

El curioso comportamiento del método de inserción de la heurística NEH en el problema $Fm|block|C_{max}$

The curious behavior of the NEH's insertion procedure in the $Fm|block|C_{max}$ problem

Comanys Pascual¹ R, Ribas Vila I²

Abstract (English) In this paper it is shown that, in some cases, the insertion procedure of NEH does not improve the solution quality. This fact is observed specially in the NEH-based heuristics that have been proposed in the literature of the blocking flow shop problem. As a result of this work, we recommend to evaluate the sequence before and after the insertion phase in order to retain the best one.

Resumen (Castellano) En este trabajo se muestra que el procedimiento de inserción de la heurística NEH no siempre mejora la calidad de la secuencia. Este hecho se da especialmente en los procedimientos propuestos en la literatura para el flow shop con bloqueo y, como resultado de este trabajo, se recomienda evaluar siempre la secuencia antes y después del procedimiento de inserción con el fin de quedarse con la mejor.

¹ Ramon Comanys Pascual (✉)
Dpto. Organització d'Empreses. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria industrial de Barcelona,
Avda. Diagonal 647 08028 Barcelona, Spain
e-mail: ramon.comanys@upc.edu

² Imma Ribas Vila
Dpto. Organització d'Empreses. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria industrial de Barcelona,
Avda. Diagonal 647 08028 Barcelona, Spain
e-mail: imma.ribas@upc.edu

1.1 introducción

La heurística NEH propuesta por (Nawaz, Ensco Jr & Ham 1983) es un procedimiento constructivo de secuenciación muy eficiente que proporciona buenas secuencias para el problema del flow shop con el objetivo de minimizar el instante máximo de finalización de los trabajos. Como es bien conocido, este procedimiento se puede resumir en dos fases: en la primera los trabajos se ordenan según el criterio LPT y en la segunda, conocida como fase de inserción, se construye progresivamente la secuencia, incorporando cada trabajo, de uno en uno, en el orden previamente establecido, colocándolo en la mejor posición posible de la secuencia parcial generada, con el fin de minimizar el C_{\max} parcial. Una vez colocado un trabajo, la posición relativa del mismo respecto a los demás trabajos ya considerados no se altera.

La eficiencia de este procedimiento ha sido objeto de estudio en varios artículos en los que se han presentado diferentes alternativas para secuenciar los trabajos (Nagano y Moccellin (2002), Framinan, Leisten y Ramamoorthy (2003)) y criterios de desempate para usar en el procedimiento de inserción (Dong et al. (2008), Kalczyński y Kamburowski (2008) y Ribas et al (2011)). La aplicación de este procedimiento al problema con bloqueos también es adecuada (Leisten, 1990) y, al igual que para el caso sin bloqueos, algunos autores han propuesto alternativas de priorización de los trabajos más adecuadas al problema restringido. En este sentido Ronconi (2004) analizó la eficiencia del procedimiento al usar las reglas Min-Max (MM) y Profile Fitting (PF) presentada por McCormick et al. (1989). Recientemente, Pan y Wang (2012) ha analizado diferentes reglas basadas en PF como alternativa a las propuestas anteriormente.

En esta comunicación se pone de manifiesto que el procedimiento de inserción, en el problema con bloqueos, puede empeorar la secuencia obtenida en la primera fase y, por lo tanto es prudente evaluar la secuencia antes y después de la fase de inserción para quedarse con la mejor. Este hecho no se ha tenido en cuenta en los procedimientos propuestos hasta hoy y, tal y como mostramos, puede afectar de forma significativa a los resultados obtenidos.

1.2 Variantes del procedimiento NEH para el problema con bloqueos

En esta sección se enumeran las reglas de secuenciación que han sido propuestas para el problema flow shop con bloqueos para substituir la regla LPT del procedimiento original.

- Regla MM (Ronconi 2004).
- Regla PF (McCormick et al. 1989)

- Regla wPF (Pan, Wang 2012)
- Regla PW (Pan, Wang 2012)

Por lo tanto, diferenciaremos la secuencia obtenida mediante MM, PF, wP y PW y la secuencia obtenida después de la inserción que hemos llamado MME, PFE, wPE y PWE.

