2. PLANIFICACIÓN OPERACIONAL DE LA CAPACIDAD CON RESTRICCIONES DE TIEMPO

2.1. Introducción.

El problema de la planificación operacional de la capacidad en sistemas logísticos con restricciones de tiempo, al que a partir de ahora definiremos con las siglas POC, consiste en, la planificación y selección de tareas sometidas a restricciones de tiempo de procesamiento sobre un conjunto limitado de recursos.

Los sistemas logísticos con restricciones de tiempo aparecen en la literatura con diferentes variaciones, dependiendo de los intervalos de tiempo para el procesamiento de las tareas, del objetivo definido, del número de clases de recursos y de las características que motivan las diferentes clases.

Una primera clasificación de estos sistemas se produce según la amplitud del intervalo para el procesamiento de las tareas. Según ello se distingue entre:

- Problemas donde el tiempo de proceso de las tareas coincide con la amplitud del intervalo. Este grupo recibe el nombre de Programación de Trabajos Fijos (Fixed Job Scheduling Problem, FSP).

- Problemas donde el tiempo de proceso de las tareas es menor que la amplitud del intervalo. Este tipo se denomina Programación de Trabajos Variables (Variable Job Scheduling Problem, VSP).

Con respecto a los objetivos, la optimización se orienta en dos direcciones:

- Planificación táctica de la capacidad: Se optimiza el uso de los recursos necesarios para atender todas las tareas.

- Planificación operacional de la capacidad: A partir de un conjunto de recursos, la planificación operacional es la asignación de recursos a tareas con objeto de maximizar el peso total de las tareas completadas.

De acuerdo al número de clases de recursos, los primeros trabajos sobre el problema consideraron una única clase de recurso, de forma que cada tarea podía ser procesada por cualquier recurso. Sin embargo, el caso más interesante es considerar varias clases de recursos. En este caso las dos variantes que se establecen son:

- License Class Scheduling: Los recursos están disponibles durante todo el horizonte de planificación. La compatibilidad entre tareas y recursos está motivada por aspectos técnicos.
- Shift Class Scheduling: Cada recurso está sólo disponible en un intervalo o conjunto de intervalos de tiempo. Un recurso puede procesar únicamente las tareas que se producen dentro de su intervalo de tiempo.

2.2. Descripción del problema.

El problema que se estudia en este proyecto pertenece al grupo denominado FSP, en el que se busca una planificación operacional de la capacidad y es del tipo License Class Scheduling, dado que presenta restricciones de compatibilidad técnicas entre tareas y recursos.

Considerando en nuestro caso los recursos como máquinas y las tareas como trabajos a realizar, se nos presenta el problema de planificar, sobre un conjunto de máquinas en paralelo, un conjunto de trabajos no interrumpibles, caracterizados cada uno de ellos por un instante fijo de comienzo y de finalización, teniéndose además que:

- Existen diversos tipos de trabajo.
- Cada trabajo pertenece a uno de estos tipos de trabajo.
- Existen diferentes tipos de máquinas.
- Cada tipo de trabajo tiene asociado un único conjunto de tipos de máquinas al que puede ser asignado.

Por otro lado, cada uno de los trabajos tiene asociado un valor que le da una importancia relativa respecto al resto de trabajos. Dicho valor, que a partir de ahora designaremos como “peso”, será decisivo a la hora de decidir qué trabajos asignamos a las máquinas, puesto que uno de los objetivos a considerar en el problema se corresponde con maximizar la suma de los pesos de los trabajos procesados por las mismas.

En la variante del problema FSP aquí considerada, sabemos que las máquinas están disponibles durante todo el horizonte temporal. Sin embargo existen una serie de restricciones técnicas que hacen que un trabajo no pueda ser procesado por cualquier máquina. Dichas restricciones son:

- Cada máquina puede realizar un solo trabajo al mismo tiempo.

- Como ya se dijo anteriormente, cada trabajo puede ser completado sobre un subconjunto de máquinas. Se asume que existe un conjunto de clases de máquinas y otro de clases de trabajos, de forma que cada clase de máquina puede realizar trabajos de un número limitado de clases de trabajos.
- Cada trabajo se procesará de forma no interrumpida por la máquina a la que se haya asignado.

