

## **Análisis de un problema Job Shop por medio de un Sistema Experto y un Agente Inteligente**

**Omar Danilo Castrillón Gomez<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia. Campus la Nubia. Manizales. [odcastrillong@unal.edu.co](mailto:odcastrillong@unal.edu.co)

**Palabras clave:** Agentes Inteligentes, Sistemas expertos, Tiempo de proceso, Tiempo Muerto.

### **Resumen**

El objetivo del presente trabajo<sup>10</sup>, es disminuir el tiempo de proceso (Makespan) y aumentar el tiempo de utilización de las máquinas, disminuyendo el tiempo de ocio (idle), en ambientes Job Shop, mediante el diseño de una metodología basada en un Agente Inteligente y un Sistema Experto. Este trabajo se desarrolla en dos fases: En la primera, se aborda la identificación y definición de la nueva metodología para los procesos de secuenciación en ambientes Job Shop. En la segunda etapa, se demuestra la efectividad de la misma. La investigación propuesta se desarrolla en una empresa del sector metalmeccánico, donde por medio de la combinación de un Agente Inteligente y un Sistema Experto se mejora la programación de la producción, logrando mejorar considerablemente su respectivo tiempo total de proceso y por ende el tiempo total de ocio.

### **1. Introducción**

El objetivo de este artículo de investigación, es diseñar por medio de un Sistema Experto y un Agente Inteligente, una metodología, la cual permita optimizar dos de los principales objetivos en la solución de un problema Job Shop: El tiempo de proceso (Makespan) y el tiempo de ocio (Idle); el cual es consecuencia directa del tiempo total de proceso.

Así, en este artículo de investigación se diseña una nueva metodología, basada en técnicas de Inteligencia Artificial, la cual permita planificar la producción en un ambiente Job Shop. Esta técnica deberá permitir encontrar las mejores formas de programar las diferentes rutas, de los distintos pedidos, en los diversos centros de trabajo. En tal sentido este artículo ha sido estructurado en seis partes: Introducción, metodología, resultados, conclusiones y bibliografía.

En la primera sección de este documento, se presenta la estructura general del mismo así como una revisión general sobre el estado del arte ilustrando las principales aplicaciones de los Sistemas Expertos y los Agentes Inteligentes en la reducción de los plazos de fabricación en un ambiente Job Shop.

---

<sup>10</sup> Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en el proyecto de investigación financiado por La Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia, titulado "*Los sistemas Expertos y los Agentes Inteligentes, en la reducción de los plazos de fabricación en ambientes Job Shop.*" con código: 20101005012.

En la segunda sección, se define una metodología fundamentalmente estructurada en los siguientes pasos: a) definición matricial de un problema Job Shop. (Koonce D. A. 2000). b) Definición de la base de conocimiento; reglas (Domínguez, 2001). ó técnicas heurísticas que serán aplicadas en la solución del problema . c) aplicación de cada una de las técnicas definidas, en el numeral anterior, con el fin de generar múltiples soluciones, al problema planteado. Para cada una de las soluciones encontradas se debe calcular el tiempo de proceso (Makespan) y tiempo muerto (Idle) d) Estimación del óptimo y determinación del porcentaje de aproximación de las soluciones encontradas respecto a la solución óptima e) Empleo de un Agente Inteligente con el fin de elegir la técnica más efectiva y predecir la mejor técnica que será aplicada en el próximo proceso de secuenciación.

En la tercera sección y tomando como referencia las posibles formas de secuenciar N pedidos en M máquinas  $(N!)^M$ , se define un campo de experimentación suficientemente grande, con el fin de garantizar la efectividad de las soluciones propuestas. Posteriormente, en las secciones de resultados y conclusiones se muestra la efectividad de la metodología diseñada, mostrándose su eficiencia respecto a la(s) solución(es) óptimas del problema objeto de estudio.