1.3 Variantes mejoradas

Nagano y Moccellini (2002), al estudiar el problema sin bloqueos, se dieron cuenta que si la secuencia obtenida por la heurística NEH se pasaba nuevamente por la fase de inserción de ésta no siempre mejoraba, lo que indica que puede darse el caso en que la fase de inserción empeore la secuencia inicial. Dicha observación no ha sido tomada en cuenta en los estudios posteriores aunque, después de evaluar la incidencia de este fenómeno en el caso sin bloqueos podemos decir que su repercusión es desdeñable. Sin embargo, en el caso con bloqueos no pasa lo mismo. Hemos observado que con el procedimiento PF, así como con las variantes de éste, la solución obtenida después de la fase de inserción es, en ocasiones, peor que la obtenida en la primera fase. A modo de ejemplo, en la colección 111 de Taillard (1993) en todos los ejemplares la solución obtenida por PF o por PW o por WP es mejor que la obtenida después de pasar estas secuencias por la fase de inserción. Este fenómeno también se produce, aunque en menor medida, con MM. Por lo tanto, en las variantes mejoradas del procedimiento se propone evaluar siempre la solución en la fase 1 y en la fase 2 con el fin de quedarse con la mejor de las dos. A estos procedimientos les hemos llamado PF/PFE, PW/PWE, WP/WPE y MM/MME.

En la siguiente sección se ha realizado un análisis mucho más extenso para analizar el comportamiento de los procedimientos tipo NEH propuestos para el flow shop con bloqueos y proponer la mejor variante para el problema.

1.4 Experiencia computacional

El análisis de los procedimientos se ha realizado sobre dos colecciones de datos con el fin de disponer de resultados basados en un número significativo de ejemplares. Una primera colección es la propuesta por Taillard (1993) para el flow shop sin bloqueos, que también es usada en la literatura para el problema con bloqueos y de la que se disponen de buenas soluciones conocidas, que sirven como base para comparar los procedimientos. Esta colección está formada por 12 conjuntos de ejemplares. Cada conjunto está formado por 10 ejemplares con el mismo

número de trabajos (n) y el mismo número de etapas (m) donde $n=\{20, 50, 100, 200, 500\}$ y $m=\{5, 10, 20\}$.

La segunda colección, generada *ad hoc* siguiendo las indicaciones de Taillard, contiene 15 conjuntos de 10 ejemplares cada uno que resultan de la combinación de $n=\{25, 50, 100, 200, 400\}$ y $m=\{5, 10, 20\}$. La eficiencia de estos procedimientos se ha analizado mediante el índice RPD calculado como (1.1) que mide el porcentaje relativo de desviación de la solución obtenida respecto a la mejor solución conocida.

$$(1.1)$$

Las mejores soluciones conocidas para los ejemplares de Taillard aplicados al flow shop con bloqueos están disponibles en Companys y Ribas (2011) y son los que se han utilizado como valores $Best_i$. En cambio, para los ejemplares generados *ad hoc* hemos utilizado como $Best_i$ la mejor solución obtenida durante el test.

En la tabla 1.1 se muestra el número de veces que las reglas de priorización obtiene una solución mejor que la obtenida después de la fase de inserción en los ejemplares de Taillard. Se observa que en el procedimiento MME no ocurre nunca pero, en cambio, en los procedimientos basados en PF ocurre, en la mayoría de las veces, en ejemplares de dimensión grande.

Table 1.1 Veces que la secuencia antes de la inserción es mejor en los ejemplares de Taillard

$n \times m$	MMvsMME	PFvsPFE	wPvsWPE	PWvsPWE
20x5	0	0	1	2
20x10	0	0	1	0
20x20	0	0	0	1
50x5	0	2	2	3
50x10	0	0	2	1
50x20	0	0	0	0
100x5	0	10	9	9
100x10	0	6	6	7
100x20	0	0	0	0
200x10	0	10	10	10
200x20	0	5	8	9
500x20	0	10	10	10

El siguiente paso es analizar la mejora obtenida si se evalúa la secuencia antes y después de la inserción y se retiene la mejor de las dos. En la tabla 1.2 se muestra el promedio del índice RPD para cada procedimiento, incluidos los tres procedimientos mejorados PF/PFE, PW/PWE y wP/wPE, en cada conjunto de ejemplares. Hemos marcado en cursiva los conjuntos de ejemplares en los que el promedio de RPD es menor cuando sólo se utiliza la regla de secuenciación. Cabe decir que si se hubiera analizado únicamente los promedios de cada grupo no se

habría podido detectar todos los casos en los que la inserción empeora la solución obtenida por la regla de secuenciación, ya que si esto ocurre en pocos ejemplares, como pasa en el conjunto 50x5, el promedio del índice no lo refleja.

Se observa que este comportamiento se da mayoritariamente en ejemplares a partir de cierta dimensión. Posiblemente exista una relación entre el cociente n/m y la intensidad de este fenómeno que sería interesante analizar. También podemos observar a través del promedio obtenido, considerando todos los conjuntos de ejemplares, que los procedimientos mejorados PF/PFE, PW/PWE y wP/wPE presentan un índice considerablemente menor que el que presentan tanto la regla de ordenación como su homólogo con el procedimiento de inserción lo que permite recomendar la evaluación de la secuencia antes y después de la fase de inserción con el fin de quedarse con la mejor solución de las dos. En particular, en este test, observamos que el procedimiento PW/PWE es el que presenta un promedio global mejor.

