

# Resumen

En las últimas décadas, el rápido crecimiento del transporte de mercancía contenerizada ha planteado grandes retos a la eficiencia portuaria. La optimización de operaciones se ha vuelto crucial para minimizar los costes de puertos y navieras y reducir el impacto medioambiental.

La organización y gestión del patio del puerto son esenciales para garantizar la eficiencia del puerto, ya que se utiliza para almacenar contenedores y conecta todas las zonas y actividades portuarias. Este entorno dinámico exige estrategias efectivas para colocar y retirar contenedores. Al estar apilados, retirar un contenedor puede requerir mover otros que estén encima a otras pilas, lo que ralentiza la retirada. Estos movimientos se pueden evitar ordenando los contenedores de antemano en un proceso conocido como *premarshalling*.

El problema clásico de optimización asociado al premarshalling, que trata de encontrar el mínimo número de recolocaciones necesarias para ordenar los contenedores, se basa en varias asunciones poco realistas. Esta tesis pretende facilitar la aplicación práctica del premarshalling reformulando algunas de estas asunciones.

Los contenedores del patio se organizan en grupos llamados bahías, y el problema de premarshalling se centra en organizar una bahía de contenedores cada vez. La formulación clásica solo permite recolocaciones dentro de la bahía que se está ordenando, pero esta no es una limitación real en la práctica. Proponemos una nueva versión del problema en la que los contenedores se pueden mover a una bahía adyacente para facilitar el proceso de ordenación.

Otro aspecto poco realista de la formulación clásica es su objetivo. En literatura previa se muestra que minimizar el tiempo empleado por la grúa durante el premarshalling conduce a soluciones más eficientes que minimizar el número de recolocaciones. Esta tesis va más allá de la incorporación de tiempos de grúa y asume la disponibilidad limitada de la grúa. Mientras que la formulación original no proporciona una solución cuando el tiempo necesario para completar el premarshalling excede la disponibilidad de la grúa, definimos una nueva formulación que proporciona un premarshalling completo cuando el tiempo lo permite y parcial cuando no. Definir buenas ordenaciones parciales es un reto, así que exploramos tres estrategias alternativas.

El estudio de estas variantes del problema requería un método de resolución simple que pudiera adaptarse fácilmente a diversas asunciones y proporcionar soluciones óptimas para la validación del problema. Para cumplir con tales requerimientos, proponemos un método de resolución que combina el uso de un solver de programación por restricciones con algoritmos sencillos y fáciles de implementar. La programación por restricciones ha recibido muy poca atención en la literatura de premarshalling, a pesar de haber demostrado un buen rendimiento resolviendo problemas combinatorios en diversos campos. Esta tesis revela la eficacia de esta técnica para el problema de premarshalling al proporcionar modelos de programación por restricciones que superan a los métodos de programación matemática de vanguardia.

En líneas generales, esta tesis pretende acercar la formulación matemática del problema de premarshalling a su aplicación en el mundo real. Para ello, aborda tanto aspectos teóricos como técnicos. Desde el punto de vista teórico, introduce nuevas variantes del problema que suponen un notable avance hacia una formulación más realista. Desde el punto de vista técnico, presenta modelos de programación por restricciones que demuestran la eficacia de esta técnica sobre el problema de premarshalling.