De otro lado, es importante resaltar que actualmente las técnicas de Inteligencia Artificial, han sido empleadas con el fin de solucionar una gran variedad de problemas en : La industria y el comercio (Weiming S, Lihui W, Qi H. 2006), la agricultura (Nebendahi D. 2000), la programación de la producción, construcción de ordenes de producción (López O, Ortega, I, Medina V. 2009), el diseño de productos, la planificación de inversiones, la navegación marítima (Rancán C. 2004), la disminución del riesgo y tiempo experimental, la incorporación y fusión de resultados de modelos de simulación de diferentes fuentes y disciplinas, la automatización de edificios (Sierra E, Hossian A, García M, et all 2005) la planificación de sistemas, la secuenciación de la producción en ambientes Job Shop (Nilgu'n F, Celal O, Orhan E et all. 2009; Adil B, Mustafa G. 2009 ), La optimización (Yi Zhang, Xiaoping Li, Qian Wang. 2009), La minimización de tiempos de proceso (Pei-Chann C, Jih-Chang H, Shih-Hsin C, et All. 2009; Roshanaei V, Naderi B, Jolai F, et all. 2009), y en general toda clase de aplicaciones (Savkin A, Somlo J. 2009; De Giovanni L, Pezzella F. 2009; Chao-Hsien J, Han-Chiang H. 2009; Castrillon O, Sarache W, Giraldo J. 2008).

Finalmente, se expresa que esta investigación se realizó por el interés de sus autores en lograr una mayor aplicabilidad de estas técnicas en la región central de Colombia; dado que, según las diferentes revisiones literarias, que hasta la fecha se han realizado, existen muy pocos trabajos realizados sobre este tema; con lo cual se demuestra que desafortunadamente, en esta zona, este tema no ha sido estudiado y/o documentado con la suficiente importancia que se requiere, para un país en vía de desarrollo, donde sus sistemas de producción son manuales, con bajos niveles competitivos (Latta R, Sarabia G, 2000). El anterior aspecto hace que este tema tenga un interés general no solo para la industria, si no también para todos los profesionales en el área de la ingeniería, gremios, directivos empresariales y en general para toda la comunidad.

## 2. Metodología

En este artículo, se propone una nueva metodología basada en un Sistema Experto y un Agente Inteligente, con el fin de mejorar la solución de esta clase de problemas. La metodología propuesta, empieza por considerar los supuestos propuestos en Rohrer (2000).

**Paso 1 Representación:** El problema JSSP es representado por medio de una matriz, donde el número de la fila representa el centro de trabajo y el número de la columna, representa el pedido. Cada uno de los valores (Fil, Col) representa el tiempo de proceso del pedido  $i$  en la máquina  $j$ . (Koonce D. A. 2000).

Tabla 1. Representación del problema JSSP NXM.

	Ped1	Ped2	...	Pedn
C1		TP		
..				
Cm				

**Paso 2. Sistema Experto:** Este sistema esta constituido por las siguientes partes: a) **Base de Conocimiento. B.C** Conformada, por cada uno de los pedidos a secuenciar, (Tabla 1) y las diferentes técnicas de Inteligencia Artificial que serán usadas en la solución del problema: Algoritmos genéticos, Minería de datos y Búsqueda Tabú. b) **Mecanismos de Inferencia MI:** Permite la selección de la técnica más apropiada, en la solución del problema. Esta técnica se elige tomando como referencia el menor valor de la variable Makespan. C) **Control de Coherencia CC.** Dado que es probable que se generen algunas soluciones no validas, es importante controlar estas situaciones, dejando solo las soluciones validas, para el problema planteado. (ver Tabla 3).

**Paso 3. Secuenciación:** Para cada una de las soluciones, establecidos en el paso anterior, se debe definir un diagrama de Gant, el cual establezca el orden de los procesos en el tiempo, en cada uno de los diferentes centros de trabajo. Una vez Establecido el anterior diagrama se procede a evaluar cada una de las diferentes soluciones, con el fin de calcular los tiempos totales de proceso (Makespan) y los tiempos totales de ocio (Idle), bajo las siguientes funciones de cálculo (Fitness):

$$Fitness_{makespan} = \min(\max(\max(P_{ij})) \quad (1)$$

$$Fitness_{idle} = \min \sum_{j=1}^m f_j \quad (2)$$

El objetivo fundamental, es maximizar las dos funciones Fiteness. Donde N, representa el número de trabajos. M, representa el número de máquinas, P<sub>ij</sub> es el tiempo de procesamiento del trabajo i, en la máquina j y f<sub>j</sub>, es el tiempo total ocio de la maquina j.

**Paso 4. Estimación Óptimo:** Con el fin de calcular la aproximación de las soluciones encontradas, respecto a la mejor solución, es necesario estimar la solución óptima; con base en un proceso de backtraking recursivo, el cual termina cuando en alguno de los centros de trabajo, el tiempo muerto es igual a cero. Este óptimo permitirá determinar la efectividad de la metodología propuesta y establecer el porcentaje de aproximación, de cada una de las posibles soluciones encontradas, respecto al óptimo general.

