos contenedores tipo 2

Despejar 10 de encima de un 2

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	2	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0
0	10	1	2	0	0
10	10	1	10	0	10
10	10	1	10	0	2



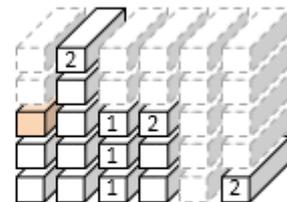
nº movimientos: 9

nº movimientos acumulados: 54

Despejar 10 de encima de un 2

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	2	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0
10	10	1	2	0	0
10	10	1	10	0	0
10	10	1	10	0	2

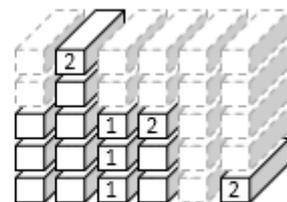


nº movimientos: 12

nº movimientos acumulados: 66

Contenedores de menor prioridad despejados:

0	2	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0
10	10	1	2	0	0
10	10	1	10	0	0
10	10	1	10	0	2



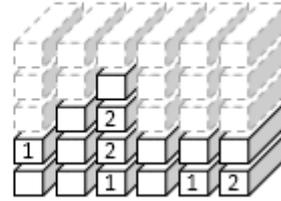
Al no estar tapados todos los contenedores de menor prioridad, esta sería la disposición final.

Se resuelve ahora, la misma situación con la segunda estrategia.

➤ S1. Estrategia 2

Situación actual del patio de contenedores:

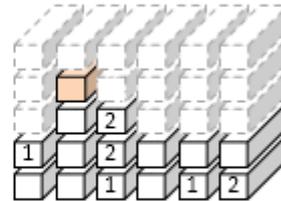
0	0	0	0	0	0
0	0	10	0	0	0
0	10	2	0	0	0
1	10	2	10	10	10
10	10	1	10	1	2



Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	0	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0
0	10	2	0	0	0
1	10	2	10	10	10
10	10	1	10	1	2



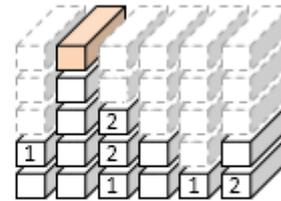
nº movimientos: 5

nº movimientos acumulados: 5

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	10	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0
0	10	2	0	0	0
1	10	2	10	0	10
10	10	1	10	1	2



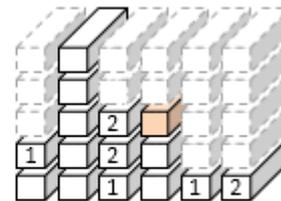
nº movimientos: 8

nº movimientos acumulados: 13

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	10	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0
0	10	2	10	0	0
1	10	2	10	0	0
10	10	1	10	1	2



nº movimientos: 9

nº movimientos acumulados: 22

Patio después de aflorar contenedores 1 y 2 indistintamente

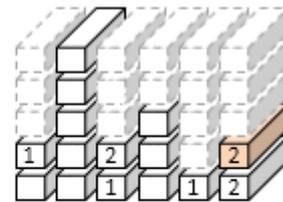
0	10	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0
0	10	2	10	0	0
1	10	2	10	0	0
10	10	1	10	1	2

Estas son las posiciones que ocupan los contenedores una vez que han sido desalojados los contenedores sin prioridad que tapaban a los de prioridad.

En este momento, hay que trasladar a otras ubicaciones los contenedores que tapan a los de prioridad alta.

Entra en organizar 2

0	10	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0
0	10	0	10	0	0
1	10	2	10	0	2
10	10	1	10	1	2

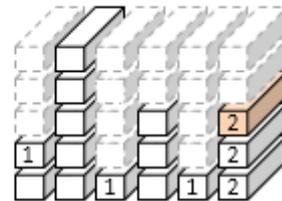


nº movimientos: 10

nº movimientos acumulados: 32

Entra en organizar 2

0	10	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0
0	10	0	10	0	2
1	10	0	10	0	2
10	10	1	10	1	2



nº movimientos: 10

nº movimientos acumulados: 42

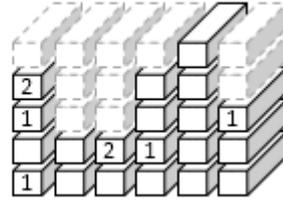
Así quedarían situados los contenedores por la estrategia 2.

## 6.1.2.Situación 2

### ➤ S2. Estrategia 1:

Situación actual del patio de contenedores:

0	0	0	0	10	0
2	0	0	10	10	0
1	0	0	10	10	1
10	10	2	1	10	10
1	10	10	10	10	10

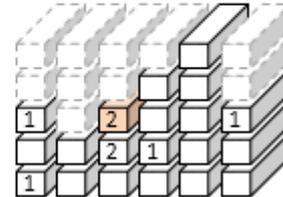


Despejar 2 de encima de un 1

No se ha podido mover a pilar con solo 2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con 2 encima de 10

0	0	0	0	10	0
0	0	0	10	10	0
1	0	2	10	10	1
10	10	2	1	10	10
1	10	10	10	10	10



nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 7

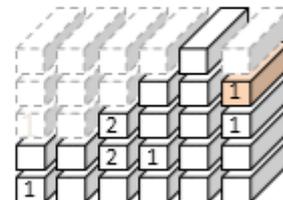
Entra en mover1

No se ha podido mover el contenedor 1 a un pilar con solo unos

No se ha podido mover el contenedor 1 a pilares con solo 2

MUEVO CONTENEDOR 1 a pilar con 1 y 10

0	0	0	0	10	0
0	0	0	10	10	1
0	0	2	10	10	1
10	10	2	1	10	10
1	10	10	10	10	10



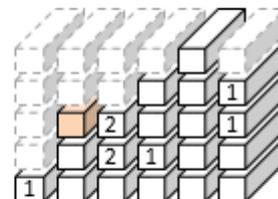
nº movimientos: 10

nº movimientos acumulados: 17

Despejar 10 de encima de un 1

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	0	0	0	10	0
0	0	0	10	10	1
0	10	2	10	10	1
0	10	2	1	10	10
1	10	10	10	10	10

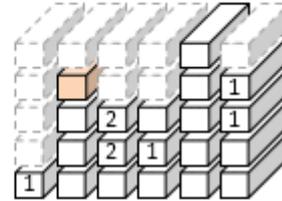


nº movimientos: 8

nº movimientos acumulados: 25

Despejar 10 de encima de un 1  
 MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

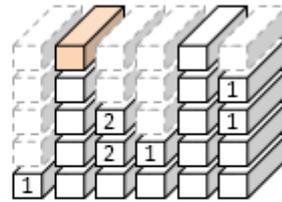
0	0	0	0	10	0
0	10	0	0	10	1
0	10	2	10	10	1
0	10	2	1	10	10
1	10	10	10	10	10



n° movimientos: 6  
 n° movimientos acumulados: 31

Despejar 10 de encima de un 1  
 MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	10	0	0	10	0
0	10	0	0	10	1
0	10	2	0	10	1
0	10	2	1	10	10
1	10	10	10	10	10

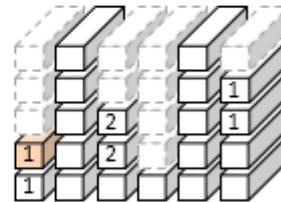


n° movimientos: 6  
 n° movimientos acumulados: 37

Ahora unimos contenedores tipo 1:  
 Una vez que tenemos arriba los de mayor prioridad,  
 los unimos para facilitar más tarde aflorar los de  
 segunda prioridad  
 Pilares en los que no hay 2 ni 10:  
 1

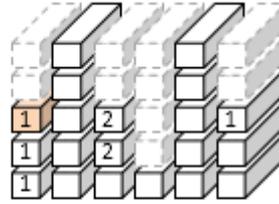
Entra en unir1\_A (donde sólo haya 1)  
 Número de unos en el pilar 1: 1

0	10	0	0	10	0
0	10	0	0	10	1
0	10	2	0	10	1
1	10	2	0	10	10
1	10	10	10	10	10



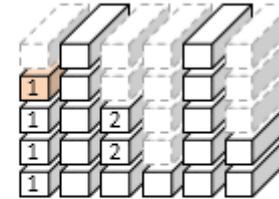
n° movimientos: 11  
 n° movimientos acumulados: 48

0	10	0	0	10	0
0	10	0	0	10	0
1	10	2	0	10	1
1	10	2	0	10	10
1	10	10	10	10	10



n° movimientos: 10  
 n° movimientos acumulados: 58

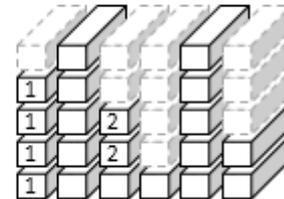
0	10	0	0	10	0
1	10	0	0	10	0
1	10	2	0	10	0
1	10	2	0	10	10
1	10	10	10	10	10



n° movimientos: 10  
 n° movimientos acumulados: 68

Disposición de contenedores después de unir 1:

0	10	0	0	10	0
1	10	0	0	10	0
1	10	2	0	10	0
1	10	2	0	10	10
1	10	10	10	10	10

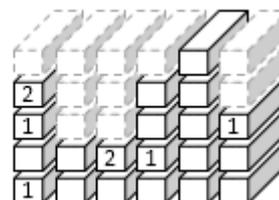


Esta sería la distribución final ya que los contenedores de prioridad baja también quedan arriba y no habría que hacer más movimientos.

➤ **S2. Estrategia 2:**

Situación actual del patio de contenedores:

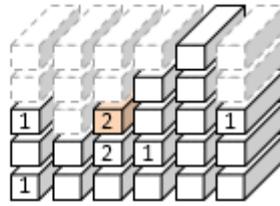
0	0	0	0	10	0
2	0	0	10	10	0
1	0	0	10	10	1
10	10	2	1	10	10
1	10	10	10	10	10



Entra en mover2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con otro 2

0	0	0	0	10	0
0	0	0	10	10	0
1	0	2	10	10	1
10	10	2	1	10	10
1	10	10	10	10	10



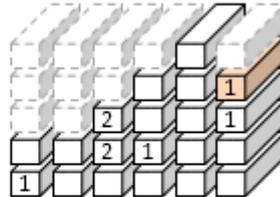
n° movimientos: 7

n° movimientos acumulados: 7

Entra en mover1

MUEVO CONTENEDOR 1 a pilar con otro 1

0	0	0	0	10	0
0	0	0	10	10	1
0	0	2	10	10	1
10	10	2	1	10	10
1	10	10	10	10	10



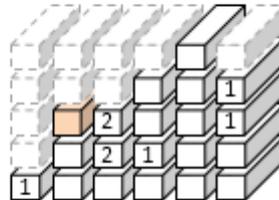
n° movimientos: 10

n° movimientos acumulados: 17

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	0	0	0	10	0
0	0	0	10	10	1
0	10	2	10	10	1
0	10	2	1	10	10
1	10	10	10	10	10



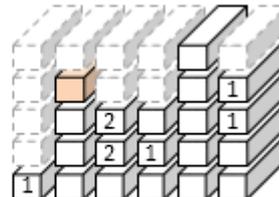
n° movimientos: 8

n° movimientos acumulados: 25

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	0	0	0	10	0
0	10	0	0	10	1
0	10	2	10	10	1
0	10	2	1	10	10
1	10	10	10	10	10



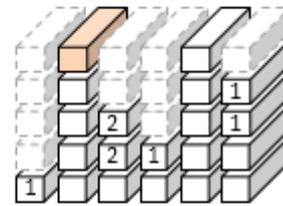
n° movimientos: 6

n° movimientos acumulados: 31

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	10	0	0	10	0
0	10	0	0	10	1
0	10	2	0	10	1
0	10	2	1	10	10
1	10	10	10	10	10

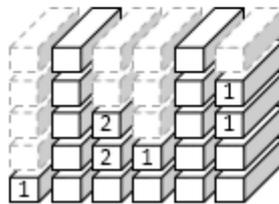


nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 37

Patio después de aflorar contenedores 1 y 2 indistintamente

0	10	0	0	10	0
0	10	0	0	10	1
0	10	2	0	10	1
0	10	2	1	10	10
1	10	10	10	10	10



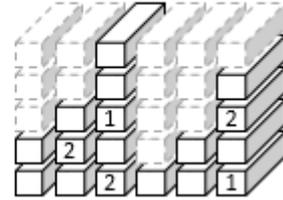
Situación final. No queda ningún contenedor de prioridad baja encima de uno de prioridad alta, por tanto no hay que reordenar los contenedores.