2.3. Formulación del problema.

Partiremos de una lista ordenada de N trabajos representada por $N=\{J_1,...,J_i,...,J_n\}$. Cada trabajo J_i pertenece a una clase de trabajo a_k y se caracteriza por tener un instante fijo de comienzo, s_i y un instante fijo de finalización, f_i, por lo que su duración o tiempo de procesado vendrá dado por $d_i = f_i - s_i$.

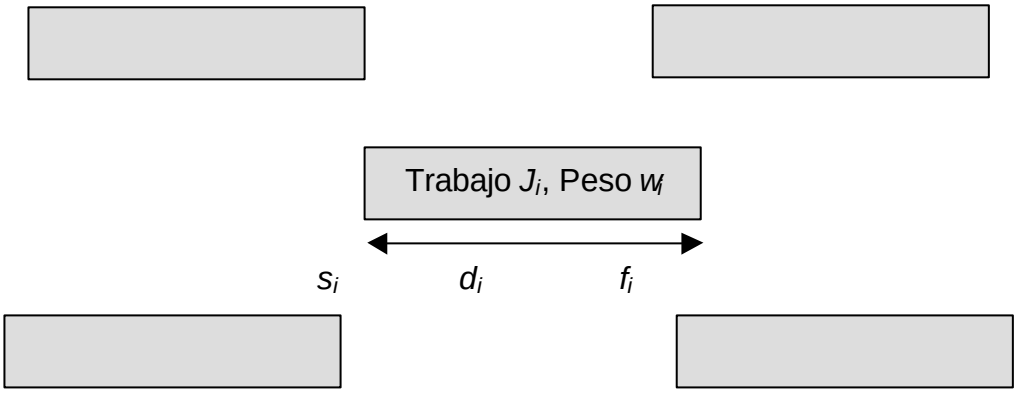

Figura 2.1: Características del trabajo *i*.

$M=\{M_1,...,M_j,...,M_m\}$ representa el conjunto de máquinas del sistema, donde cada máquina M_j se distingue por pertenecer a una clase de máquinas c_l.

Cada clase de trabajos sólo podrá ser procesada por el conjunto de tipos de máquinas que sean compatibles con ella, siendo imposible la asignación de un trabajo J_i a un tipo de máquina M_j si no existe compatibilidad entre ellos. Para ello, se definen A diferentes clases de trabajos, siendo $A=\{a_1, a_2,...,a_k,...a_r\}$ y C clases de máquinas, siendo $C=\{c_1,...,c_l,...c_t\}$. Las compatibilidades entre clases de máquinas y de trabajos se describen en la matriz $L = L_{AxC} = L(fila,col) = L(a_r,c_t)$, que puede tomar los siguientes valores:

- $L(a_k,c_l) = 1$: La clase de trabajo a_k a la que pertenece el trabajo J_i puede ser procesada por el tipo de máquina c_l.

- $L(a_k,c_l) = 0$: La asignación en este caso es imposible.

Para cada intervalo d_i, correspondiente al trabajo J_i, de la clase a_k, de un total de A clases, la diferencia $f_i - s_i$ será en todo caso mayor que cero, pudiendo asumir sin pérdida de generalidad que:

$$f_i - s_i \geq 1$$

Los trabajos son ordenados al inicio de la asignación en función de su tiempo de comienzo s_i, cumpliéndose que cada trabajo tiene un punto de comienzo igual o mayor que el anterior.

$$s_1 \leq s_2 \leq ..... \leq s_N$$

Asimismo, cada uno de estos trabajos posee un peso o beneficio asociado a su procesamiento. Este peso reflejará, por tanto, la importancia relativa de realizar cada uno de los trabajos y será denominado como w_i.

En este proyecto vamos a considerar dos tipos problemas: Uno, en el que objetivo será maximizar la suma de los pesos de aquellos trabajos procesados y otro, en el que la función objetivo será la maximización del número de trabajos realizados, considerando que todos ellos tienen igual importancia (igual peso).

