

## TALLERES DE FLUJO HÍBRIDO CON TIEMPOS DE CAMBIO DEPENDIENTES DE LA SECUENCIA. ALGORITMOS BASADOS EN BÚSQUEDA LOCAL ITERATIVA

Rubén Ruiz<sup>1</sup>, Bahman Naderi<sup>2</sup>, Mostafa Zandieh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Sistemas de Optimización Aplicada. Instituto Tecnológico de Informática de Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia. [rruiz@eio.upv.es](mailto:rruiz@eio.upv.es).

<sup>2</sup> Department of Industrial Engineering, Amirkabir University of Technology, 424 Hafez Avenue, Tehran, Iran.

<sup>3</sup> Department of Industrial Management, Management and Accounting Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

**Keywords:** Programación de la producción, Taller de flujo híbrido, tiempos de cambio dependientes de la secuencia, búsqueda local iterativa.

### 1. Introducción

La realidad productiva normalmente arroja problemas de tipo híbrido, donde ni tenemos talleres de flujo con una única máquina por etapa, ni una única etapa con máquinas paralelas. Lo más normal es encontrarnos con un conjunto de etapas productivas y varias máquinas disponibles por cada etapa. Adicionalmente, en un contexto productivo multi-producto, es necesario con frecuencia reconfigurar las máquinas después de la producción de cada producto. Este tiempo de reconfiguración (también llamado tiempo de cambio) suele ser dependiente de la secuencia de producción. La importancia de considerar los tiempos de cambio de forma explícita se detalla en Allahverdi y otros (2008) y Allahverdi y Soroush (2008).

De manera más concreta, en este trabajo estudiamos el taller de flujo híbrido y flexible con tiempos de cambio dependientes de la secuencia de producción con el objetivo de minimizar el tiempo máximo de completación o makespan. Usando la notación habitual de la literatura, este problema es  $HFFSm, \left( (PM^{(i)})_{i=1}^m \right) / F_j, S_{ijk} / C_{max}$ . De esta manera, cada trabajo tiene que visitar un conjunto de etapas en el mismo orden relativo. No todas las etapas tienen que visitarse dado que se permite saltar etapas. Este problema se ha estudiado, entre otros, por Ruiz y Maroto (2006), Ruiz y otros (2008) y Zandieh y otros (2006).

### 2. La importancia de la representación. Nuevos algoritmos

Un aspecto clave a la hora de diseñar los algoritmos es la representación de la solución. En el problema tratado en este paper no solo tenemos la secuenciación de trabajos en cada máquina, sino de manera adicional, la asignación de trabajos a cada etapa. Una representación muy indirecta da malos resultados y una representación exacta es costosa computacionalmente. En este trabajo, combinamos ambas posibilidades. Primero, usamos una permutación inicial de trabajos en la primera etapa. Vamos lanzando los trabajos a la primera etapa según ese orden de permutación y los asignamos a la máquina que antes pueda completarlos (no a la primera máquina disponible, como es común en la literatura). Para la

segunda etapa y siguientes, los trabajos ya no se lanzan según el orden de la permutación, sino en el orden en el que éstos van completándose en las etapas anteriores.

A partir de esta idea, presentamos una heurística, llamada MDDR, que básicamente se trata de una asignación voraz de trabajos a máquinas, y una metaheurística basada en búsqueda local iterativa o ILS basada en el trabajo de Stützle (1998). Nótese que no conocemos ninguna aplicación de la metodología ILS a problemas de taller de flujo tan complejos como el presentado aquí. Desgraciadamente, no es posible dar más detalles de los métodos implementados por motivos de espacio. Para más detalles, hemos colgado en Internet una versión completa de este trabajo en [http://www.upv.es/deioac/Investigacion/Naderi\\_Ruiz\\_HFFS.pdf](http://www.upv.es/deioac/Investigacion/Naderi_Ruiz_HFFS.pdf).

A continuación mostramos la desviación porcentual media por encima de la mejor solución conocida para un conjunto estadísticamente significativo de instancias. Los algoritmos propuestos son MDDR e ILS-P. El resto se trata de los mejores algoritmos para este problema y citados anteriormente. Todos los algoritmos se han reimplementado y se ejecutan con el mismo criterio de parada y con el mismo esfuerzo computacional. Por tanto, los resultados son 100% comparables.

	SPTCH	FTIMH	John	NEHH	MDDR	ILS-P	RKGA	IA_Z	GA_R
<b>Desviación media</b>	<b>30,76</b>	<b>36,81</b>	<b>26,55</b>	<b>9,49</b>	<b>9,43</b>	<b>3,24</b>	<b>7,59</b>	<b>5,83</b>	<b>3,72</b>

Tabla 1 – Resultados de los métodos MDDR e ILS-P comparados con la literatura existente.

Como se puede apreciar, a nivel heurístico con el método propuesto MDDR, obtenemos mejores resultados que el resto de heurísticas. A nivel metaheurístico, ILS-P da resultados claramente superiores al resto de métodos. Adicionalmente, tanto MDDR como ILS-P son métodos mucho más sencillos de implementar que el resto.

## Referencias

Allahverdi, A., Ng, C. T., Cheng, T. C. E. y Kovalyov, M. Y. (2008). A survey of scheduling problems with setup times or costs. *European Journal of Operational Research*, 187 (3):985-1032.

Allahverdi, A. y Soroush, H. M. (2008). The significance of reducing setup times/setup costs. *European Journal of Operational Research*, 187 (3):978-984.

Ruiz, R. y Maroto, C. (2006). A genetic algorithm for hybrid flowshops with sequence dependent setup times and machine eligibility. *European Journal of Operational Research*, 169 (3):781-800.

Ruiz, R., Sivrikaya Serifoglu, F. y Urlings, T. (2008). Modeling realistic hybrid flexible flowshop scheduling problems. *Computers & Operations Research*, 35 (4):1151-1175.

Stützle, T. (1998). Applying iterated local search to the permutation flow shop problem. AIDA-98-04, FG Intellektik, TU Darmstadt.

Zandieh, M., Ghomi, S. M. T. F. y Husseini, S. M. M. (2006). An immune algorithm approach to hybrid flow shops scheduling with sequence-dependent setup times. *Applied Mathematics and Computation*, 180 (1):111-127.