### 6.1.3.Situación 3

➤ S3. Estrategia 1:

Situación actual del patio de contenedores:

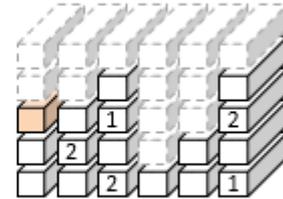
0	0	10	0	0	0
0	0	10	0	0	10
0	10	1	0	0	2
10	2	10	0	10	10
10	10	2	10	10	1



Despejar 10 de encima de un 1

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	0	0	0	0	0
0	0	10	0	0	10
10	10	1	0	0	2
10	2	10	0	10	10
10	10	2	10	10	1



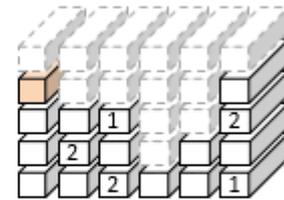
nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 6

Despejar 10 de encima de un 1

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	10
10	10	1	0	0	2
10	2	10	0	10	10
10	10	2	10	10	1



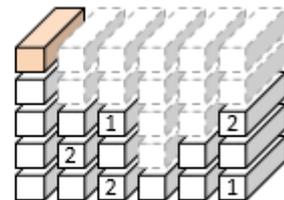
nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 12

Despejar 10 de encima de un 1

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

10	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
10	10	1	0	0	2
10	2	10	0	10	10
10	10	2	10	10	1

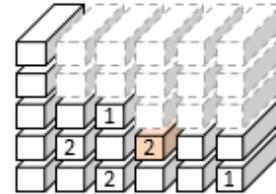


nº movimientos: 8

nº movimientos acumulados: 20

Despejar 2 de encima de un 1  
 No se ha podido mover a pilar con solo 2  
 No se ha podido mover a pilar con 2 encima de 10  
 MUEVO CONTENEDOR 2 A PILARES CON SOLO 10

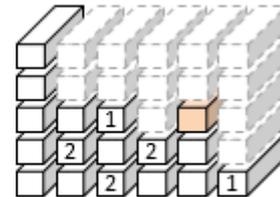
10	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
10	10	1	0	0	0
10	2	10	2	10	10
10	10	2	10	10	1



n° movimientos: 9  
 n° movimientos acumulados: 29

Despejar 10 de encima de un 1  
 MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

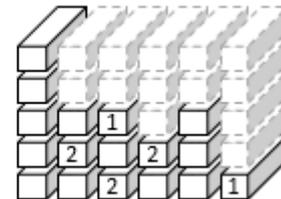
10	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
10	10	1	0	10	0
10	2	10	2	10	0
10	10	2	10	10	1



n° movimientos: 8  
 n° movimientos acumulados: 37

Contenedores de mayor prioridad están arriba:

10	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
10	10	1	0	10	0
10	2	10	2	10	0
10	10	2	10	10	1



Ahora unimos contenedores tipo 1:

Una vez que tenemos arriba los de mayor prioridad, los unimos para facilitar más tarde aflorar los de segunda prioridad

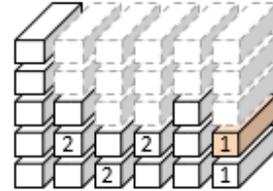
Pilares en los que no hay 2 ni 10:

6

Entra en unir1\_A (donde sólo haya 1)

Número de unos en el pilar 6: 1

10	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
10	10	0	0	10	0
10	2	10	2	10	1
10	10	2	10	10	1

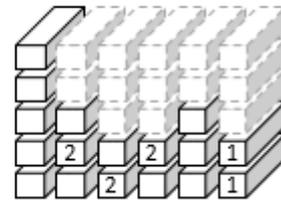


nº movimientos: 10

nº movimientos acumulados: 47

Disposición de contenedores después de unir 1:

10	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
10	10	0	0	10	0
10	2	10	2	10	1
10	10	2	10	10	1

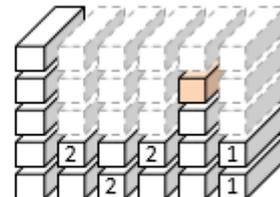


Ahora afloramos contenedores tipo 2

Despejar 10 de encima de un 2

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

10	0	0	0	0	0
10	0	0	0	10	0
10	0	0	0	10	0
10	2	10	2	10	1
10	10	2	10	10	1



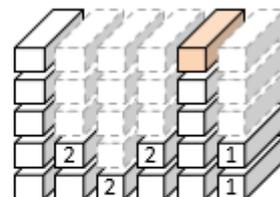
nº movimientos: 8

nº movimientos acumulados: 55

Despejar 10 de encima de un 2

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

10	0	0	0	10	0
10	0	0	0	10	0
10	0	0	0	10	0
10	2	0	2	10	1
10	10	2	10	10	1

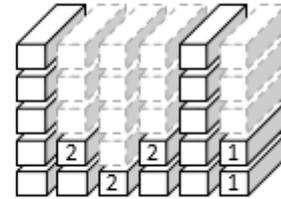


nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 62

Contenedores de menor prioridad despejados:

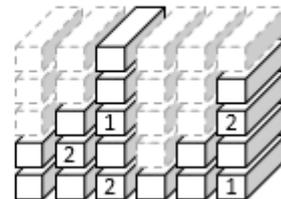
10	0	0	0	10	0
10	0	0	0	10	0
10	0	0	0	10	0
10	2	0	2	10	1
10	10	2	10	10	1



### ➤ S3. Estrategia 2:

Situación actual del patio de contenedores:

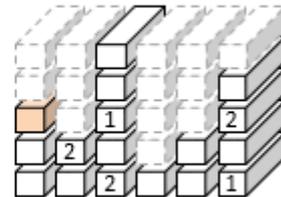
0	0	10	0	0	0
0	0	10	0	0	10
0	10	1	0	0	2
10	2	10	0	10	10
10	10	2	10	10	1



Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	0	10	0	0	0
0	0	10	0	0	10
10	0	1	0	0	2
10	2	10	0	10	10
10	10	2	10	10	1



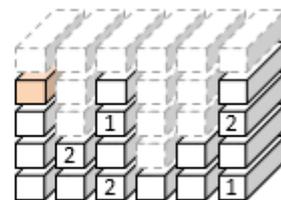
nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 7

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	0	10
10	0	1	0	0	2
10	2	10	0	10	10
10	10	2	10	10	1



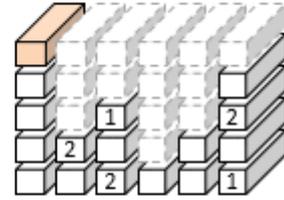
nº movimientos: 5

nº movimientos acumulados: 12

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

10	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	10
10	0	1	0	0	2
10	2	10	0	10	10
10	10	2	10	10	1



nº movimientos: 5

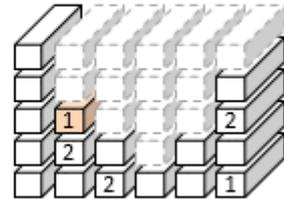
nº movimientos acumulados: 17

Entra en mover1

No se ha podido mover el contenedor 1 a un pilar con solo unos

MUEVO CONTENEDOR 1 a pilar con 2

10	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	10
10	1	0	0	0	2
10	2	10	0	10	10
10	10	2	10	10	1



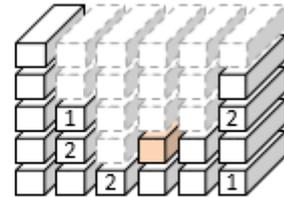
nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 24

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

10	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	10
10	1	0	0	0	2
10	2	0	10	10	10
10	10	2	10	10	1



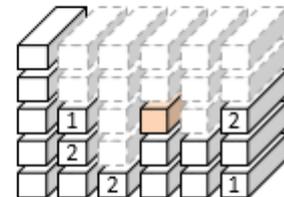
nº movimientos: 9

nº movimientos acumulados: 33

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

10	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
10	1	0	10	0	2
10	2	0	10	10	10
10	10	2	10	10	1



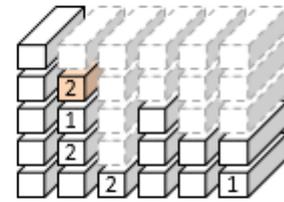
nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 40

Entra en mover2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con otro 2

10	0	0	0	0	0
10	2	0	0	0	0
10	1	0	10	0	0
10	2	0	10	10	10
10	10	2	10	10	1



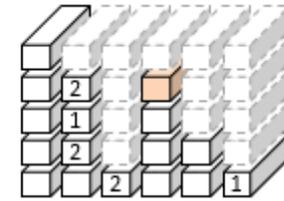
nº movimientos: 9

nº movimientos acumulados: 49

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

10	0	0	0	0	0
10	2	0	10	0	0
10	1	0	10	0	0
10	2	0	10	10	0
10	10	2	10	10	1

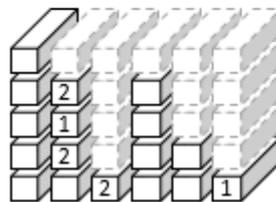


nº movimientos: 8

nº movimientos acumulados: 57

Patio después de aflorar contenedores 1 y 2 indistintamente

10	0	0	0	0	0
10	2	0	10	0	0
10	1	0	10	0	0
10	2	0	10	10	0
10	10	2	10	10	1

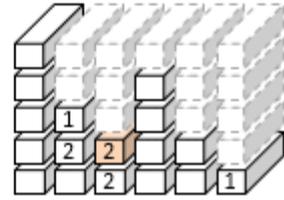


Esas son las posiciones que tendrían los contenedores una vez que se han desalojado todos los contenedores sin prioridad que tapaban a los de prioridad.

El siguiente paso es desplazar a otras ubicaciones los contenedores de prioridad baja que están tapado a los de prioridad alta.

Entra en organizar 2

10	0	0	0	0	0
10	0	0	10	0	0
10	1	0	10	0	0
10	2	2	10	10	0
10	10	2	10	10	1



nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 64

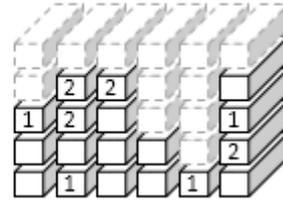
Situación final del patio de contenedores.

### 6.1.4.Situación 4

#### ➤ S4.Estrategia 1:

Situación actual del patio de contenedores:

0	0	0	0	0	0
0	2	2	0	0	10
1	2	10	0	0	1
10	10	10	10	0	2
10	1	10	10	1	10

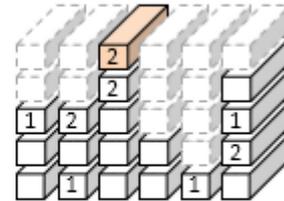


Despejar 2 de encima de un 1

No se ha podido mover a pilar con solo 2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con 2 encima de 10

0	0	2	0	0	0
0	0	2	0	0	10
1	2	10	0	0	1
10	10	10	10	0	2
10	1	10	10	1	10



nº movimientos: 4

nº movimientos acumulados: 4

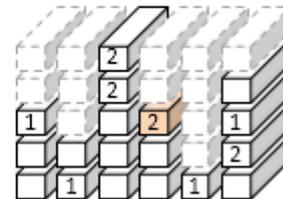
Despejar 2 de encima de un 1

No se ha podido mover a pilar con solo 2

No se ha podido mover a pilar con 2 encima de 10

MUEVO CONTENEDOR 2 A PILARES CON SOLO 10

0	0	2	0	0	0
0	0	2	0	0	10
1	0	10	2	0	1
10	10	10	10	0	2
10	1	10	10	1	10



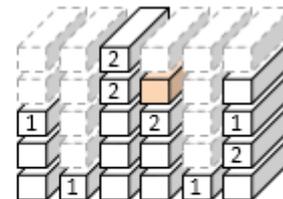
nº movimientos: 8

nº movimientos acumulados: 12

Despejar 10 de encima de un 1

MUEVO CONTENEDOR 10 encima de otros 10 y 2

0	0	2	0	0	0
0	0	2	10	0	10
1	0	10	2	0	1
10	0	10	10	0	2
10	1	10	10	1	10

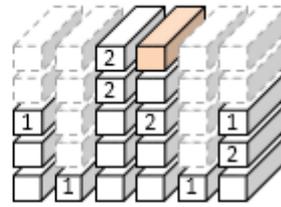


nº movimientos: 8

nº movimientos acumulados: 20

Despejar 10 de encima de un 1  
 MUEVO CONTENEDOR 10 encima de otros 10 y 2

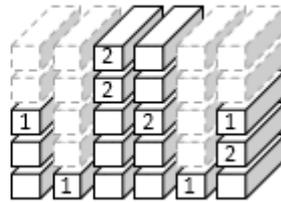
0	0	2	10	0	0
0	0	2	10	0	0
1	0	10	2	0	1
10	0	10	10	0	2
10	1	10	10	1	10



nº movimientos: 5  
 nº movimientos acumulados: 25

Contenedores de mayor prioridad están arriba:

0	0	2	10	0	0
0	0	2	10	0	0
1	0	10	2	0	1
10	0	10	10	0	2
10	1	10	10	1	10

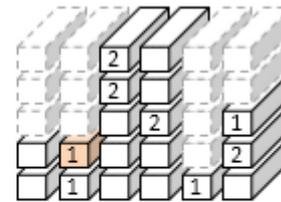


Ahora unimos contenedores tipo 1:  
 Una vez que tenemos arriba los de mayor prioridad,  
 los unimos para facilitar más tarde aflorar los de  
 segunda prioridad  
 Pilares en los que no hay 2 ni 10:

2 5

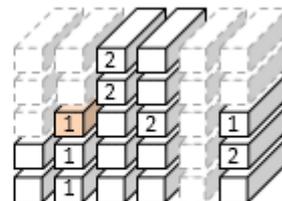
Entra en unir1\_A (donde sólo haya 1)  
 Número de unos en el pilar 2: 1  
 Número de unos en el pilar 5: 1

0	0	2	10	0	0
0	0	2	10	0	0
0	0	10	2	0	1
10	1	10	10	0	2
10	1	10	10	1	10



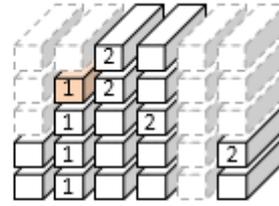
nº movimientos: 8  
 nº movimientos acumulados: 33

0	0	2	10	0	0
0	0	2	10	0	0
0	1	10	2	0	1
10	1	10	10	0	2
10	1	10	10	0	10



nº movimientos: 11  
 nº movimientos acumulados: 44

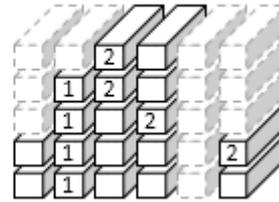
0	0	2	10	0	0
0	1	2	10	0	0
0	1	10	2	0	0
10	1	10	10	0	2
10	1	10	10	0	10



nº movimientos: 9  
nº movimientos acumulados: 53

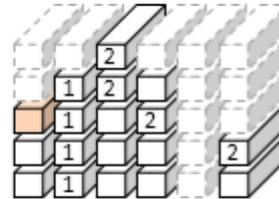
Disposición de contenedores después de unir 1:

0	0	2	10	0	0
0	1	2	10	0	0
0	1	10	2	0	0
10	1	10	10	0	2
10	1	10	10	0	10



Ahora afloramos contenedores tipo 2  
Despejar 10 de encima de un 2  
MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

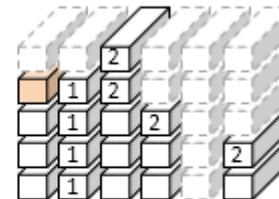
0	0	2	0	0	0
0	1	2	10	0	0
10	1	10	2	0	0
10	1	10	10	0	2
10	1	10	10	0	10



nº movimientos: 7  
nº movimientos acumulados: 60

Despejar 10 de encima de un 2  
MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	0	2	0	0	0
10	1	2	0	0	0
10	1	10	2	0	0
10	1	10	10	0	2
10	1	10	10	0	10

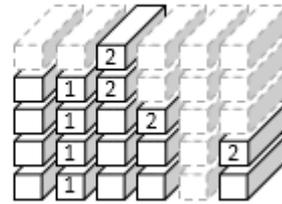


nº movimientos: 7  
nº movimientos acumulados: 67

Distribución final de los contenedores utilizando la estrategia 1.