Table 1.2 Promedio del índice RPD para cada conjunto de ejemplares

$n \times m$	MM	MME	PF	PFE	wPF	wPFE	PW	PWE	PF/ PFE	wPF/ wPFE	PW/ PWE
20x5	14.35	5.29	10.90	5.69	10.95	5.64	9.94	5.48	5.69	5.58	5.41
20x10	16.54	5.49	15.74	6.24	13.14	5.81	11.35	5.00	6.24	5.70	5.00
20x20	15.05	3.35	15.46	5.55	12.27	5.07	11.98	5.07	5.55	5.07	5.06
50x5	13.06	6.64	8.51	7.22	8.54	7.15	8.39	7.66	7.09	6.94	7.37
50x10	16.97	7.13	11.11	7.10	9.93	7.45	10.72	7.60	7.10	7.25	7.55
50x20	17.79	5.49	15.73	7.11	12.71	6.34	12.09	6.18	7.11	6.34	6.18
100x5	10.36	7.60	5.86	7.98	5.74	7.41	5.79	8.14	5.86	5.68	5.73
100x10	13.56	7.18	6.93	7.33	7.27	7.74	7.01	7.73	6.44	7.02	6.66
100x20	14.76	5.62	9.36	5.99	8.00	5.88	7.86	5.70	5.99	5.88	5.70
200x10	11.85	6.83	4.02	7.17	4.34	8.29	4.61	8.15	4.02	4.34	4.61
200x20	12.57	5.55	5.48	5.66	4.74	5.73	4.42	5.65	5.22	4.66	4.32
500x20	11.19	5.73	2.49	5.90	2.52	6.42	2.46	6.29	2.49	2.52	2.46
Todos	14.00	5.99	9.30	6.58	8.35	6.58	8.05	6.55	5.73	5.58	5.51

Un análisis análogo se ha realizado sobre los 15 conjuntos de ejemplares de la colección generada *ad hoc*. En la tabla 1.3 se muestra el número de veces que las reglas de priorización obtiene una solución mejor que la obtenida después de la fase de inserción.

Table 1.3 Veces que la secuencia antes de la inserción es mejor en los ejemplares generados

$n \times m$	MMvsMME	PFvsPFE	wPvsPFE	PWvsPWE
25x5	0	2	1	1

25x10	0	0	0	1
25x20	0	0	0	0
50x5	0	2	2	4
50x10	0	1	3	2
50x20	0	0	0	0
100x5	1	8	8	9
100x10	0	6	4	8
100x20	0	0	0	0
200x5	3	10	10	10
200x10	0	10	10	10
200x20	0	3	10	9
400x5	9	10	10	10
400x10	0	10	10	10
400x20	0	10	10	10

En este caso podemos ver que en un ejemplar de 100x5, en 3 de 200x5 y en 9 de 400x5 la regla MM también es mejor que su homólogo MME.

Finalmente, en la Tabla 1.4 se muestra el promedio del índice RPD obtenido por cada procedimiento en cada conjunto de ejemplares. Observe que en este test el procedimiento que presenta un índice global menor es el PF/PFE.

Table 1.4 Promedio del índice RPD para cada conjunto de ejemplares

<i>nxm</i>	MM	MME	PF	PFE	wPF	wPFE	PW	PWE	MM/ MME	PF/ PFE	wPF/ wPFE	PW/ PWE
25x5	9.45	1.71	5.17	1.34	7.94	1.62	6.26	2.46	1.71	0.53	1.61	2.20
25x10	11.81	1.71	10.90	1.21	8.55	1.09	7.15	0.71	1.71	1.21	1.09	0.58
25x20	12.40	0.57	12.67	0.86	9.92	1.06	10.10	1.42	0.57	0.86	1.06	1.42
50x5	5.62	1.15	2.47	0.89	2.54	1.13	1.62	1.23	1.15	0.67	0.77	0.73
50x10	8.73	0.64	3.96	0.80	3.56	1.45	2.86	1.17	0.64	0.58	1.35	0.92
50x20	10.87	0.45	10.42	1.08	7.40	1.09	6.50	0.78	0.45	1.08	1.09	0.78
100x5	5.22	2.38	0.68	2.13	1.46	3.04	1.13	2.95	2.31	0.25	1.25	1.08
100x10	8.28	1.71	1.04	1.22	1.50	1.47	1.15	1.55	1.71	0.31	1.21	0.95
100x20	8.38	0.34	4.57	0.31	2.64	0.37	2.54	0.26	0.34	0.31	0.37	0.26
200x5	4.43	3.87	0.09	4.34	0.50	4.17	0.23	4.40	3.64	0.09	0.50	0.23
200x10	7.52	3.56	0.36	3.63	1.15	4.42	0.61	4.36	3.56	0.36	1.15	0.61
200x20	7.72	0.98	1.66	1.22	0.30	1.44	0.35	1.39	0.98	0.80	0.30	0.35
400x5	4.87	5.77	0.28	6.19	0.61	6.61	0.20	6.44	4.86	0.28	0.61	0.20
400x10	8.23	5.37	0.40	5.64	0.95	6.08	0.91	6.11	5.37	0.40	0.95	0.91
400x20	8.52	3.18	0.11	3.18	0.63	3.93	0.47	3.84	3.18	0.11	0.63	0.47
Todos	8.14	2.23	3.65	2.27	3.31	2.60	2.81	2.61	2.15	0.52	0.93	0.78

