

Resumen

A pesar de la continua evolución de los ordenadores y en la tecnología de la información, los problemas combinatorios de optimización del mundo real son problemas NP, en particular del dominio de la planificación y *scheduling*. Por eso, aunque técnicas exactas del campo de la investigación operativa, como la Programación Lineal, podrían ser aplicadas para resolver estos problemas de optimización, éstas son difíciles de aplicar a escenarios del mundo real ya que normalmente requieren demasiado tiempo de cómputo, por ejemplo, se requiere una solución optimizada en un tiempo de cómputo asequible. Además, los responsables a menudo se enfrentan a diferentes y típicamente objetivos opuestos, convirtiéndose en problemas de optimización multi-objetivo. Por lo tanto, técnicas aproximadas del campo de la Inteligencia Artificial (IA) normalmente se emplean para resolver los problemas del mundo real. Las técnicas de la IA proporcionan representaciones más ricas y flexibles del mundo real (Gomes 2000), y son ampliamente utilizados para resolver este tipo de problemas. Las técnicas heurísticas de IA no garantizan la solución óptima, sino que proporcionan soluciones cercanas a la óptima en un tiempo razonable. Estas técnicas se dividen en dos grandes grupos de clases de algoritmos: los métodos constructivos y los métodos de búsqueda local (Aarts and Lenstra 2003). Estos pueden guiar sus procesos de búsqueda a través de heurísticas o metaheurísticas dependiendo de como ellos escapan de los óptimos locales (Blum and Roli 2003). Haciendo referencia a los problemas de optimización multi-objetivo, el uso de las técnicas de IA pasan a ser imprescindibles debido a la complejidad de estos problemas (Coello Coello 2006).

Actualmente, el punto de vista para las tareas de planificación y *scheduling* ha cambiado. Debido a que el mundo real es incierto, impreciso y no determinístico, puede haber información desconocida, fallos, incidencias o cambios que convierten los planes iniciales inválidos. Por eso, hay una nueva tendencia para hacer frente a estos aspectos en las técnicas de optimización y buscar soluciones robustas (*schedules*) (Lambrechts, Demeulemeester, and Herroelen 2008).

De esta manera, estos problemas de optimización se vuelven más difíciles ya que una nueva función objetivo (medida de robustez) debe ser tomada en cuenta durante la búsqueda de solución. Por lo tanto, el concepto de robustez se ha estudiado y una medida de ro-

bustez general ha sido desarrollado para cualquier problema de *scheduling* (como Job Shop Problem, Open Shop Problem, Railway Scheduling o Vehicle Routing Problem). Con este fin, en esta tesis, algunas técnicas se han desarrollado para mejorar la búsqueda de soluciones optimizadas y robustas en problemas de planificación y *scheduling*. Estas técnicas ofrecen asistencia a los responsables para ayudar en las tareas de planificación y *scheduling*, determinar las consecuencias de los cambios, proporcionar asistencia para la resolución de incidentes, proporcionan planes alternativos, etc.

Como caso de estudio para evaluar el comportamiento de las técnicas desarrolladas, esta tesis se centra en problemas relacionados con terminales de contenedores. Las terminales de contenedores sirven como zona de transbordo entre los buques y otros medios de transporte (trenes o camiones). En (Henesey 2006a), se muestra como este mercado de transbordo ha crecido rápidamente. Las terminales de contenedores son sistemas abiertos con tres áreas distinguibles: el área del muelle, el patio de contenedores, y el área de la puerta de entrada y recepción de la terminal. Cada área presenta diferentes problemas de planificación y *scheduling* que deben ser optimizados (Stahlbock and Voß 2008). Por ejemplo, la asignación de muelles, la asignación de grúas, la planificación de la estiba de los buques, la planificación de las grúas deben ser gestionados en la zona del muelle; el problema del apilamiento de contenedores, la planificación de las grúas del patio y las operaciones del transporte horizontal deben ser llevados a cabo en el área del patio de contenedores; y, las operaciones con el interior del país deben ser resueltas en el área de la puerta de la terminal.

Las tareas de las terminales de contenedores tienen lugar en un entorno susceptible de fallos o incidencias. Por ejemplo, el motor de una grúa del muelle podría dejar de funcionar y necesitaría ser revisado, retrasando esta tarea una o dos horas. De ese modo, el concepto de robustez puede ser incluido en las técnicas de *scheduling* para tener en cuenta algunas incidencias y devolver un conjunto de planes robustos.

En esta tesis, se ha desarrollado un nuevo planificador dependiente del dominio a fin de obtener soluciones más eficientes en el problema genérico de la remoción de contenedores. Las heurísticas y criterios de optimización de planificación desarrollados han sido evaluados en problemas realistas y resultan aplicables para el problema genérico de remoción en escenarios del mundo de bloques.

Adicionalmente, se ha desarrollado un modelo de *scheduling*, aplicando técnicas metaheurísticas constructivas, sobre un complejo problema que combina secuencias de escenarios con distintas tipologías de recursos (Berth Allocation, Quay Crane Assignment, and Container Stacking problems). Estos problemas habitualmente son resueltos de forma desajunta y su integración permite obtener soluciones más optimizadas.

Por otra parte, a fin de tratar las incidencias y cambios que surgen en entornos dinámicos del mundo real, se ha desarrollado un modelo de robustez para tareas de *scheduling*. Este modelo se ha aplicado sobre esquemas metaheurísticos, basados en algoritmos genéticos.

La extensión de dichos esquemas, incorporando el modelo de robustez desarrollado, permite evaluar y obtener soluciones más robustas. Este criterio, combinado con el clásico criterio de optimalidad de los problemas de *scheduling*, permite obtener, de forma eficiente, soluciones optimizadas capaces de soportar un mayor grado de incidencias que ocurren en escenarios dinámicos. De esta forma, se aplica una aproximación proactiva al problema que surge con la presencia de incidencias y cambios, que ocurren en los típicos problemas de *scheduling* de un mundo real dinámico.