Contenedores de menor prioridad despejados:

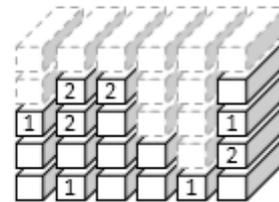
0	0	2	0	0	0
10	1	2	0	0	0
10	1	10	2	0	0
10	1	10	10	0	2
10	1	10	10	0	10



➤ S4. Estrategia 2:

Situación actual del patio de contenedores:

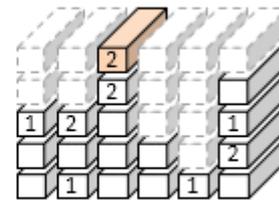
0	0	0	0	0	0
0	2	2	0	0	10
1	2	10	0	0	1
10	10	10	10	0	2
10	1	10	10	1	10



Entra en mover2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con otro 2

0	0	2	0	0	0
0	0	2	0	0	10
1	2	10	0	0	1
10	10	10	10	0	2
10	1	10	10	1	10



nº movimientos: 4

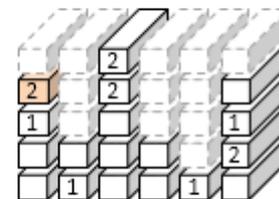
nº movimientos acumulados: 4

Entra en mover2

No se ha podido mover a pilares con otros dos

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con 1

0	0	2	0	0	0
2	0	2	0	0	10
1	0	10	0	0	1
10	10	10	10	0	2
10	1	10	10	1	10



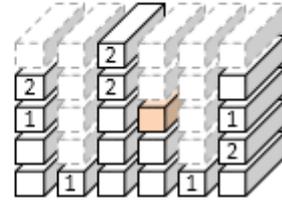
nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 10

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	0	2	0	0	0
2	0	2	0	0	10
1	0	10	10	0	1
10	0	10	10	0	2
10	1	10	10	1	10



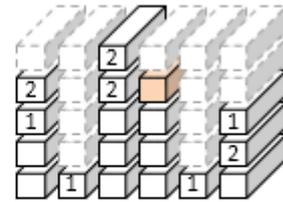
nº movimientos: 9

nº movimientos acumulados: 19

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	0	2	0	0	0
2	0	2	10	0	0
1	0	10	10	0	1
10	0	10	10	0	2
10	1	10	10	1	10

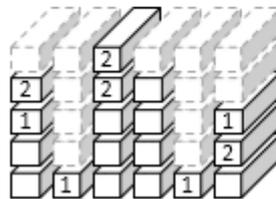


nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 25

Patio después de aflorar contenedores 1 y 2 indistintamente

0	0	2	0	0	0
2	0	2	10	0	0
1	0	10	10	0	1
10	0	10	10	0	2
10	1	10	10	1	10

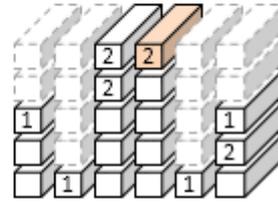


Entra en organizar 2

Mover 2 a pilar con solo 10

MUEVO CONTENEDOR 2 A PILARES CON SOLO 10

0	0	2	2	0	0
0	0	2	10	0	0
1	0	10	10	0	1
10	0	10	10	0	2
10	1	10	10	1	10



nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 31

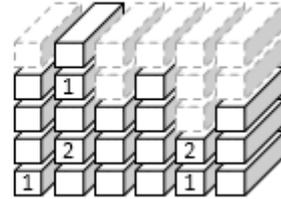
De esta forma quedaría la bahía después de aplicar la estrategia de prioridades sucesivas.

### 6.1.5.Situación 5

#### ➤ S5. Estrategia 1:

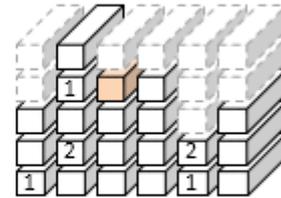
Situación actual del patio de contenedores:

0	10	0	0	0	0
10	1	0	10	0	0
10	10	10	10	0	10
10	2	10	10	2	10
1	10	10	10	1	10



Despejar 10 de encima de un 1  
MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

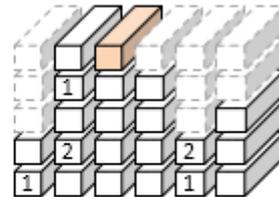
0	10	0	0	0	0
0	1	10	10	0	0
10	10	10	10	0	10
10	2	10	10	2	10
1	10	10	10	1	10



nº movimientos: 6  
nº movimientos acumulados: 6

Despejar 10 de encima de un 1  
MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

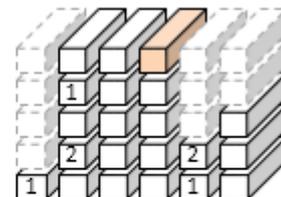
0	10	10	0	0	0
0	1	10	10	0	0
0	10	10	10	0	10
10	2	10	10	2	10
1	10	10	10	1	10



nº movimientos: 6  
nº movimientos acumulados: 12

Despejar 10 de encima de un 1  
MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	10	10	10	0	0
0	1	10	10	0	0
0	10	10	10	0	10
0	2	10	10	2	10
1	10	10	10	1	10

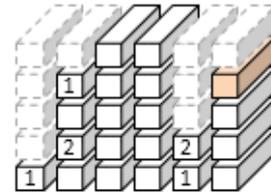


nº movimientos: 8  
nº movimientos acumulados: 20

Despejar 10 de encima de un 1

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	0	10	10	0	0
0	1	10	10	0	10
0	10	10	10	0	10
0	2	10	10	2	10
1	10	10	10	1	10



nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 27

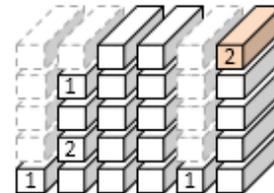
Despejar 2 de encima de un 1

No se ha podido mover a pilar con solo 2

No se ha podido mover a pilar con 2 encima de 10

MUEVO CONTENEDOR 2 A PILARES CON SOLO 10

0	0	10	10	0	2
0	1	10	10	0	10
0	10	10	10	0	10
0	2	10	10	0	10
1	10	10	10	1	10

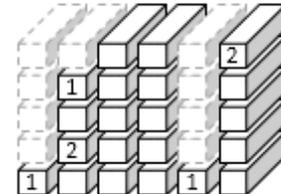


nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 33

Contenedores de mayor prioridad están arriba:

0	0	10	10	0	2
0	1	10	10	0	10
0	10	10	10	0	10
0	2	10	10	0	10
1	10	10	10	1	10



Ahora unimos contenedores tipo 1:

Una vez que tenemos arriba los de mayor prioridad, los unimos para facilitar más tarde aflorar los de segunda prioridad

Pilares en los que no hay 2 ni 10:

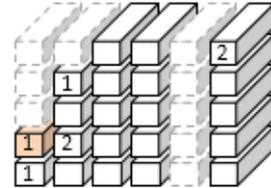
1 5

Entra en unir1\_A (donde sólo haya 1)

Número de unos en el pilar 1: 1

Número de unos en el pilar 5: 1

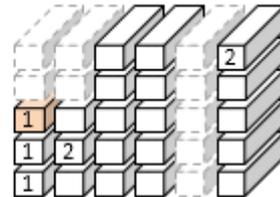
0	0	10	10	0	2
0	0	10	10	0	10
0	10	10	10	0	10
1	2	10	10	0	10
1	10	10	10	1	10



nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 40

0	0	10	10	0	2
0	0	10	10	0	10
1	10	10	10	0	10
1	2	10	10	0	10
1	10	10	10	0	10

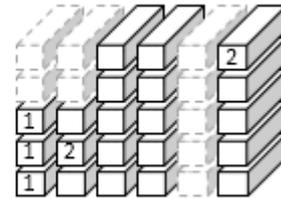


nº movimientos: 12

nº movimientos acumulados: 52

Disposición de contenedores después de unir 1:

0	0	10	10	0	2
0	0	10	10	0	10
1	10	10	10	0	10
1	2	10	10	0	10
1	10	10	10	0	10



Ahora afloramos contenedores tipo 2  
 Despejar 10 de encima de un 2  
 MUEVO CONTENEDOR 10 encima de otros 10 y 2

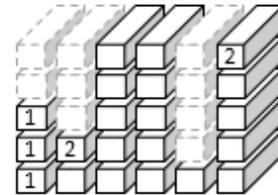
0	0	10	10	0	2
0	0	10	10	0	10
1	0	10	10	0	10
1	2	10	10	0	10
1	10	10	10	10	10



nº movimientos: 11  
 nº movimientos acumulados: 63

Contenedores de menor prioridad despejados:

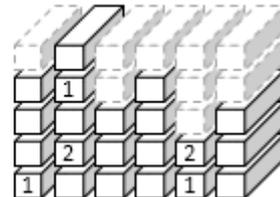
0	0	10	10	0	2
0	0	10	10	0	10
1	0	10	10	0	10
1	2	10	10	0	10
1	10	10	10	10	10



➤ S5. Estrategia 2:

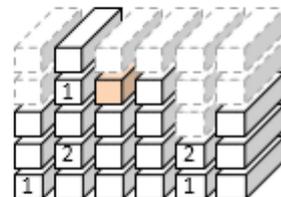
Situación actual del patio de contenedores:

0	10	0	0	0	0
10	1	0	10	0	0
10	10	10	10	0	10
10	2	10	10	2	10
1	10	10	10	1	10



Entra en mover10  
 MUEVO CONTENEDOR 10

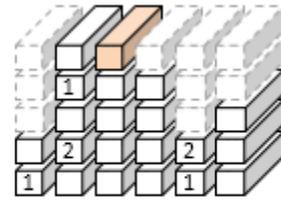
0	10	0	0	0	0
0	1	10	10	0	0
10	10	10	10	0	10
10	2	10	10	2	10
1	10	10	10	1	10



nº movimientos: 6  
 nº movimientos acumulados: 6

Entra en mover10  
MUEVO CONTENEDOR 10

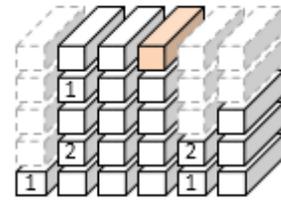
0	10	10	0	0	0
0	1	10	10	0	0
0	10	10	10	0	10
10	2	10	10	2	10
1	10	10	10	1	10



nº movimientos: 6  
nº movimientos acumulados: 12

Entra en mover10  
MUEVO CONTENEDOR 10

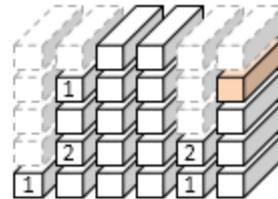
0	10	10	10	0	0
0	1	10	10	0	0
0	10	10	10	0	10
0	2	10	10	2	10
1	10	10	10	1	10



nº movimientos: 8  
nº movimientos acumulados: 20

Entra en mover10  
MUEVO CONTENEDOR 10

0	0	10	10	0	0
0	1	10	10	0	10
0	10	10	10	0	10
0	2	10	10	2	10
1	10	10	10	1	10



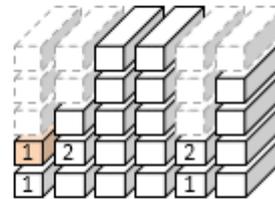
nº movimientos: 7  
nº movimientos acumulados: 27

A partir de este momento, cambia el orden de recolocación con respecto a la estrategia anterior, ya que hay que subir el contenedor 2 que está enterrado en el segundo pilar antes que subir el contenedor 1 que está situado en el quinto pilar.

Entra en mover1

MUEVO CONTENEDOR 1 a pilar con otro 1

0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	0	10
0	10	10	10	0	10
1	2	10	10	2	10
1	10	10	10	1	10



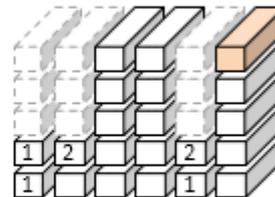
nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 34

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	0	10	10	0	10
0	0	10	10	0	10
0	0	10	10	0	10
1	2	10	10	2	10
1	10	10	10	1	10

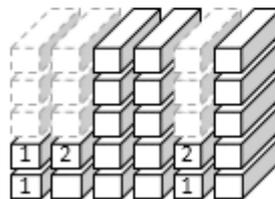


nº movimientos: 8

nº movimientos acumulados: 42

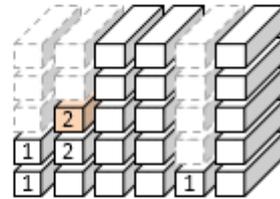
Patio después de aflorar contenedores 1 y 2 indistintamente

0	0	10	10	0	10
0	0	10	10	0	10
0	0	10	10	0	10
1	2	10	10	2	10
1	10	10	10	1	10



Entra en organizar 2

0	0	10	10	0	10
0	0	10	10	0	10
0	2	10	10	0	10
1	2	10	10	0	10
1	10	10	10	1	10



nº movimientos: 10

nº movimientos acumulados: 52

Situación final de la bahía de contenedores.

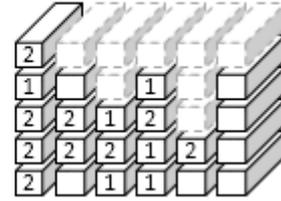
Estas han sido las cinco situaciones en las que había huecos suficientes para realizar las recolocaciones. A continuación, se presentan otros tres problemas con menor número de huecos, pero sin necesidad aún de utilizar la explanada.