**Paso 5. Predicción:** Cada vez, la técnica más efectiva, en las diferentes secuenciaciones, debe ser elegida por un Agente Inteligente. Este agente, debe predecir e informar al Sistema Experto, la próxima técnica que será aplicada; con el fin de buscar mejorar el proceso. Los resultados finales serán entregado al usuario mediante la respectiva **interfaz de usuario**.

**Experimentación:** En la experimentación de esta metodología, se tomó como referencia una empresa del sector metalmecánico, en su producto fundamental denominado “Barras”. Aunque en el problema original, el producto debe pasar por cinco centros de trabajo sin importar el orden; la experimentación se realizó con base en un problema de carácter general, con 5 centros de trabajos y 30 pedidos; restricción realizada, solo por razones computacionales.

### 3. Resultados

**Paso 1. Representación:** Según el metodología descrita, el problema objeto de análisis es representado mediante la estructura propuesta en la Tabla 2. Esta tabla ilustra los tiempos de proceso de cada uno de los 30 pedidos en los diferentes Centros de Trabajo ó máquinas:

Tabla 2. Tiempos de proceso.  $2.37376 \cdot 10^{62}$  soluciones posibles.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30
C1	1	4	3	2	4	6	8	9	7	5	4	7	7	5	6	8	7	4	1	3	5	5	8	6	3	4	8	4	3	9
C2	4	1	2	10	8	11	5	3	1	10	2	3	10	6	1	9	3	7	7	8	4	7	3	2	9	6	5	3	1	2
C3	6	1	5	4	7	2	8	6	8	6	3	12	4	3	4	10	12	3	8	1	2	11	10	13	1	2	4	1	8	4
C4	9	3	1	5	1	7	9	1	5	4	8	1	5	9	1	8	5	6	3	2	1	3	7	5	3	5	8	6	1	2
C5	3	4	5	9	9	5	4	2	4	9	7	6	6	8	10	4	4	3	4	3	2	2	5	4	8	7	6	7	9	3

**Paso 2-4:** Las mejores soluciones encontradas, mediante las técnicas descritas en los pasos 2, 3 y 4 de la metodología propuesta, son ilustradas en la Tabla 3. Así mismo, la Figura 1, Muestra el diagrama de Gantt de la mejor de todas las soluciones representadas en la Tabla 3, la cual, en este caso, coincide con la solución óptima.

Tabla 3. Tiempos de proceso. Soluciones encontradas.

Solución	Tiempo Total de proceso.	Tiempo Muerto.	Aproximación. Estimación óptimo. (Tiempo proceso = 169)	Aproximación. Estimación óptimo. (Tiempo muerto = 71)	Técnica
1	170	76	99.41%	93.42%	Algoritmos Genéticos
2	169	71	100%	100%	Algoritmos Genéticos
3	169	71	100%	100%	Algoritmos Genéticos
4	169	71	100%	100%	Algoritmos Genéticos
5	169	71	100%	100%	Algoritmos Genéticos
6	169	71	100%	100%	Algoritmos Genéticos
7	170	76	99.41%	93.42%	Algoritmos Genéticos
8	169	71	100%	100%	Algoritmos Genéticos
9	170	76	99.41%	93.42%	Algoritmos Genéticos
10	169	71	100%	100%	Algoritmos Genéticos
11	169	71	100%	100%	Algoritmos Genéticos
12	170	76	99.41%	93.42%	Algoritmos Genéticos
<b>Prom.</b>	<b>169.33</b>	<b>72.6</b>	<b>99.8%</b>	<b>97.8%</b>	

Finalmente, en este punto, se calcula la solución óptima para el problema objeto de estudio, mediante la técnica descrita en el paso 4 de la metodología propuesta:

