
TÍTULO DEL TRABAJO:

“Metaheurísticas, una forma de resolver el problema Job Shop”.

ALUMNA

Ing. Prof. Alejandra Alcira Díaz

DOCENTE

Dr. Guillermo Leguizamón

Curso: “Seminario de Integración” de la Maestría en Cs de la Computación con orientación a Base de Datos, UTN FRCU.

2015

1. Resumen

El problema del *Scheduling* representa es uno de los problemas más ampliamente tratados en el campo de la investigación de operaciones debido a su complejidad se lo incluye en los problemas *NP-Completo*.

Para resolver el modelo *Job Shop Scheduling* que encierra el *makespan* se ha utilizado una propuesta que incluye el uso del metaheurísticas.

Se pretende a través de esta línea de investigación, realizar un análisis comparativo de los trabajos realizados hasta el momento sobre scheduling abordando con dos metaheurística diferente.

2. Introducción

Las organizaciones industriales frecuentemente están sujetas a diferentes tipos de cambios como pueden ser: que se agregue una nueva tarea, la cancelación de una tarea, la ruptura de una máquina, como así también cambios en los tiempos de procesamiento o de la fecha estimada de terminación de la tarea. Debido a su naturaleza dinámica, los problemas de planificación real son computacionalmente complejos y el tiempo requerido para encontrar una solución óptima se incrementa exponencialmente con el tamaño del problema. Los problemas de planificación se pueden clasificar en: estáticos, donde todas las tareas son conocidas antes del comienzo de la planificación; y dinámicos, en donde sólo el tiempo de comienzo de la tarea es desconocido (dinamismo parcial) ó donde todas las propiedades de las tareas son desconocidas (dinamismo total). [1]

El Job Shop se encuentra categorizado dentro de los problemas NP-completos. Las dificultades encontradas desde este punto de vista son de distintas clases y están relacionadas al modelado de problemas de scheduling del mundo real y la recuperación de información.

Consecuentemente, ha sido estudio de muchos autores, dejando diversos modelos matemáticos y enfoques heurísticos. Como efecto de su naturaleza “combinatoria” se encuentran soluciones sólo para instancias pequeñas o simples dentro de los métodos exactos que resuelven modelos matemáticos.

Las operaciones pueden ser procesadas por un grupo de máquinas, razón por la cual también se requiere decidir sobre cuáles de las máquinas se procesa cada operación. Los tiempos de las operaciones varían en las distintas máquinas, entonces, es necesario decidir cuál máquina realiza cada operación y en qué orden, con el objetivo de minimizar el tiempo total

de finalización de todos los trabajos. Por esto, aún no se conocen algoritmos de resolución eficientes que se ejecuten en tiempos computacionales razonables, sobre todo para instancias de problemas grandes y/o complejos.

La programación de la producción se preocupa de la asignación de recursos limitados a tareas productivas, y debe realizarse de manera detallada para mantener la eficiencia y el control de las operaciones dentro del sistema productivo y así constituir una ventaja competitiva difícil de imitar.

Los distintos productos requieren en su fabricación de distintas operaciones, las que se realizan en un orden y configuración determinada, dependiendo del tipo de producto, su volumen de producción, la variedad de productos que se produce en la misma línea, etc.

La función del scheduling o planificación de tareas, es la asignación de recursos limitados a tareas a lo largo del tiempo y tiene como finalidad la optimización de uno o más objetivos. Apunta al objetivo de “mejorar la toma de decisiones”, ya que pretende optimizar la asignación de recursos limitados en la ejecución de tareas.

Las variantes para los problemas de scheduling se relacionan con la secuencia de ordenación de las operaciones, denominada patrón de flujo.

En el ambiente de las ciencias de la computación, cuando se hace referencia al término optimización se lo asocia a la concreción de un objetivo utilizando la menor cantidad de recursos disponibles, o en una visión similar, la obtención del mejor objetivo posible utilizando todos los recursos con lo que se cuenta.