### 6.1.6.Situación 6

➤ S6. Estrategia 1:

Situación actual del patio de contenedores:

2	0	0	0	0	0
1	10	0	1	0	10
2	2	1	2	0	10
2	2	2	1	2	10
2	10	1	1	10	10

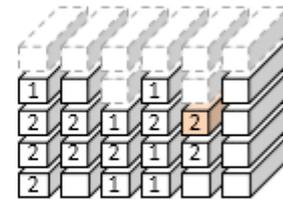


Despejar 2 de encima de un 1

No se ha podido mover a pilar con solo 2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con 2 encima de 10

0	0	0	0	0	0
1	10	0	1	0	10
2	2	1	2	2	10
2	2	2	1	2	10
2	10	1	1	10	10



nº movimientos: 8

nº movimientos acumulados: 8

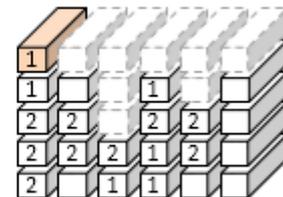
Entra en mover1

No se ha podido mover el contenedor 1 a un pilar con solo unos

No se ha podido mover el contenedor 1 a pilares con solo 2

MUEVO CONTENEDOR 1 a pilar con 1 y 2

1	0	0	0	0	0
1	10	0	1	0	10
2	2	0	2	2	10
2	2	2	1	2	10
2	10	1	1	10	10



nº movimientos: 6

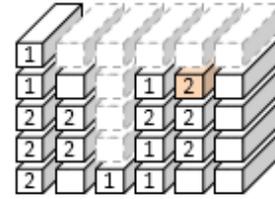
nº movimientos acumulados: 14

Despejar 2 de encima de un 1

No se ha podido mover a pilar con solo 2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con 2 encima de 10

1	0	0	0	0	0
1	10	0	1	2	10
2	2	0	2	2	10
2	2	0	1	2	10
2	10	1	1	10	10



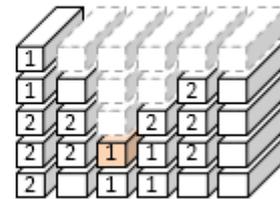
nº movimientos: 8

nº movimientos acumulados: 22

Entra en mover1

MUEVO CONTENEDOR 1 a pilar con solo 1

1	0	0	0	0	0
1	10	0	0	2	10
2	2	0	2	2	10
2	2	1	1	2	10
2	10	1	1	10	10



nº movimientos: 7

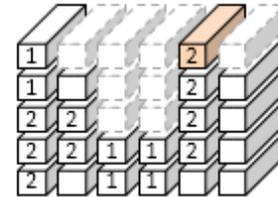
nº movimientos acumulados: 29

Despejar 2 de encima de un 1

No se ha podido mover a pilar con solo 2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con 2 encima de 10

1	0	0	0	2	0
1	10	0	0	2	10
2	2	0	0	2	10
2	2	1	1	2	10
2	10	1	1	10	10

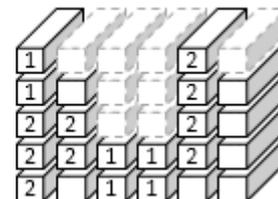


nº movimientos: 5

nº movimientos acumulados: 34

Contenedores de mayor prioridad están arriba:

1	0	0	0	2	0
1	10	0	0	2	10
2	2	0	0	2	10
2	2	1	1	2	10
2	10	1	1	10	10



Ahora unimos contenedores tipo 1:  
 Una vez que tenemos arriba los de mayor prioridad,  
 los unimos para facilitar más tarde aflorar los de  
 segunda prioridad

Pilares en los que no hay 2 ni 10:

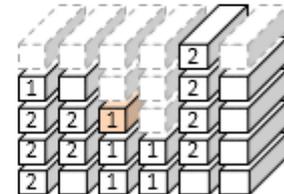
3 4

Entra en unir1\_A (donde sólo haya 1)

Número de unos en el pilar 3: 2

Número de unos en el pilar 4: 2

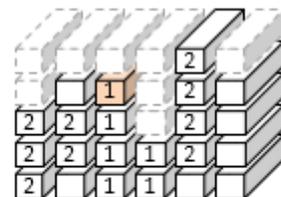
0	0	0	0	2	0
1	10	0	0	2	10
2	2	1	0	2	10
2	2	1	1	2	10
2	10	1	1	10	10



nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 40

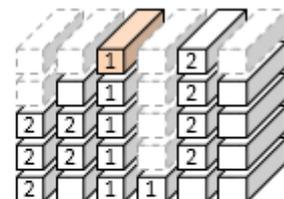
0	0	0	0	2	0
0	10	1	0	2	10
2	2	1	0	2	10
2	2	1	1	2	10
2	10	1	1	10	10



nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 46

0	0	1	0	2	0
0	10	1	0	2	10
2	2	1	0	2	10
2	2	1	0	2	10
2	10	1	1	10	10

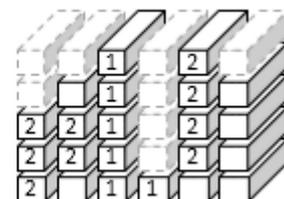


nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 52

Disposición de contenedores después de unir 1:

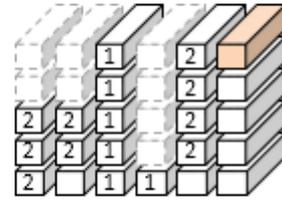
0	0	1	0	2	0
0	10	1	0	2	10
2	2	1	0	2	10
2	2	1	0	2	10
2	10	1	1	10	10



El último contenedor tipo 1, no cabe en el pilar en el que han sido unidos los demás.  
 Se queda en su posición original.

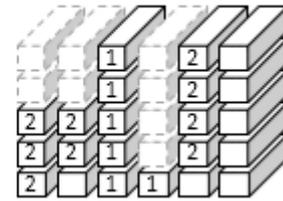
Ahora afloramos contenedores tipo 2  
 Despejar 10 de encima de un 2  
 MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	0	1	0	2	10
0	0	1	0	2	10
2	2	1	0	2	10
2	2	1	0	2	10
2	10	1	1	10	10



nº movimientos: 7  
 nº movimientos acumulados: 59  
 Contenedores de menor prioridad despejados:

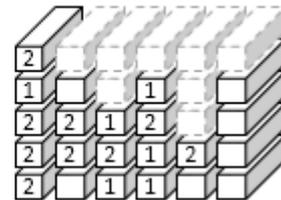
0	0	1	0	2	10
0	0	1	0	2	10
2	2	1	0	2	10
2	2	1	0	2	10
2	10	1	1	10	10



➤ **S6. Estrategia 2:**

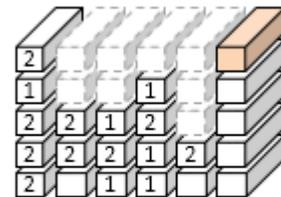
Situación actual del patio de contenedores:

2	0	0	0	0	0
1	10	0	1	0	10
2	2	1	2	0	10
2	2	2	1	2	10
2	10	1	1	10	10



Entra en mover10  
 MUEVO CONTENEDOR 10

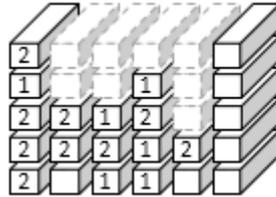
2	0	0	0	0	10
1	0	0	1	0	10
2	2	1	2	0	10
2	2	2	1	2	10
2	10	1	1	10	10



nº movimientos: 7  
 nº movimientos acumulados: 7

Patio después de aflorar contenedores 1 y 2 indistintamente

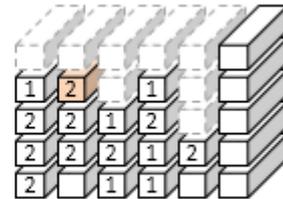
2	0	0	0	0	10
1	0	0	1	0	10
2	2	1	2	0	10
2	2	2	1	2	10
2	10	1	1	10	10



Hasta este paso han sido necesarios menos movimientos que con la estrategia de prioridades ordenadas.

Entra en organizar 2

0	0	0	0	0	10
1	2	0	1	0	10
2	2	1	2	0	10
2	2	2	1	2	10
2	10	1	1	10	10



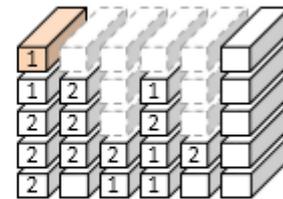
nº movimientos: 4

nº movimientos acumulados: 11

entra en mover 1

MUEVO CONTENEDOR 1 a pilar con otro 1

1	0	0	0	0	10
1	2	0	1	0	10
2	2	0	2	0	10
2	2	2	1	2	10
2	10	1	1	10	10

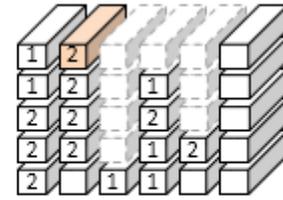


nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 17

Entra en organizar 2

1	2	0	0	0	10
1	2	0	1	0	10
2	2	0	2	0	10
2	2	0	1	2	10
2	10	1	1	10	10



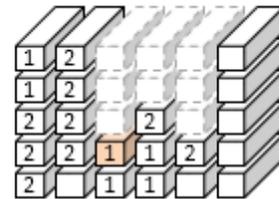
nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 23

entra en mover 1

MUEVO CONTENEDOR 1 a pilar con otro 1

1	2	0	0	0	10
1	2	0	0	0	10
2	2	0	2	0	10
2	2	1	1	2	10
2	10	1	1	10	10

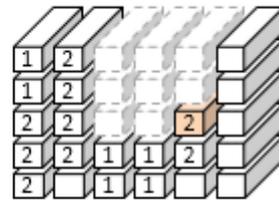


nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 30

Entra en organizar 2

1	2	0	0	0	10
1	2	0	0	0	10
2	2	0	0	2	10
2	2	1	1	2	10
2	10	1	1	10	10



nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 37

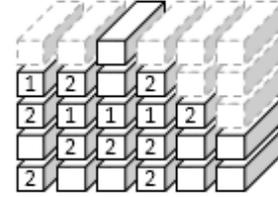
Situación final de los contenedores.

### 6.1.7.Situación 7

#### ➤ S7. Estrategia 1:

Situación actual del patio de contenedores:

0	0	10	0	0	0
1	2	10	2	0	0
2	1	1	1	2	0
10	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10

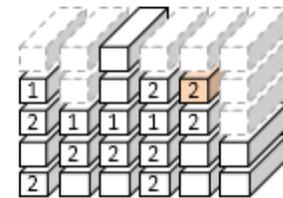


Despejar 2 de encima de un 1

No se ha podido mover a pilar con solo 2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con 2 encima de 10

0	0	10	0	0	0
1	0	10	2	2	0
2	1	1	1	2	0
10	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



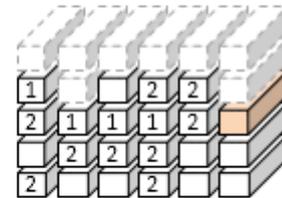
nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 7

Despejar 10 de encima de un 1

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	0	0	0	0	0
1	0	10	2	2	0
2	1	1	1	2	10
10	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



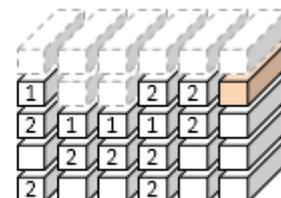
nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 14

Despejar 10 de encima de un 1

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	0	0	0	0	0
1	0	0	2	2	10
2	1	1	1	2	10
10	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



nº movimientos: 7

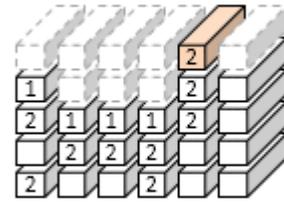
nº movimientos acumulados: 21

Despejar 2 de encima de un 1

No se ha podido mover a pilar con solo 2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con 2 encima de 10

0	0	0	0	2	0
1	0	0	0	2	10
2	1	1	1	2	10
10	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10

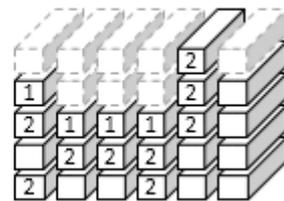


nº movimientos: 4

nº movimientos acumulados: 25

Contenedores de mayor prioridad están arriba:

0	0	0	0	2	0
1	0	0	0	2	10
2	1	1	1	2	10
10	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



Ahora unimos contenedores tipo 1:

Una vez que tenemos arriba los de mayor prioridad, los unimos para facilitar más tarde aflorar los de segunda prioridad

Pilares en los que no hay 2 ni 10:

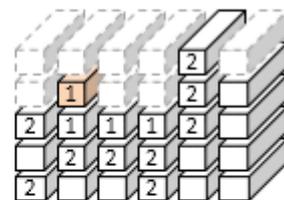
Entra en unir1\_B

Entra en unir\_Pcon2

1	2	3	4
---	---	---	---

ENTRA EN DESPLAZAR\_2

0	0	0	0	2	0
0	1	0	0	2	10
2	1	1	1	2	10
10	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10

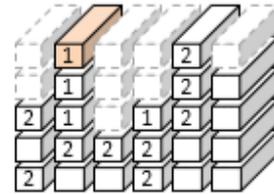


nº movimientos: 5

nº movimientos acumulados: 30

En el paso anterior, como no hay pilares con sólo contenedores 1, ni pilares vacíos, se unen en pilares en los que puede haber contenedores 1, 2 y 10, siempre que los 10 no cubran a ningún otro, y los 2 no cubran a los 1. Hay tres pilares que cumplen estas condiciones (2, 3 y 4), se mueven al primero de ellos hasta completar huecos, y si hiciera falta, continúan uniéndose en el segundo, y así sucesivamente.