Se puede apreciar que el empeoramiento de la solución por parte del procedimiento de inserción se refleja en el índice RPD a partir de la colección 100x5. Observe, además, que la solución obtenida por PF o por alguna de sus variantes es mucho más sensible a deteriorarse en el procedimiento de inserción que la secuencia obtenida por el procedimiento MM.

Finalmente cabe decir que los procedimientos aquí implementados son las heurísticas constructivas más eficientes propuestas en la literatura, hasta el momento, para obtener una buena solución en un tiempo muy acotado para el problema flow shop con bloqueos por lo que concluimos que PF/PFE y PW/PWE son las heurísticas más recomendables.

1.5 Conclusiones

En este trabajo hemos puesto de manifiesto un comportamiento curioso de los procedimientos basados en la heurística NEH que no se había tenido en cuenta en la literatura. Hasta ahora, se daba por supuesto que el procedimiento de inserción de la heurística NEH siempre mejoraba la calidad de la secuencia inicial pero, como hemos mostrado, esto no es siempre así. En particular, se ha observado que este comportamiento se da en los procedimientos propuestos por varios autores para el problema flow shop con bloqueos. Se ha mostrado que si se evalúa la secuencia antes y después del procedimiento de inserción para quedarse con la mejor, la eficiencia puede llegar a mejorar hasta un 20%, como es el caso del procedimiento PW/PWE en los ejemplares de Taillard.

Por otro lado, dado que los procedimientos comparados son las heurísticas constructivas más eficientes propuestas en la literatura, como resultado de este trabajo podemos recomendar el procedimiento PF/PFE y PW/PWE para obtener una solución eficiente en un tiempo muy razonable.

1.6 References

- Companys, R. & Ribas, I. 2011, New insights on the blocking flow shop problem. Best solutions update, working paper .
- Dong, X., Huang, H. & Chen, P. 2008, "An improved NEH-based heuristic for the permutation flowshop problem", *Computers & Operations Research*, vol. 35, no. 12, pp. 3962-3968.
- Framinan, J.M., Leisten, R. & Ramamoorthy, B. 2003, "Different initial sequences for the heuristic of Nawaz, Enscore and Ham to minimize makespan, idletime or flowtime in the static permutation flowshop sequencing problem", *International Journal of Production Research*, vol. 41, no. 1, pp. 121-148.
- Kalczynski, P.J. & Kamburowski, J. 2008, "An improved NEH heuristic to minimize makespan in permutation flow shops", *Computers & Operations Research*, vol. 35, no. 9, pp. 3001-3008.

- Leisten, 1990, "Flowshop sequencing problems with limited buffer storage", *International Journal of Production Research*, vol. 28, no. 11, pp. 2085.
- McCormick, S.T., Pinedo, M.L., Shenker, S. & Wolf, B. 1989, "Sequencing in an Assembly Line with Blocking to Minimize Cycle Time", *Operations Research*, vol. 37, pp. 925-936.
- Nagano, M.S. & Moccellini, J.V. 2002, "A high quality constructive heuristic for flow shop sequencing", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 53, pp. 1374-1379.
- Nawaz, M., Enscore Jr, E.E. & Ham, I. 1983, "A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flow-shop sequencing problem", *Omega*, vol. 11, no. 1, pp. 91-95.
- Pan, Q. & Wang, L. 2012, "Effective heuristics for the blocking flowshop scheduling problem with makespan minimization", *Omega*, vol. 40, no. 2, pp. 218-229.
- Ribas, I., Companys, R. & Tort-Martorell, X. "Comparing three-step heuristics for the permutation flow shop problem", *Computers & Operations Research*, vol. 37, no. 12, pp. 2062-2070.
- Ronconi, D.P. 2004, "A note on constructive heuristics for the flowshop problem with blocking", *International Journal of Production Economics*, vol. 87, no. 1, pp. 39-48.
- Taillard, E. 1993, "Benchmarks for basic scheduling problems", *European Journal of Operational Research*, vol. 64, no. 2, pp. 278-285.