

Búsqueda de una metodología para resolver el problema del *job shop*

Investigador responsable: Freddy Abarca, Ph.D.
Departamento de Computación

Descripción del problema

El problema que se desea abordar, pertenece al campo de la programación y el control de trabajo; es quizás el problema de la Ingeniería Industrial que ha demandado más quehacer a investigadores en el campo, pues la mayoría de los escenarios planteados en la programación y control de la producción se catalogan con la etiqueta de problemas "NPCompletos". A pesar del incuestionable avance de la ciencia y la tecnología en cuanto a la generación de nuevas herramientas de trabajo, más contables y más rápidas para buscar soluciones, el estado de este problema, en su planteamiento general, aún está en estado primitivo.

El problema

Elmaghraby¹ es quizás quien mejor define el problema de marras: aquel planteamiento en donde se hace necesario definir un orden (en el sentido de prioridad, rango o importancia) dado un conjunto de trabajos (en el sentido amplio de la palabra) que esperan ser procesados por una o varias máquinas (o puestos o centros) en correcta secuencia tecnológica. Bajo la definición, el problema adquiere dos grandes ramas de estudio.

- Escenarios -por lo general industriales- donde el trabajo literalmente fluye máquina a máquina en forma secuencias.

- Escenarios donde ese flujo de trabajo, por alguna restricción intrínseca al sistema productivo, el flujo de producto semiacabado se retroalimenta o se adelanta una o varias estaciones o máquinas de la línea de producción.

Al estudio de escenarios esbozados como primer área de estudio se le conoce con el nombre de *flow shop* mientras que a la segunda, como *job shop*.

El *flow shop*

Dado un conjunto de 'n' trabajos {T1, T2, T3, ..., Tn} por programar en un conjunto de "m" máquinas {M1, M2, M3, ..., Mm,} y, dada una medida de efectividad interesados en optimizar, no es difícil prever la existencia de $(n!)^2$ posibles instancias {T₁1, TF-2, TP3, TP4, ..., Th1} donde {P1, P2, P3, ..., Pn} es el ordenamiento de la permutación buscada para minimizar o m la medida de efectividad seleccionada.

El "*job shop*"

Por otro lado, en ambientes donde impera el *job shop*, la secuencia de trabajos antes definida para el *flow shop* difiere en un punto medular: el flujo de trabajos no necesariamente es unidireccional; en otras palabras, el direccionamiento del flujo de una operación específica de un determinado trabajo,

1 Elinaghraby, S.E., "The Machine Sequencing Problem. Review and Extensions" -, NAVAL RESEARCH LOGISTIC QUARTERLY, 15(2): 205-232, junio de 1968.

2 Si el orden en cada máquina es el mismo entonces existen $(n!)$ combinaciones.

no necesariamente sigue una secuencia natural y ordenada, sino que, se permite que en algún punto de la línea de trabajo, el flujo de producción se recicle hasta finalizar en la última máquina o se adelante una o varias máquinas.

Por tanto, para los problemas catalogados como de *job shop*, es más apropiado hacer uso de una tripleta (i, j, k) para denotar que la operación "i" del trabajo "j" requiere del concurso de la máquina "k".

Objetivos propuestos

Objetivo general

Dado el heurístico "extended shortest processing time", EXSPT trabajado por el autor durante 1982-84³, el presente proyecto de investigación trasladará el heurístico desde un ambiente *flow shop* -donde ya fue comprobada su efectividad- a un ambiente *job shop* a efectos de optimizar una medida de efectividad denominada "suma de trabajos de acabado"⁴.

Objetivos específicos

- Disponer de una metodología para atacar el problema del *job shop*.
- Profundizar en la medida de efectividad denominada suma de los tiempos de acabado.

Metodología empleada

- Revisión bibliográfica -guardando las limitaciones-, especialmente en el período de tiempo comprendido desde 1987-1990.
- Experimentación -vía simulación controlada- del nuevo heurístico ante condiciones especiales del *job Shop*⁵.

- Desarrollo de un modelo que permita evaluar formalmente la efectividad de la nueva metodología.

Resultados alcanzados

Específicamente se tuvo la oportunidad de retomar un sub-tema que encierra el problema de la programación de las órdenes de producción, lo que el habla inglesa denomina *sequencing and scheduling* y que corrientemente se traduce al español como con los sinónimos de "secuenciamiento", "calendarización", "itinerinización", y "asignamiento". Dentro de esta área, existen cantidad de escenarios que deben investigarse porque a la fecha, las metodologías óptimas no tienen factibilidad (fuera de casos muy pequeños y puntuales).

Luego, con base en un algoritmo no óptimo, -un heurístico en realidad-, muy eficiente para un caso particular del problema que encierra la "calendarización" de los así denominados *flow shop*, se trabajó en la búsqueda de una nueva metodología para resolver el problema siguiente en su secuencia natural, -muy complicado por lo demás-, denominado *job shop*.