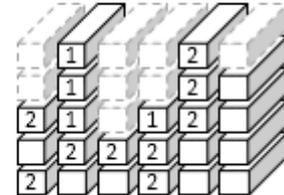
0	1	0	0	2	0
0	1	0	0	2	10
2	1	0	1	2	10
10	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



n° movimientos: 5  
 n° movimientos acumulados: 35

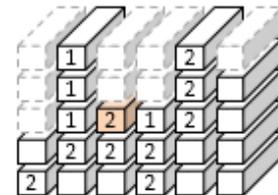
Disposición de contenedores después de unir 1:

0	1	0	0	2	0
0	1	0	0	2	10
2	1	0	1	2	10
10	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



Ahora afloramos contenedores tipo 2  
 Despejar 2 de encima de un 2  
 No se ha podido mover a pilar con solo 2  
 MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con 2 encima de 10

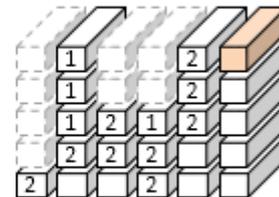
0	1	0	0	2	0
0	1	0	0	2	10
0	1	2	1	2	10
10	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



n° movimientos: 8  
 n° movimientos acumulados: 43

Despejar 10 de encima de un 2  
 MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

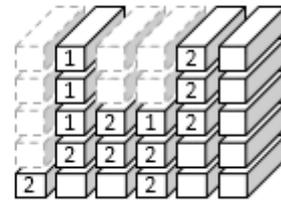
0	1	0	0	2	10
0	1	0	0	2	10
0	1	2	1	2	10
0	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



n° movimientos: 10  
 n° movimientos acumulados: 53

Contenedores de menor prioridad despejados:

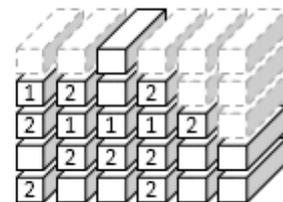
0	1	0	0	2	10
0	1	0	0	2	10
0	1	2	1	2	10
0	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



➤ S7. Estrategia 2:

Situación actual del patio de contenedores:

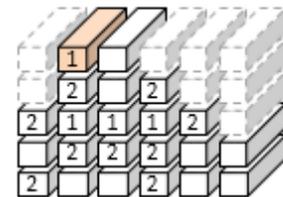
0	0	10	0	0	0
1	2	10	2	0	0
2	1	1	1	2	0
10	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



Entra en mover1

MUEVO CONTENEDOR 1 a pilar con otro 1

0	1	10	0	0	0
0	2	10	2	0	0
2	1	1	1	2	0
10	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



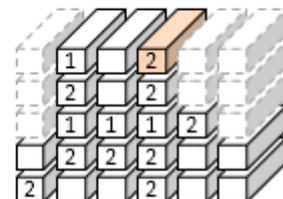
nº movimientos: 4

nº movimientos acumulados: 4

Entra en mover2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con otro 2

0	1	10	2	0	0
0	2	10	2	0	0
0	1	1	1	2	0
10	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



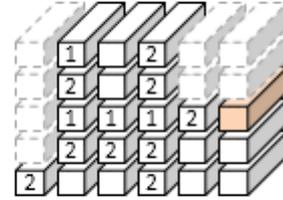
nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 11

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	1	10	2	0	0
0	2	10	2	0	0
0	1	1	1	2	10
0	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



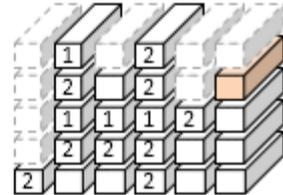
nº movimientos: 12

nº movimientos acumulados: 23

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	1	0	2	0	0
0	2	10	2	0	10
0	1	1	1	2	10
0	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 29

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	1	0	2	0	10
0	2	0	2	0	10
0	1	1	1	2	10
0	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10

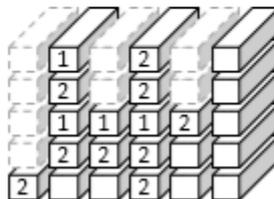


nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 35

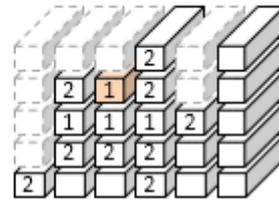
Patio después de aflorar contenedores 1 y 2 indistintamente

0	1	0	2	0	10
0	2	0	2	0	10
0	1	1	1	2	10
0	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



entra en mover 1  
 MUEVO CONTENEDOR 1 a pilar con otro 1

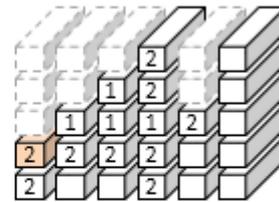
0	0	0	2	0	10
0	2	1	2	0	10
0	1	1	1	2	10
0	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



nº movimientos: 4  
 nº movimientos acumulados: 39

Entra en organizar 2

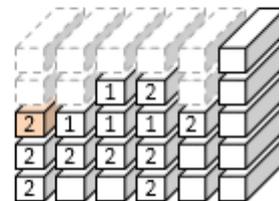
0	0	0	2	0	10
0	0	1	2	0	10
0	1	1	1	2	10
2	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



nº movimientos: 7  
 nº movimientos acumulados: 46

Entra en organizar 2

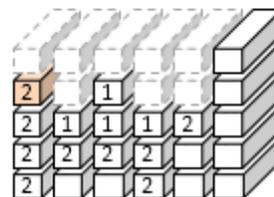
0	0	0	0	0	10
0	0	1	2	0	10
2	1	1	1	2	10
2	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



nº movimientos: 7  
 nº movimientos acumulados: 53

Entra en organizar 2

0	0	0	0	0	10
2	0	1	0	0	10
2	1	1	1	2	10
2	2	2	2	10	10
2	10	10	2	10	10



nº movimientos: 7  
 nº movimientos acumulados: 60

Finalización de la estrategia 2.

Se presentan a continuación, los tres problemas restantes que hacen uso de la explanada.

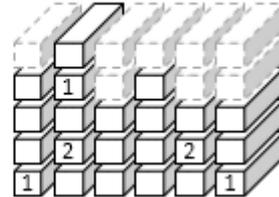
### 6.1.8.Situación 8

➤ **S8. Estrategia 1:**

Realizar unos cambios en la distribución de los contenedores de la situación 5, hace que sea necesaria la utilización de la explanada para mover algunos contenedores y conseguir aflorar los contenedores de prioridad.

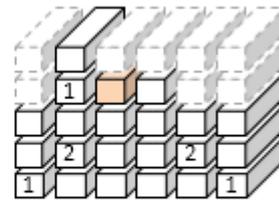
Situación actual del patio de contenedores:

0	10	0	0	0	0
10	1	0	10	0	0
10	10	10	10	10	10
10	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1



Despejar 10 de encima de un 1  
MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

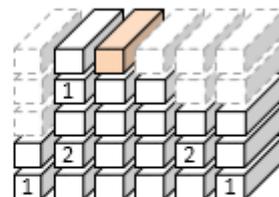
0	10	0	0	0	0
0	1	10	10	0	0
10	10	10	10	10	10
10	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1



nº movimientos: 6  
nº movimientos acumulados: 6

Despejar 10 de encima de un 1  
MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

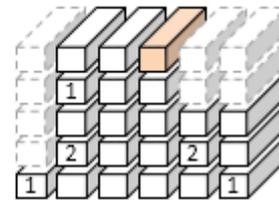
0	10	10	0	0	0
0	1	10	10	0	0
0	10	10	10	10	10
10	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1



nº movimientos: 6  
nº movimientos acumulados: 12

Despejar 10 de encima de un 1  
 MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

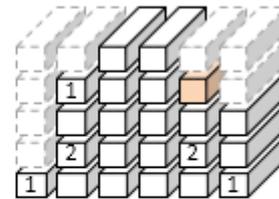
0	10	10	10	0	0
0	1	10	10	0	0
0	10	10	10	10	10
0	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1



nº movimientos: 8  
 nº movimientos acumulados: 20

Despejar 10 de encima de un 1  
 MUEVO CONTENEDOR 10 encima de otros 10 y 2

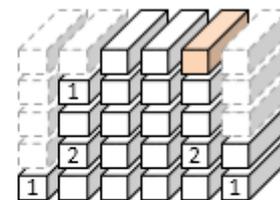
0	0	10	10	0	0
0	1	10	10	10	0
0	10	10	10	10	10
0	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1



nº movimientos: 6  
 nº movimientos acumulados: 26

Despejar 10 de encima de un 1  
 MUEVO CONTENEDOR 10 encima de otros 10 y 2

0	0	10	10	10	0
0	1	10	10	10	0
0	10	10	10	10	0
0	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1



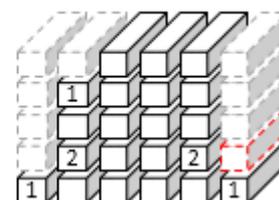
nº movimientos: 5  
 nº movimientos acumulados: 31

En la última columna sigue habiendo un contenedor que tapa a uno de prioridad, y a los pilares con huecos libres no se puede trasladar porque seguiría cubriendo a un contenedor con prioridad alta. La única opción que queda es transportarlo a la explanada.

Despejar 10 de encima de un 1

Mover a explanada

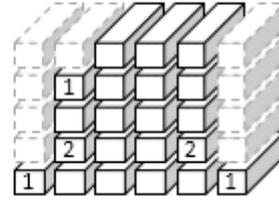
0	0	10	10	10	0
0	1	10	10	10	0
0	10	10	10	10	0
0	2	10	10	2	0
1	10	10	10	10	1



Para una mejor visualización de este paso, cada vez que se desplace un contenedor a la explanada se mostrará con línea discontinua roja.

Contenedores de mayor prioridad están arriba:

0	0	10	10	10	0
0	1	10	10	10	0
0	10	10	10	10	0
0	2	10	10	2	0
1	10	10	10	10	1



Ahora unimos contenedores tipo 1:

Una vez que tenemos arriba los de mayor prioridad, los unimos para facilitar más tarde aflorar los de segunda prioridad

Pilares en los que no hay 2 ni 10:

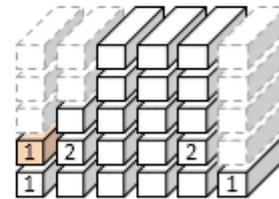
1 6

Entra en unir1\_A (donde sólo haya 1)

Número de unos en el pilar 1: 1

Número de unos en el pilar 6: 1

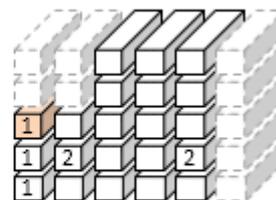
0	0	10	10	10	0
0	0	10	10	10	0
0	10	10	10	10	0
1	2	10	10	2	0
1	10	10	10	10	1



nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 38

0	0	10	10	10	0
0	0	10	10	10	0
1	10	10	10	10	0
1	2	10	10	2	0
1	10	10	10	10	0

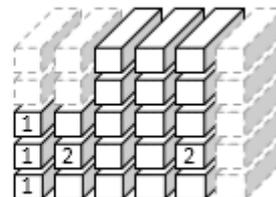


nº movimientos: 13

nº movimientos acumulados: 51

Disposición de contenedores después de unir 1:

0	0	10	10	10	0
0	0	10	10	10	0
1	10	10	10	10	0
1	2	10	10	2	0
1	10	10	10	10	0

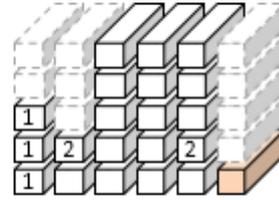


Ahora afloramos contenedores tipo 2

Despejar 10 de encima de un 2

MUEVO CONTENEDOR 10 encima de otros 10 y 2

0	0	10	10	10	0
0	0	10	10	10	0
1	0	10	10	10	0
1	2	10	10	2	0
1	10	10	10	10	10



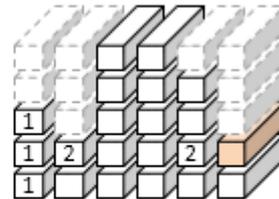
n° movimientos: 12

n° movimientos acumulados: 63

Despejar 10 de encima de un 2

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	10	0
1	0	10	10	10	0
1	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	10



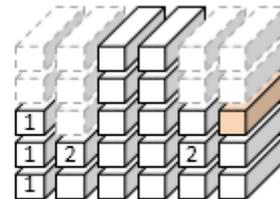
n° movimientos: 6

n° movimientos acumulados: 69

Despejar 10 de encima de un 2

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	0	0
1	0	10	10	10	10
1	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	10



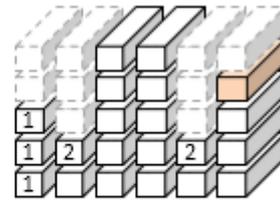
n° movimientos: 6

n° movimientos acumulados: 75

Despejar 10 de encima de un 2

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	0	10
1	0	10	10	0	10
1	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	10

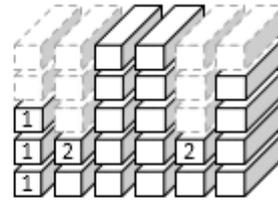


n° movimientos: 6

n° movimientos acumulados: 81

Contenedores de menor prioridad despejados:

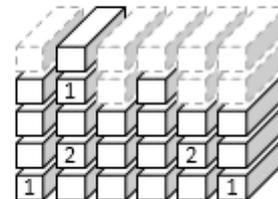
0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	0	10
1	0	10	10	0	10
1	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	10



➤ S8. Estrategia 2:

Situación actual del patio de contenedores:

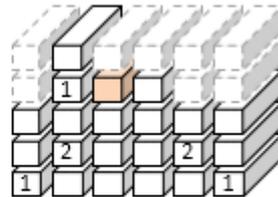
0	10	0	0	0	0
10	1	0	10	0	0
10	10	10	10	10	10
10	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1



Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	10	0	0	0	0
0	1	10	10	0	0
10	10	10	10	10	10
10	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1



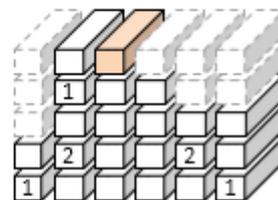
nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 6

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	10	10	0	0	0
0	1	10	10	0	0
0	10	10	10	10	10
10	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1



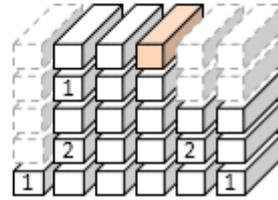
nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 12

Entra en mover10

MUEVO CONTENEDOR 10

0	10	10	10	0	0
0	1	10	10	0	0
0	10	10	10	10	10
0	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1



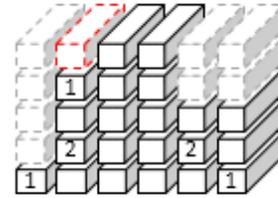
nº movimientos: 8

nº movimientos acumulados: 20

Entra en mover10

Mover a explanada

0	0	10	10	0	0
0	1	10	10	0	0
0	10	10	10	10	10
0	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1