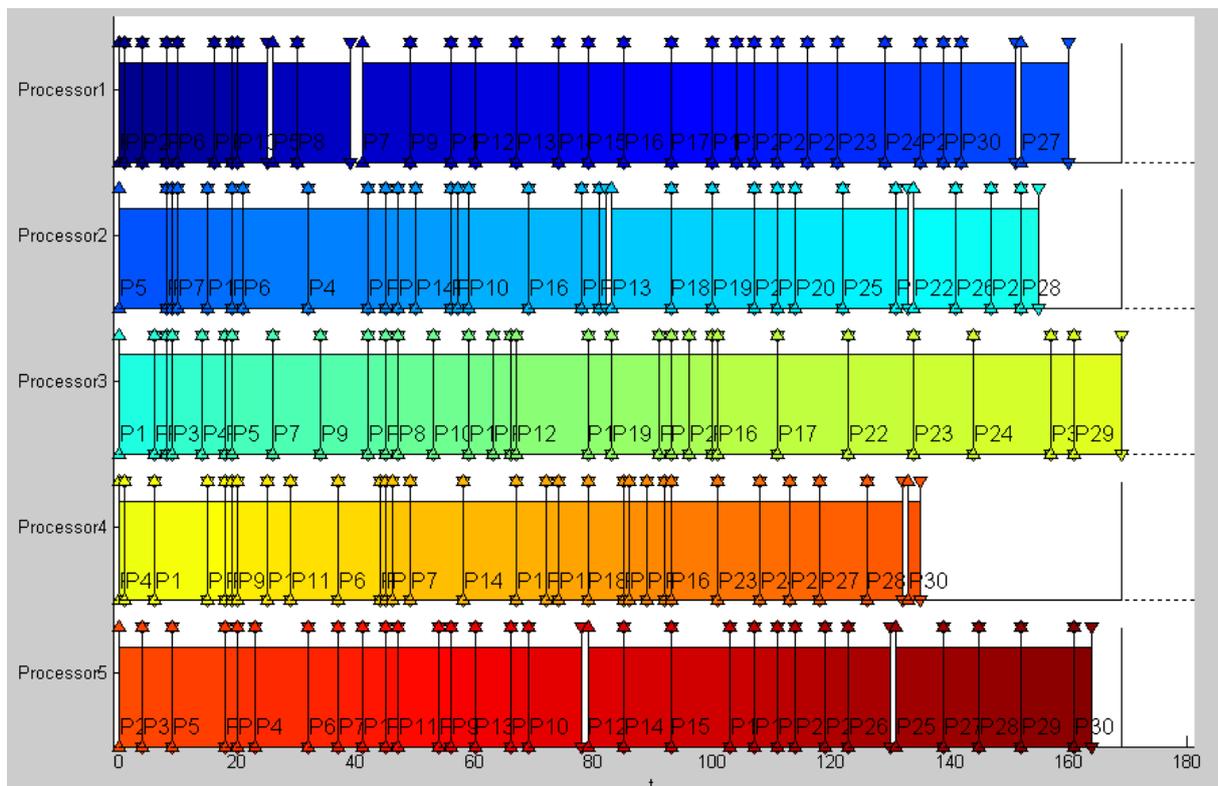


Figura 1. Solución óptima. Tiempo de Proceso = 169. Tiempo Muerto = 71.

Un análisis de la Figura 1, permite establecer que en el centro de trabajo 3 (procesador 3), no existe tiempo muerto; en consecuencia la solución ilustrada en la Figura 1, es una de las soluciones óptima.

**Paso 5. Predicción:** Según la metodología propuesta y los resultados obtenidos, los algoritmos genéticos, son la técnica más efectiva, que debe ser aplicada en los próximos procesos de secuenciación.

## DISCUSIONES.

De las diversas revisiones literarias (Adil B, Mustafa G. 2009; Nilgun F, Celal O, Orhan E, et al. 2009), se puede deducir que el empleo de las técnicas de Inteligencia Artificial en la solución de problemas de secuenciación en ambientes Job Shop no ha sido muy difundido. Si bien, existen autores (López O, Ortega I, Medina V. 2009), que emplean distintas técnicas de Inteligencia Artificial para secuenciar una serie de pedidos, ninguno de ellos trata de predecir la técnica de Inteligencia Artificial más apropiada que debe ser aplicada en cada instante del proceso. Sin embargo, es importante resaltar que estos procesos de secuenciación deben estar asociados a funciones de costo, las cuales permitan determinar la eficiencia de las soluciones encontradas, en términos económicos, requiriéndose así un análisis multiobjetivo del problema; el cual será objeto de futuras líneas de investigación.