Una planificación de la producción admisible será aquella en la que un subconjunto de trabajos $N' \subseteq N=\{J_1,...,J_i,...J_n\}$ puede ser asignado al conjunto de máquinas definido por $M=\{M_1,...,M_j,...,M_m\}$ cumpliendo las dos condiciones de admisibilidad:

1. Para que J_i haya podido ser asignado a M_j, ha debido cumplirse antes que $L(a_k,c_l) = 1$, donde J_i pertenece a la clase de trabajos a_k y M_j al tipo de maquinas c_l.
2. Si el conjunto de trabajos N' $\subseteq$ N es asignado a un mismo tipo de máquinas, entonces N' no podrá contener más de q trabajos cuyos tiempos se solapen simultáneamente, siendo q el número de máquinas pertenecientes a ese tipo.

2.4. Aplicaciones prácticas

Proceso de mantenimiento de aviones en aeropuertos mediante la asignación de técnicos a tareas: Cada día, en todos los aeropuertos del mundo, son miles los aviones que aterrizan y despegan. Estos aparatos, por

razones obvias de seguridad, deben ser sometidos a operaciones de mantenimiento durante el periodo de tiempo que permanecen en el aeropuerto. Dado que los horarios de salidas y llegadas de los aviones son conocidos de antemano, el problema planteado consiste en minimizar el número de operarios de forma que se garantice el mantenimiento de todos los aparatos que pasen por el aeropuerto.

Asignación de aulas de clase: Ésta es la aplicación más clásica de este tipo de problemas. En la mayoría de colegios o universidades el número de aulas de clases disponibles suele ser limitado. Parte de estas aulas pueden ser utilizadas para la impartición de clases; sin embargo existen otras cuyo uso, ya sea por razones de espacio, por la disposición de sus mesas, o por otros motivos, está restringido únicamente a la realización de tareas especificas. Dado que la duración de los trabajos que se realizan en las aulas es un dato que se suele conocer de antemano, en este caso el problema de planificación tendría como objetivo maximizar el número de usos de cada una de las aulas, teniendo en cuenta las restricciones técnicas de utilización de cada una de ellas.

Asignación de puertas a vuelos en aeropuertos con el objeto de reducir el traslado de pasajeros hasta el terminal: El problema consiste en asignar a aviones de diferentes tipos una puerta de embarque durante un intervalo de tiempo fijo. Dado que cada tipo de avión presenta unas características técnicas especiales, aparecen restricciones de compatibilidad entre las puertas de embarque y los aviones. Si no se consigue asignar una puerta a un avión, los pasajeros deben ser transportados hasta el mismo en autobús, aumentándose así el gasto para el aeropuerto y las incomodidades para los viajeros. El objetivo en este caso consiste en encontrar la mejor asignación de puertas de embarque a aviones de forma que se minimice el número de aviones que se queden fuera de esta asignación.

Planificación de la captura de imágenes mediante satélite: Consideremos un satélite que describe una órbita alrededor de la tierra y cuya misión es tomar fotografías de la superficie terrestre. Dado que son numerosas las zonas que demandan las fotografías del satélite, se plantea el problema de seleccionar cuál debe ser la secuencia de fotografías a realizar durante un horizonte temporal dado, de manera que se maximice el número de fotografías tomadas por la cámara del satélite, siendo las restricciones del problema las siguientes:

- El satélite sólo podrá tomar fotos de la parte de la superficie terrestre expuesta al sol.

- Debido al movimiento del satélite, cada una de las imágenes requeridas sólo podrá ser tomada en un instante de tiempo determinado dentro del horizonte temporal considerado.
- La cámara del satélite sólo puede tomar una imagen en cada instante, teniendo además que dejar un tiempo de transición, supuesto constante, entre dos fotografías pertenecientes a la misma secuencia.

Asignación de conductores en líneas de autobuses: El problema a considerar en este caso es la planificación de los horarios de trabajo de los conductores de autobuses de manera que se minimicen los costes asociados a cubrir el servicio de todas las líneas de transporte existentes, entendiendo como costes el número de vehículos y conductores a utilizar. Hay que tener en cuenta que cuando se asigna a un mismo conductor dos jornadas determinadas para dos días consecutivos, éste debe descansar un número mínimo de horas. Además, la solución a este problema deberá ser tal que el reparto de turnos entre trabajadores y entre vehículos sea lo más equitativo posible.

Otras aplicaciones: Asignación de salas de operaciones en hospitales, control del tráfico aéreo, asignación de habitaciones en hoteles...