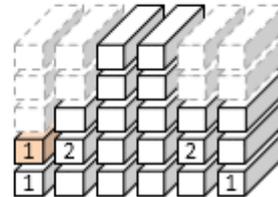


movimientos necesarios para llevar a explanada:31

Entra en mover1

MUEVO CONTENEDOR 1 a pilar con otro 1

0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	0	0
0	10	10	10	10	10
1	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1



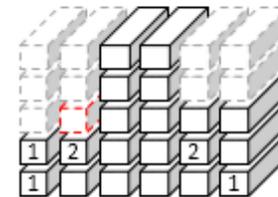
nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 27

Entra en mover10

Mover a explanada

0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	10	10
1	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1

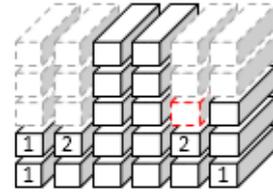


movimientos necesarios para llevar a explanada:33

Entra en mover10

Mover a explanada

0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	0	10
1	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1

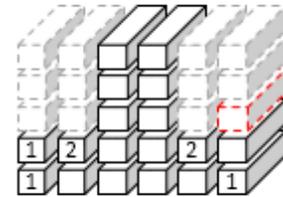


movimientos necesarios para llevar a explanada:33

Entra en mover10

Mover a explanada

0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	0	0
1	2	10	10	2	10
1	10	10	10	10	1

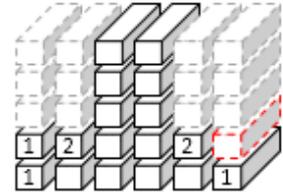


movimientos necesarios para llevar a explanada:33

Entra en mover10

Mover a explanada

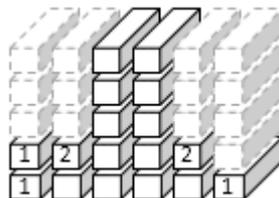
0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	0	0
1	2	10	10	2	0
1	10	10	10	10	1



movimientos necesarios para llevar a explanada:34

Patio después de aflorar contenedores 1 y 2 indistintamente

0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	0	0
0	0	10	10	0	0
1	2	10	10	2	0
1	10	10	10	10	1



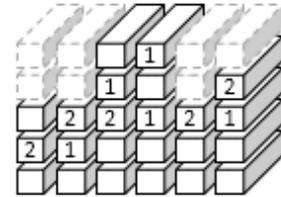
Así quedaría la situación final ya que no hay ningún contenedor 2 encima de un contenedor 1.

### 6.1.9.Situación 9

#### ➤ S9. Estrategia 1:

Situación actual del patio de contenedores:

0	0	10	1	0	0
0	0	1	10	0	2
10	2	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10

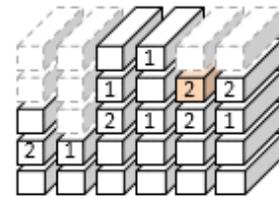


Despejar 2 de encima de un 1

No se ha podido mover a pilar con solo 2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con 2 encima de 10

0	0	10	1	0	0
0	0	1	10	2	2
10	0	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10



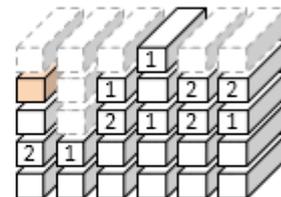
nº movimientos: 8

nº movimientos acumulados: 8

Despejar 10 de encima de un 1

MUEVO CONTENEDOR 10 encima de otros 10 y 2

0	0	0	1	0	0
10	0	1	10	2	2
10	0	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10



nº movimientos: 5

nº movimientos acumulados: 13

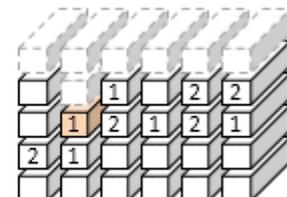
Entra en mover1

No se ha podido mover el contenedor 1 a un pilar con solo unos

No se ha podido mover el contenedor 1 a pilares con solo 2

MUEVO CONTENEDOR 1 a pilar con 1 y 10

0	0	0	0	0	0
10	0	1	10	2	2
10	1	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10



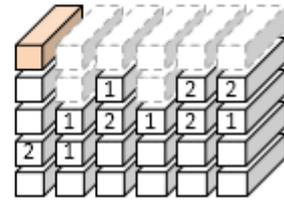
nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 19

Despejar 10 de encima de un 1

MUEVO CONTENEDOR 10 encima de otros 10 y 2

10	0	0	0	0	0
10	0	1	0	2	2
10	1	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10



nº movimientos: 6

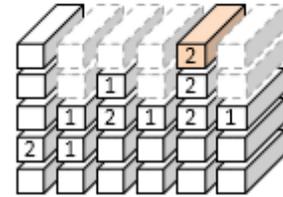
nº movimientos acumulados: 25

Despejar 2 de encima de un 1

No se ha podido mover a pilar con solo 2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con 2 encima de 10

10	0	0	0	2	0
10	0	1	0	2	0
10	1	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10

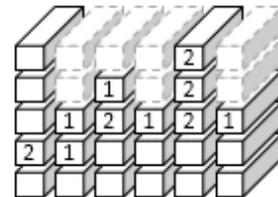


nº movimientos: 4

nº movimientos acumulados: 29

Contenedores de mayor prioridad están arriba:

10	0	0	0	2	0
10	0	1	0	2	0
10	1	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10



Ahora unimos contenedores tipo 1:

Una vez que tenemos arriba los de mayor prioridad, los unimos para facilitar más tarde aflorar los de segunda prioridad

Pilares en los que no hay 2 ni 10:

Pilares en los que no hay contenedores 2:

2 4 6

Entra en unir1\_B

Número de unos en el pilar 2: 2

Número de unos en el pilar 4: 1

Número de unos en el pilar 6: 1

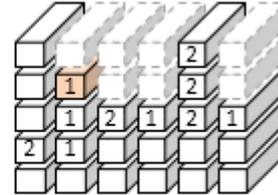
Como no hay ningún pilar en el que solo haya contenedores tipo 1 o esté vacío, se unen en pilares donde no haya contenedores tipo 2. Hay 3 pilares que cumplen esta condición, y de ellos, el pilar 2 es el que más contenedores tipo 1 tiene, por lo tanto, para realizar menos movimientos, se mueven los demás contenedores 1 a este pilar.

El número de huecos libres del pilar es dos, mientras que el número de contenedores tipo 1 que habría que desplazar es 3. Entonces, se traslada hasta completar los huecos del pilar y el otro contenedor permanece en su posición original.

El nº de huecos NO es suficiente para los contenedores a mover

Entra en desplazar "huecos"

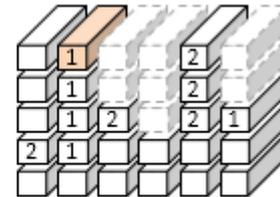
10	0	0	0	2	0
10	1	0	0	2	0
10	1	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10



nº movimientos: 5

nº movimientos acumulados: 34

10	1	0	0	2	0
10	1	0	0	2	0
10	1	2	0	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10

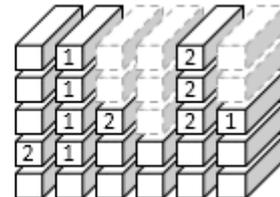


nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 40

Disposición de contenedores después de unir 1:

10	1	0	0	2	0
10	1	0	0	2	0
10	1	2	0	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10

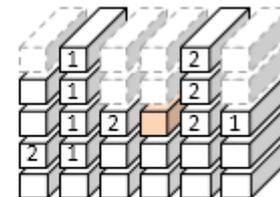


Ahora afloramos contenedores tipo 2

Despejar 10 de encima de un 2

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	1	0	0	2	0
10	1	0	0	2	0
10	1	2	10	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10

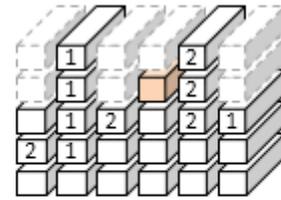


nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 47

Despejar 10 de encima de un 2  
 MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

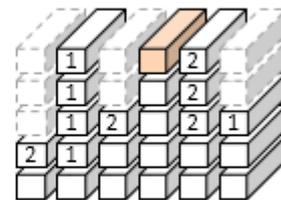
0	1	0	0	2	0
0	1	0	10	2	0
10	1	2	10	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10



nº movimientos: 7  
 nº movimientos acumulados: 54

Despejar 10 de encima de un 2  
 MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

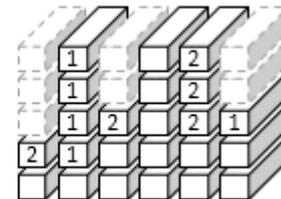
0	1	0	10	2	0
0	1	0	10	2	0
0	1	2	10	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10



nº movimientos: 7  
 nº movimientos acumulados: 61

Contenedores de menor prioridad despejados:

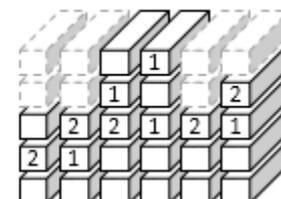
0	1	0	10	2	0
0	1	0	10	2	0
0	1	2	10	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10



➤ **S9. Estrategia 2:**

Situación actual del patio de contenedores:

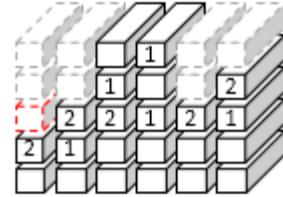
0	0	10	1	0	0
0	0	1	10	0	2
10	2	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10



Entra en mover10

Mover a explanada

0	0	10	1	0	0
0	0	1	10	0	2
0	2	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10

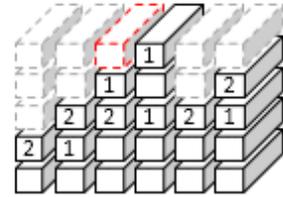


movimientos necesarios para llevar a explanada:33

Entra en mover10

Mover a explanada

0	0	0	1	0	0
0	0	1	10	0	2
0	2	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10

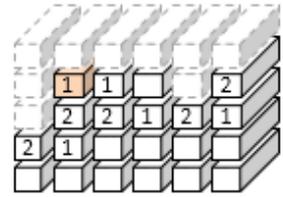


movimientos necesarios para llevar a explanada:31

Entra en mover1

MUEVO CONTENEDOR 1 a pilar con otro 1

0	0	0	0	0	0
0	1	1	10	0	2
0	2	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10



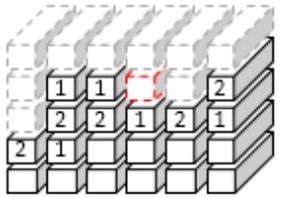
nº movimientos: 5

nº movimientos acumulados: 5

Entra en mover10

Mover a explanada

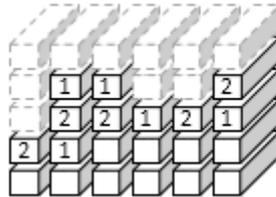
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	2
0	2	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10



movimientos necesarios para llevar a explanada:32

Patio después de aflorar contenedores 1 y 2 indistintamente

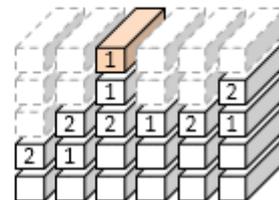
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	2
0	2	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10



entra en mover 1

MUEVO CONTENEDOR 1 a pilar con otro 1

0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	2
0	2	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10

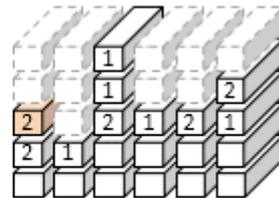


nº movimientos: 4

nº movimientos acumulados: 9

Entra en organizar 2

0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	2
2	0	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10

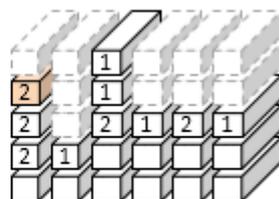


nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 16

Entra en organizar 2

0	0	1	0	0	0
2	0	1	0	0	0
2	0	2	1	2	1
2	1	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10



nº movimientos: 9

nº movimientos acumulados: 25

Se ha podido como para una misma situación, con una estrategia no ha hecho falta el uso de la explanada y para la otra sí.

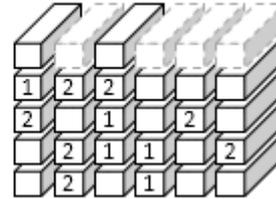
### 6.1.10. Situación 10

➤ **S10. Estrategia 1:**

La situación 10 presenta únicamente 4 huecos, por tanto se verá como la utilización de la explanada aumenta para poder recolocar todos los contenedores de prioridad.