#### 4. Conclusiones

- Una de las principales ventajas de esta metodología, es que no es necesario probar constantemente diferentes técnicas, para secuenciar los pedidos en una empresa. Este último aspecto, evita retrasos innecesarios en la producción; Dado que la técnica por la cual se secuencian los pedidos, solo se cambia cuando el Agente Inteligente así lo determina.
- Los Sistemas Expertos y los Agentes Inteligentes constituyen una excelente técnica para solucionar los procesos de secuenciación en ambientes JSSP, en el cual se encuentra valores cercanos al óptimo. Con estas técnicas es posible mejorar el proceso de secuenciación de pedidos.
- Como se deduce de los diferentes resultados encontrados, en promedio esta metodología permite encontrar soluciones, con una aproximación respecto a la solución óptima, del 99.8% y 97.8% respectivamente, medido en las variables tiempo total de proceso y tiempo total muerto.

#### Agradecimientos

Se agradece la colaboración a todos los estudiantes y docentes del Grupo en Innovación y Desarrollo Tecnológico de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. En especial a los siguientes estudiantes: Sebastián Valencia, Leonardo Grajales, Andrés Felipe Álvarez, Andrés Felipe Vásquez, Carlos Trujillo, Javier Peña, Lina Ávila, Aura Cristina Hoyo, Manuel Mejía, Alejandro Cano y al docente Martin Alonso Pantoja Ospina.

#### Bibliografía

- Adil B, Mustafa G. (2009). Gene Expression Programming based Due Date Assignment in a Simulated Job Shop. *Expert Systems with Applications*. Article in press.
- Chao-Hsien J, Han-Chiang H. (2009). A hybrid genetic algorithm for no-wait job shop scheduling problems. *Expert Systems with Applications* 36 5800–5806.
- Castrillón O, Sarache W, Giraldo J. (2008). Secuenciación en ambientes job shop por medio de agentes inteligentes y minería de datos. XII Congreso de Ingeniería de Organización. Burgos – España. 2008.
- De Giovanni L, Pezzella F. (2009). An Improved Genetic Algorithm for the Distributed and Flexible Job-shop Scheduling problem. *European Journal of Operational Research*. Article in press.
- Domínguez J. (2001). Dirección de Operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la dirección de servicios. Mac Graw Hill. Madrid.
- Koonce D. A. (2000). Using data mining to find patterns in genetic algorithm solutions to a job Shop schedule. *Computer & Industrial Engineering* 38 361 -374.
- Latta R, Sarabia G, (2000). Aplicación de la inteligencia artificial en sistema automatizados de producción. Grupo de Ingeniería y Control TEISA. Universidad Cantabria.
- López O, Ortega, I, Medina V. (2009). A multi-agent system to construct production orders by employing an expert system and a neural network. *Expert Systems with Applications* 36 2937–2946.
- Nebendahi D. (2000). *Sistemas Expertos: Introducción A La Técnica Y Aplicación*. Ed Marcombo, S.A. Barcelona, España.

- Nilgün F, Celal O, Orhan E, et al. (2009). Investigation of Ant System parameter interactions by using design of experiments for job-shop scheduling problems. *Computers & Industrial Engineering* 56 538–559.
- Pei-Chann C, Jih-Chang H, Shih-Hsin C, et All. (2009). Artificial chromosomes embedded in genetic algorithm for a chip resistor scheduling problem in minimizing the makespan. *Expert Systems with Applications* 36 7135–7141.
- Rancán, C. (2004). Arquitectura De Sistema Híbrido De Evaluación Del Alistamiento De Unidades Navales Auxiliares. Reportes Técnicos en Ingeniería de Software Vol. 6 N° 1, pág. 45-54. Buenos aires. Argentina.
- Rohrer, M. W. (2000). Simulating of Manufacturing and Material Handling Systems. *Procedente de Handbook of Simulation*. John Wiley.
- Roshanaei V, Naderi B, Jolai F, Khalili M. (2009). A variable neighborhood search for job shop scheduling with set-up times to minimize makespan. *Future Generation Computer Systems*. Article in press.
- Savkin A, Somlo J. (2009). Optimal distributed real time scheduling of flexible manufacturing networks modeled as hybrid dynamical systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 25 597–609.
- Sierra E, Hossian A, García M, Marino R, (2005). Sistema experto para control inteligente de las variables ambientales de un edificio energéticamente eficiente. Universidad Nacional del Comahue. Buenos Aires. Argentina.
- Weiming S, Lihui W, Qi H. (2006). Agent-Based Distributed Manufacturing Process Planning and Scheduling: A State-of-the-Art .*Survey And Reviews*, VOL. 36, NO. 4.
- Yi Zhang, Xiaoping Li, Qian Wang. (2009). Hybrid genetic algorithm for permutation flowshop scheduling problems with total flowtime minimization. *European Journal of Operational Research* 196 869–876