Más que metodología para resolver el problema del *job shop*, en realidad se implementa una reconstrucción del modelo *flow shop* para trasladarlo a ambientes de *flow shop*. Resultados de esta implementación -y de esta investigación- son positivos pues, en relativamente poco tiempo se tienen soluciones del problema original, del problema de *job shop*.

Una alta porción del trabajo de esta investigación se dedicó a reconstruir los algoritmos del autor -escritos originalmente en lenguaje Fortran durante la primera mitad de la década de los ochenta- en un lenguaje más apto para este tipo de investigaciones que en aquellos días no existía. Seleccionado el lenguaje *Top*

3 Abarca, F., "An Efficient Heuristic that Determines a Schedule. Minimizing Sum of Completion Times", disertación doctoral, Lehigh University, Pensilvania, 1984, sin publicar.

4 Obviamente que otra medida de efectividad denominada la tiempo total de procesamiento (*makespan*) fue muy vigilada en esta investigación por ser la más utilizada en la literatura especializada.

5 Aunque originalmente se pretendía evaluar la nueva metodología con las experiencias publicadas, ello no fue posible por una razón: no se tienen publicaciones acerca de experiencias con el *job shop*.

*Speed Modula 2*⁶. Como herramienta computacional, se recodificaron las rutinas necesarias para generar el modelo para, posteriormente, estar en capacidad de evaluar -por lo menos en sus etapas iniciales la aplicabilidad de la metodología propuesta.

Los resultados fueron excelentes. Si en 1997 se retomara esta investigación los resultados podrían ser mejorados utilizando herramientas computacionales orientadas a los objetos, como el *Delphi*. La idea que rondaba desde inicios de los ochenta en realidad funciona. Esta sería la primera de las tres conclusiones a la que se llega.

La segunda conclusión es el hecho de que se está a pocos pasos de la elaboración de un sistema experto para la resolución del problema de la programación de las órdenes de producción. Este problema da -paradójicamente- todas las facilidades para discriminar metodologías -heurísticas por lo general- y de esta forma cercar la mejor solución.

Por último, esta investigación fortalece otra de las ideas que en los últimos años se ha retomado una y otra vez: la necesidad de establecer fronteras -por lo menos estadísticamente sustentadas- acerca de la lejanía o cercanía de las respuestas heurísticas respecto de los óptimos. Si algo verdaderamente positivo deja esta investigación al autor, es precisamente la determinación de dos nuevos proyectos que ayudarán a resolver el problema de la asignación de las cargas de trabajo.

Dos objetivos iniciales quedan en el tintero por diversas razones. Aquella transferencia de conocimientos a una industria nacional y la concientización de otros departamentos académicos del área hacia la necesidad de investigar en el campo industrial, aunque se iniciaron, no se concluyeron; la dificultad que encierran la operativización de estos dos objetivos son ampliamente conocidos por la

Vicerrectoría de Investigación y Extensión.

Impacto

- Los resultados son satisfactorios: se puede decir que se dispone de una metodología heurística para atacar al *job shop*, distinta a la herramienta simulación, usualmente utilizada en estos menesteres.
- Se está a pocos pasos de la elaboración de un sistema experto en la resolución del problema de la programación de las órdenes de producción. El producto tangible generado y presentado en este informe, está muy acabado.
- Esta investigación fortalece otra de las ideas que en los últimos años se ha retomado una y otra vez: la necesidad de establecer fronteras -por lo menos estadísticamente sustentadas- acerca de la lejanía o cercanía de las respuestas heurísticas respecto de los óptimos. Este sería el espacio para un siguiente proyecto de investigación.
- La transferencia de conocimientos a una industria nacional y la concientización de otros departamentos académicos del área hacia la necesidad de investigar en el campo industrial, aunque se iniciaron, no se concluyeron.
- Resultados de esta implementación -y de esta investigación- son positivos pues, en relativamente poco tiempo se tienen soluciones del problema original, del problema de *job shop*.
- Hasta donde humanamente lo permitieron los recursos, se revisaron las principales revistas relacionadas con el problema⁷. Efectivamente, el problema sigue planteado en los mejores centros de investigación.

6 Se entenderá que hubo que afrontar el aprendizaje del lenguaje MODULA por dos razones. En primer lugar porque no deja de ser interesante actualizarse en nuevos lenguajes de programación. En segundo lugar porque no se previó presupuesto (por razones estratégicas, desde luego) para retribuir a programadores profesionales.

7 No se debe perder de vista que el perfil de proyecto se escribió en marzo 91 y la aprobación del mismo se dio el 26 de agosto de 1991.

- La metodología prevista satisface las expectativas planteadas, por lo menos para escenarios pequeños. Se ubica este plano de soluciones “pequeñas” dada la imposibilidad de ubicar soluciones óptimas en escenarios mayores.
- Aunque originalmente se pretendía evaluar la nueva metodología con las experiencias publicadas, ello no fue posible

por una razón: no se tienen publicaciones acerca de experiencias con el *Job shop*.

- Se desarrollaron varios modelos, -aunque aún no completamente implantados en el programa para computadoras- que permiten evaluar formalmente la efectividad de la nueva metodología.

Fecha del informe final: 3 de marzo de 1992