Situación actual del patio de contenedores:

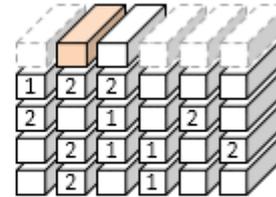
10	0	10	0	0	0
1	2	2	10	10	10
2	10	1	10	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10



Despejar 10 de encima de un 1

MUEVO CONTENEDOR 10 encima de otros 10 y 2

0	10	10	0	0	0
1	2	2	10	10	10
2	10	1	10	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10



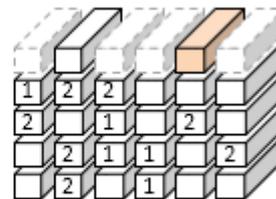
nº movimientos: 3

nº movimientos acumulados: 3

Despejar 10 de encima de un 1

MUEVO CONTENEDOR 10 encima de otros 10 y 2

0	10	0	0	10	0
1	2	2	10	10	10
2	10	1	10	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10

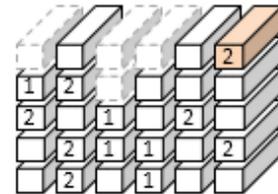


nº movimientos: 4

nº movimientos acumulados: 7

Despejar 2 de encima de un 1  
 No se ha podido mover a pilar con solo 2  
 No se ha podido mover a pilar con 2 encima de 10  
 Muevo contenedor 2 a pilares con 10 y 2

0	10	0	0	10	2
1	2	0	10	10	10
2	10	1	10	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10

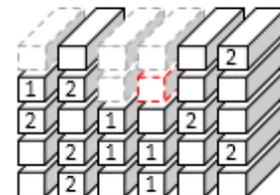


nº movimientos: 6  
 nº movimientos acumulados: 13

Despejar 10 de encima de un 1

Mover a explanada

0	10	0	0	10	2
1	2	0	0	10	10
2	10	1	10	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10

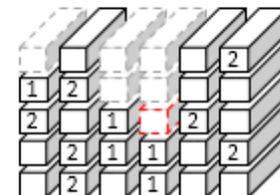


movimientos necesarios para llevar a explanada:32

Despejar 10 de encima de un 1

Mover a explanada

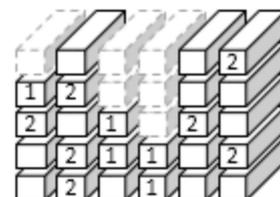
0	10	0	0	10	2
1	2	0	0	10	10
2	10	1	0	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10



movimientos necesarios para llevar a explanada:33

Contenedores de mayor prioridad están arriba:

0	10	0	0	10	2
1	2	0	0	10	10
2	10	1	0	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10



Ahora unimos contenedores tipo 1:

Una vez que tenemos arriba los de mayor prioridad, los unimos para facilitar más tarde aflorar los de segunda prioridad

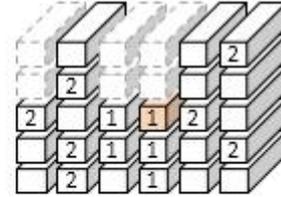
Pilares en los que no hay 2 ni 10:

4

Entra en unir1\_A (donde sólo haya 1)

Número de unos en el pilar 4: 2

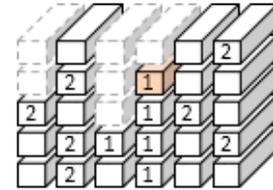
0	10	0	0	10	2
0	2	0	0	10	10
2	10	1	1	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10



nº movimientos: 8

nº movimientos acumulados: 21

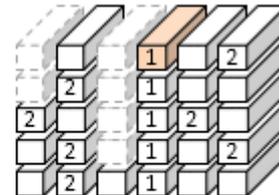
0	10	0	0	10	2
0	2	0	1	10	10
2	10	0	1	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10



nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 27

0	10	0	1	10	2
0	2	0	1	10	10
2	10	0	1	2	10
10	2	0	1	10	2
10	2	10	1	10	10

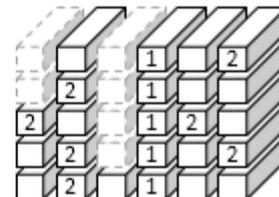


nº movimientos: 6

nº movimientos acumulados: 33

Disposición de contenedores después de unir 1:

0	10	0	1	10	2
0	2	0	1	10	10
2	10	0	1	2	10
10	2	0	1	10	2
10	2	10	1	10	10

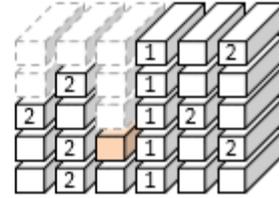


Ahora afloramos contenedores tipo 2

Despejar 10 de encima de un 2

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	0	0	1	10	2
0	2	0	1	10	10
2	10	0	1	2	10
10	2	10	1	10	2
10	2	10	1	10	10



nº movimientos: 6

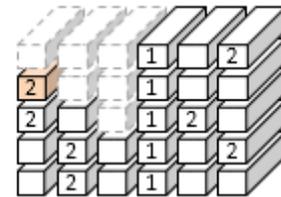
nº movimientos acumulados: 39

Despejar 2 de encima de un 2

No se ha podido mover a pilar con solo 2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con 2 encima de 10

0	0	0	1	10	2
2	0	0	1	10	10
2	10	0	1	2	10
10	2	10	1	10	2
10	2	10	1	10	10



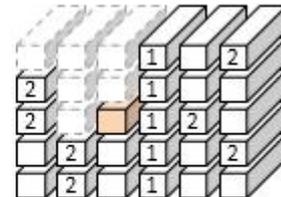
nº movimientos: 5

nº movimientos acumulados: 44

Despejar 10 de encima de un 2

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	0	0	1	10	2
2	0	0	1	10	10
2	0	10	1	2	10
10	2	10	1	10	2
10	2	10	1	10	10



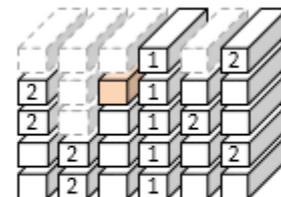
nº movimientos: 7

nº movimientos acumulados: 51

Despejar 10 de encima de un 2

MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

0	0	0	1	0	2
2	0	10	1	10	10
2	0	10	1	2	10
10	2	10	1	10	2
10	2	10	1	10	10

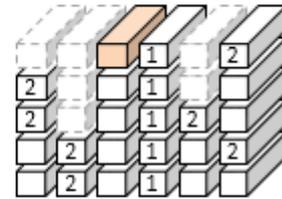


nº movimientos: 5

nº movimientos acumulados: 56

Despejar 10 de encima de un 2  
 MUEVO CONTENEDOR 10 ENCIMA DE OTROS 10

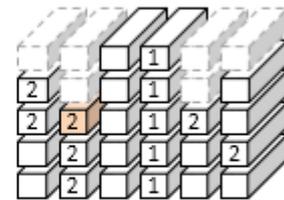
0	0	10	1	0	2
2	0	10	1	0	10
2	0	10	1	2	10
10	2	10	1	10	2
10	2	10	1	10	10



n° movimientos: 5  
 n° movimientos acumulados: 61

Despejar 2 de encima de un 2  
 MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con solo 2

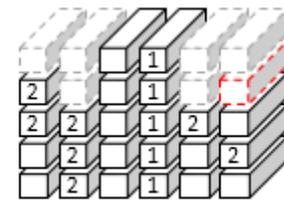
0	0	10	1	0	0
2	0	10	1	0	10
2	2	10	1	2	10
10	2	10	1	10	2
10	2	10	1	10	10



n° movimientos: 8  
 n° movimientos acumulados: 69

Despejar 10 de encima de un 2  
 Mover a explanada

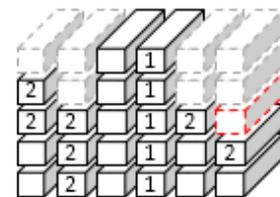
0	0	10	1	0	0
2	0	10	1	0	0
2	2	10	1	2	10
10	2	10	1	10	2
10	2	10	1	10	10



movimientos necesarios para llevar a explanada:32

Despejar 10 de encima de un 2  
 Mover a explanada

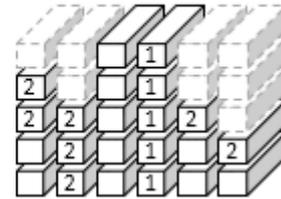
0	0	10	1	0	0
2	0	10	1	0	0
2	2	10	1	2	0
10	2	10	1	10	2
10	2	10	1	10	10



movimientos necesarios para llevar a explanada:33

Contenedores de menor prioridad despejados:

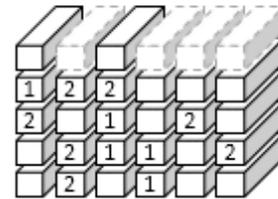
0	0	10	1	0	0
2	0	10	1	0	0
2	2	10	1	2	0
10	2	10	1	10	2
10	2	10	1	10	10



➤ S10. Estrategia 2:

Situación actual del patio de contenedores:

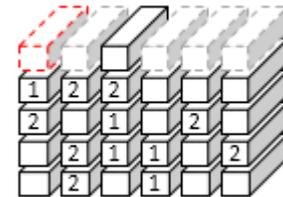
10	0	10	0	0	0
1	2	2	10	10	10
2	10	1	10	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10



Entra en mover10

Mover a explanada

0	0	10	0	0	0
1	2	2	10	10	10
2	10	1	10	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10

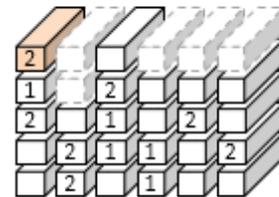


movimientos necesarios para llevar a explanada:31

Entra en mover2

MUEVO CONTENEDOR 2 a pilar con otro 2

2	0	10	0	0	0
1	0	2	10	10	10
2	10	1	10	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10

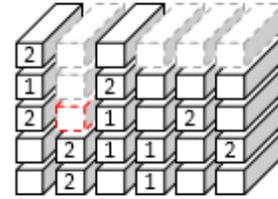


nº movimientos: 4

nº movimientos acumulados: 4

Entra en mover10  
Mover a explanada

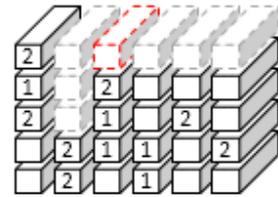
2	0	10	0	0	0
1	0	2	10	10	10
2	0	1	10	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10



movimientos necesarios para llevar a explanada:33

Entra en mover10  
Mover a explanada

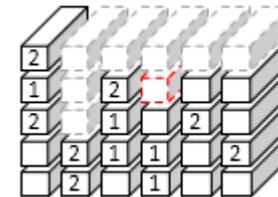
2	0	0	0	0	0
1	0	2	10	10	10
2	0	1	10	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10



movimientos necesarios para llevar a explanada:31

Entra en mover10  
Mover a explanada

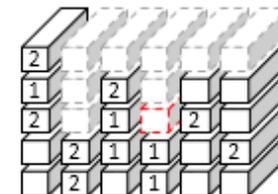
2	0	0	0	0	0
1	0	2	0	10	10
2	0	1	10	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10



movimientos necesarios para llevar a explanada:32

Entra en mover10  
Mover a explanada

2	0	0	0	0	0
1	0	2	0	10	10
2	0	1	0	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10

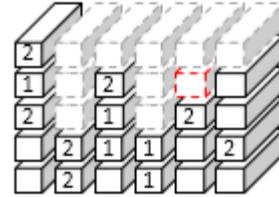


movimientos necesarios para llevar a explanada:33

Entra en mover10

Mover a explanada

2	0	0	0	0	0
1	0	2	0	0	10
2	0	1	0	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10

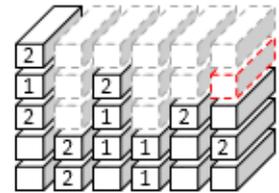


movimientos necesarios para llevar a explanada:32

Entra en mover10

Mover a explanada

2	0	0	0	0	0
1	0	2	0	0	0
2	0	1	0	2	10
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10

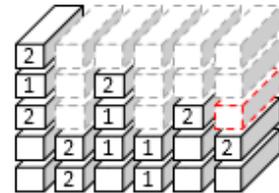


movimientos necesarios para llevar a explanada:32

Entra en mover10

Mover a explanada

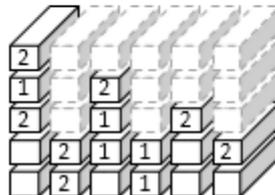
2	0	0	0	0	0
1	0	2	0	0	0
2	0	1	0	2	0
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10



movimientos necesarios para llevar a explanada:33

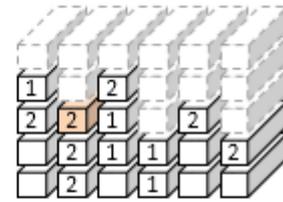
Patio después de aflorar contenedores 1 y 2 indistintamente

2	0	0	0	0	0
1	0	2	0	0	0
2	0	1	0	2	0
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10



Entra en organizar 2

0	0	0	0	0	0
1	0	2	0	0	0
2	2	1	0	2	0
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10

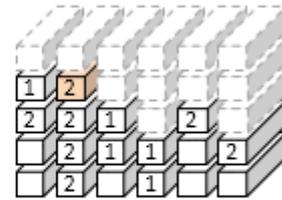


nº movimientos: 5

nº movimientos acumulados: 9

Entra en organizar 2

0	0	0	0	0	0
1	2	0	0	0	0
2	2	1	0	2	0
10	2	1	1	10	2
10	2	10	1	10	10



nº movimientos: 5

nº movimientos acumulados: 14

Ubicaciones finales de los contenedores.

## 6.2. Representación de resultados

Una vez resueltos los 10 casos anteriores, se procede a continuación a mostrar los resultados para comprobar la efectividad de las estrategias. De este modo se comparan los resultados obtenidos, tanto de movimientos como de tiempo, para las dos heurísticas diseñadas.

En la *Tabla 3* se recogen los resultados del número de movimientos realizados en la recolocación de las 10 situaciones planteadas. Para una mejor comparación se muestra además la descomposición del total de estos movimientos.

Tabla 3. Número de movimientos para cada situación según la estrategia aplicada

	Estrategia 1			Estrategia 2		
	$\sum_{\forall i} N_i$	$\sum_{\forall j} N_{expj}$	<i>Ntotal</i>	$\sum_{\forall i} N_i$	$\sum_{\forall j} N_{expj}$	<i>Ntotal</i>
<b>S1</b>	66	-	66	42	-	40
<b>S2</b>	68	-	68	37	-	37
<b>S3</b>	62	-	62	64	-	64
<b>S4</b>	67	-	67	31	-	31
<b>S5</b>	63	-	63	52	-	52
<b>S6</b>	59	-	59	37	-	37
<b>S7</b>	53	-	53	60	-	60
<b>S8</b>	81	34	115	27	164	191
<b>S9</b>	61	-	61	25	96	121
<b>S10</b>	69	130	199	14	257	271

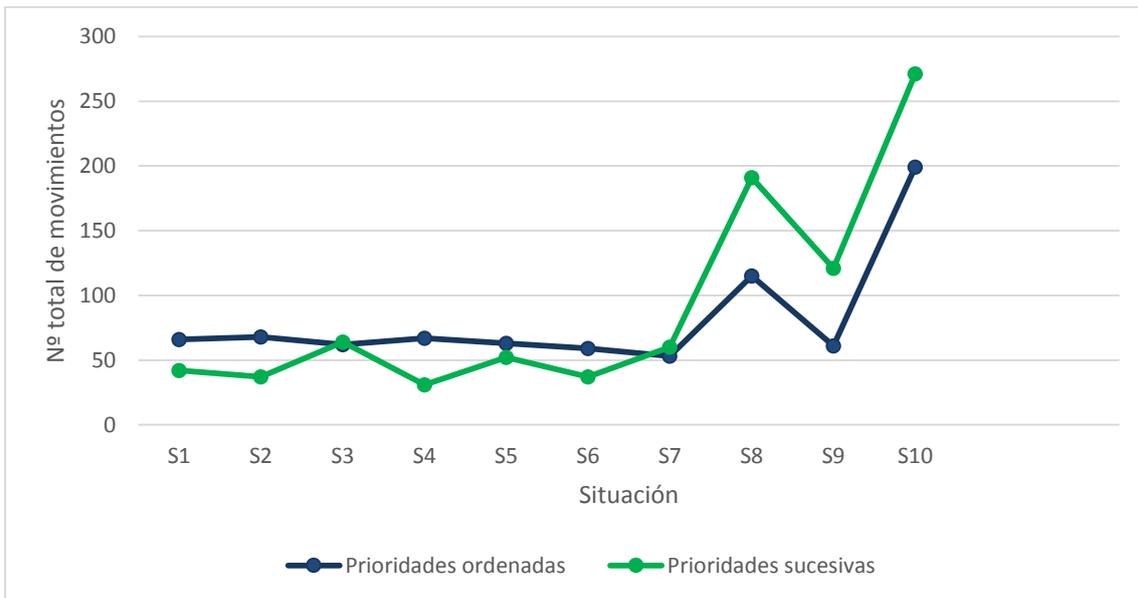


Fig. 22. Nº total de movimientos necesarios según la estrategia utilizada en cada situación

Como se puede ver en la Fig. 22, la estrategia de prioridades ordenadas permanece prácticamente constante en las situaciones en las que no es necesario el uso de explanada. En cambio, la estrategia de prioridades sucesivas presenta más variación en este tramo a pesar de que las situaciones resueltas por ambas son las mismas.

En estas situaciones sin uso de explanada, se puede observar que la segunda heurística es de media más eficiente que la primera, al realizar menor número de movimientos. Esto se debe a que en la resolución por “*prioridades sucesivas*”, a priori no importa tener contenedores de prioridad baja encima de los de alta. Mientras que en “*prioridades ordenadas*”, el afloramiento de contenedores de prioridad alta limita el número de pilares a los que pueden ser desplazados los contenedores, al no poder quedar un contenedor de prioridad alta tapado.

Sin embargo, cuando es necesario utilizar la explanada, sucede lo contrario. Ahora la segunda estrategia se vuelve más ineficiente debido sobre todo a que cuando es necesario desplazar un contenedor sin prioridad, debe haber pilares vacíos o con sólo contenedores de este tipo para poder almacenarlo. La situación 9 muestra claramente este hecho, al no tener que utilizar la estrategia de prioridades ordenadas explanada pero la de prioridades sucesivas sí.

Por último, como refleja la situación 10, el uso de la explanada aumenta extremadamente cuando hay muy pocos huecos en el patio de contenedores.

Una vez analizados los movimientos necesarios para la recolocación de los contenedores, en la *Tabla 4* se recogen los resultados de los tiempos empleados para realizar estos movimientos.

Tabla 4. Tiempo empleado en cada situación según la estrategia aplicada

	Estrategia 1			Estrategia 2		
	$\sum_{\forall i} t_i$	$\sum_{\forall j} t_{exp_j}$	$T_{total}$	$\sum_{\forall i} t_i$	$\sum_{\forall j} t_{exp_j}$	$T_{total}$
<b>S1</b>	114	-	114	72	-	72
<b>S2</b>	116	-	116	67	-	67
<b>S3</b>	110	-	110	118	-	118
<b>S4</b>	121	-	121	61	-	61
<b>S5</b>	111	-	111	94	-	94
<b>S6</b>	113	-	113	73	-	73
<b>S7</b>	101	-	101	114	-	114
<b>S8</b>	147	40	187	51	194	245
<b>S9</b>	121	-	121	49	114	163
<b>S10</b>	141	154	295	32	305	337

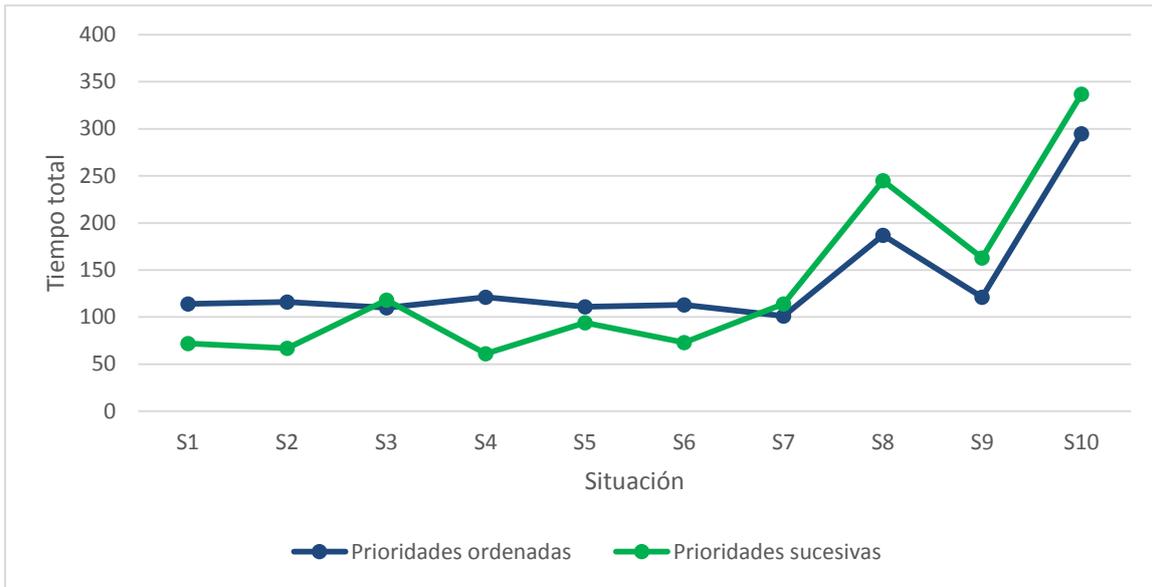


Fig. 23. Tiempo total necesario para cada situación según estrategia

Al ser lineal al número de movimientos la expresión para el cálculo del tiempo, la tendencia de ambas estrategias mostrada en la *Fig. 23* es la misma que en la *Fig. 22*.

A pesar de la gran diferencia en el número de movimientos según la estrategia utilizada en las situaciones con explanada, este gráfico muestra como los tiempos no difieren tanto en esas disposiciones de contenedores. Esto se debe en parte a que los contenedores que son trasladados a la explanada, aunque su desplazamiento es mucho mayor, no vuelven a la bahía para ser recolocados.

## ***7. Conclusiones***

## **7. Conclusiones**

En este trabajo se ha resuelto el problema de la recolocación de contenedores de una terminal portuaria, catalogado en la literatura como NP-Duro. Concretamente, se han llevado a cabo dos heurísticas para la resolución del mismo, que difieren en el modo de recolocación de los contenedores.

En un principio, el desarrollo del trabajo consta de un primer proceso de documentación acerca de los aspectos más relevantes de los puertos y un segundo proceso de información acerca de la problemática existente en la recolocación de contenedores.

En la primera parte destacan los antecedentes históricos, los principales tipos de terminales de contenedores que existen y los subsistemas por los que está formado. Del mismo modo, se realiza un análisis general de uno de los anteriores subsistemas, en concreto, de la zona de almacenaje, lugar donde existe la problemática en cuestión y por tanto, objeto de este proyecto.

Además, se expone una breve información tanto de la estructura de la zona como de los tipos de contenedores y equipos de manipulación utilizados en ella.

Posteriormente, se informa sobre la problemática y limitaciones existentes a la hora de asignar a un contenedor una nueva ubicación. La literatura sobre ello es diversa, en este proyecto se ha utilizado un modelo matemático basado en grafos, para una mejor comprensión del mismo.

Una vez analizada la solución propuesta por el modelo de grafos, el trabajo continúa con el desarrollo de dos estrategias a seguir para solventar el problema de recolocación.

Para ello, se parte de una serie de hipótesis, las cuales establecen un conjunto de objetivos específicos a cumplir por las estrategias anteriores.

A continuación, con la ayuda del programa Matlab, se ha implementado el algoritmo de las dos heurísticas para diez situaciones iniciales del patio de contenedores. En la realidad, son diversos los tipos de contenedores que pueden permanecer apilados en la zona de almacenaje. Cada uno de ellos tienen sus propias especificaciones y limitaciones del lugar donde puede almacenarse, pero en este trabajo, por simplicidad, se han considerado que todos los contenedores son del mismo tipo y dimensiones.

Seguidamente se presentan y analizan los resultados obtenidos en cada una de las diez situaciones para comparar la efectividad de las dos estrategias propuestas valorando si la solución aportada responde a las expectativas del proyecto.

Los resultados obtenidos se recogen en dos gráficas que intentan reflejar el comportamiento de las dos heurísticas utilizadas. Observando dichas gráficas se obtienen las siguientes conclusiones:

- La heurística de prioridades ordenadas es más eficiente para los casos en los que no es necesario el uso de explanada, ya que realiza menor número de movimientos.
- La heurística de prioridades sucesivas es mejor utilizarla en casos en los que no se puede evitar el uso de la explanada.
- Llevar un contenedor a la explanada aumenta considerablemente el número de movimientos necesarios para realizar esta acción.
- En casos en los que la complejidad de la situación inicial de los contenedores es alta, es decir, hay pocos huecos y muchos contenedores con prioridad enterrados, se incrementa el número de movimientos sobre todo debido a la necesidad del uso de la explanada porque no hay huecos suficientes a los que mover los contenedores.
- Debido a las hipótesis utilizadas para reducir la complejidad del problema real, el tiempo en realizar los movimientos del contenedor es directamente proporcional al número de estos.
- Las condiciones impuestas en las heurísticas no son lo suficientemente óptimas para resolver la gran variedad de posibilidades que se pueden plantear en la realidad.

El objetivo principal del proyecto se considera cumplido, ya que se ha conseguido desarrollar dos estrategias capaces de solventar el problema de recolocación. Pero tras la implementación de las diez situaciones se han observado posibles mejoras en el desarrollo de las heurísticas que pueden dar lugar a futuras líneas de trabajo.

En primer lugar, las estrategias utilizadas minimizan el número de movimientos realizados de manera que no recolocan un contenedor en una posición aleatoria, sino que siguen ciertas pautas. Pero un aspecto que mejoraría la eficiencia de ambas estrategias sería no tener que buscar un pilar al que trasladarlos de izquierda a derecha como se hace actualmente.

Es decir, las heurísticas desarrolladas, mueven los contenedores al primer pilar, empezando por la izquierda de la bahía de contenedores, que cumplan unas determinadas características.

Si en lugar de proceder de tal modo, los contenedores se trasladan al pilar, que cumpla las características necesarias, más cercano a la posición a la que se encuentra originalmente, disminuirá notablemente el número de movimientos necesarios para realizar esta acción y como consecuencia el tiempo empleado.

Una posible línea de trabajo relacionada con la implantación de esta mejora, sería utilizar estas heurísticas basándose en una búsqueda de vecindario con un algoritmo tabú.

En segundo lugar, se podría analizar cómo actuarían ambas heurísticas si en vez de tener dos posibles prioridades en los contenedores, estos tuvieran hasta tres o más grados de prioridad.

Por último, otra posible línea de trabajo, podría ser tener contenedores de más de un tipo, por ejemplo frigoríficos, de mercancía peligrosa, etc., atendiendo a las especificaciones del lugar de almacenamiento que esto supone, ya que necesitan zonas específicas para su apilamiento.

## ***8. Referencias***

## 8. Referencias

1. Arango, C (2010). *Planificación de terminales portuarias de contenedores*. Trabajo Fin de Máster. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla
2. Attaway, S (2013). *MATLAB: a practical introduction to programming and problem solving* (3<sup>rd</sup> ed.) Butterworth-Heinemann. Amsterdam
3. Baila, J (2013) *La revolución del contenedor en el transporte de mercancías*. <http://www.moveiter.com/2013/03/la-revolucion-del-contenedor-en-el.html>. Último acceso: 24 de Mayo de 2014
4. Chapman, S.J (2009). *Essential of Matlab Programming*. Cengage Learning. USA
5. Expósito, C., Melián B., Moreno, J. M. (2012). *Una heurística eficaz para problemas de pre-marshalling en una terminal marítima de contenedores*. Congreso Español sobre metaheurísticas, algoritmos evolutivos y bioinspirados. Albacete
6. Fernández, L. (2009). *Evolución del transporte marítimo internacional. aplicación al mediterráneo occidental*. Conferencia XXVII Semana estudios del mar. Granada
7. Gilat, A (2006) *Matlab: una introducción con ejemplos prácticos*. Reverté. Barcelona.
8. González, R (2006). *Manual de estiba para mercancías sólidas*. Ediciones Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona
9. ISO. International Organization for Standardization: <http://www.iso.org/iso/en/ISOOnline.frontpage>. Último acceso: 1 de Junio de 2014
10. Martin, E (2008). *Características Operativas de una terminal de contenedores*. <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5906/5/04.pdf>. Último acceso: 11 de Junio de 2014
11. Moreno, J (2009). *La revolución del contenedor*. <http://naucher.blogspot.com.es/2009/03/la-revolucion-del-contenedor.html>. Último acceso: 25 de Mayo de 2014
12. Moore, H (2007). *MATLAB para ingenieros*. Pearson Educación. México

13. Gheith, M.S., El-Tawil, A.B., Harraz, N.A (2013). *The 19th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. Springer-Verlag. Berlín.
14. Pérez, C. (2011). *Matlab a través de ejemplos*. Garceta Grupo Editorial. Madrid
15. Rúa, C. (2006). *Los puertos en el transporte marítimo*. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona
16. Yepes, V. *Manipulación de contenedores en puertos*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia
17. Yusin, L., Nai-Yun, H. (2007). An optimization model for the container pre-marshalling problem. *Computers and Operations Research*. Volume 34, Número 11, Páginas 3295-3313
18. Yusin L., Shih-Liang, C. (2009). A neighborhood search heuristic for pre-marshalling export containers. *European Journal of Operational Research*. Volume 196, Número 2, Páginas 468–475