Los métodos para encontrar la mejor solución (óptima) varían de acuerdo a la complejidad del problema enfrentado, en la medida que esta aumenta, se hace necesario contar con herramientas adicionales. En esta dirección, existe una amplia variedad de técnicas para resolver problemas complejos, tal como las técnicas exactas. Estos tipos de algoritmos son capaces de encontrar las soluciones óptimas a un problema dado en una cantidad finita de tiempo. Como contrapartida, requiere que el problema a resolver cumpla con condiciones bastante restrictivas. Existen además un conjunto muy amplio de técnica aproximadas, conocidas como metaheurísticas. Estas técnicas se caracterizan por integrar de diversas maneras procedimientos de mejora local y estrategias de alto nivel para crear un proceso capaz de escapar de óptimos locales y realizar una búsqueda robusta en el espacio de búsqueda del problema.

A continuación se presenta el problema planteado y los objetivos. Luego se describe cómo se llevará a cabo el proceso experimental, indicando la forma en que se obtendrán los resultados para analizarlos. Por último, se

presentan el plan de tareas y referencias utilizadas para el desarrollo del presente.

3. Presentación del Problema y Propuesta general

- Este proyecto tiene por objetivo resolver un problema real de secuenciación de operaciones, en un ambiente de procesos en paralelo, de forma que se cumpla con los tiempos, y se minimice el tiempo total, mediante la aplicación de algoritmos heurísticos, se podrá analizar los resultados para comprender el comportamiento de estos algoritmos y proponer nuevos métodos para resolver el problema de una manera más eficaz y eficiente, de ser necesario. Así también proveer una implementación funcional y pública de esta estructura disponible para la comunidad científica relacionada al área de estudio. De ser posible, ampliar las soluciones para instancias más complejas y más grandes que las encontradas hasta el momento.

4. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos que se esperan alcanzar con a través del desarrollo de esta tesis son:

- El objetivo que se pretende optimizar.
- Analizar los problemas de ambiente **Job-Shop**, con el fin de comprender las técnicas existentes en el área de estudio.
- Examinar los posibles métodos de resolución heurísticos y razonar la elección del método escogido.
- Alcanzar un conocimiento profundo del Job shop y de las heurísticas a que nos permita mejorar su performance.
- Diseñar, implementar y evaluar modelos algorítmicos que incluyan conocimiento del problema en cuestión.
- Medir la calidad y eficiencia de un algoritmo para poder determinar su valía frente a otros.
- Proveer una implementación funcional y pública de la aplicación.
- Presentar resultados experimentales que permitan corroborar la eficiencia lograda con las distintas variantes presentadas respecto de los resultados obtenidos con los existentes por la comunidad científica
- Comparar los resultados obtenidos con los existentes y proveer una implementación pública y funcional disponible para la comunidad científica.

5. Estado del Arte

Los problemas de planificación (*scheduling*) estáticos se han abordado a través de distintas metaheurísticas (*Simulating Annealing*, *Tabu Search*, Algoritmos Evolutivos y *Ant Colony Optimization*), pero los problemas de *scheduling* dinámicos han sido encarados principalmente con Algoritmos Evolutivos, para problemas de *Job shop* [2-3-4] y para problemas de máquina única [5-6-7-8].

Desde los enfoques que intentan resolver el problema, tenemos que Brandimarte[9] propone una dirección jerárquica para la arribar a la solución, discurrendo una parte de asignación (problema de ruteo) y una parte de secuenciamiento (problema de *Job Shop*). Por otro lado, Mesghouni, Hammadi y Borne[10] intentan dar una solución a través del Algoritmo Genético, desde un enfoque más integrado implementando matrices; Kacem, Hammadi y Borne[11] proponen un enfoque por localización, que permite encontrar buenas soluciones, minimizando el makespan y la carga de las máquinas y controlando la evolución de un Algoritmo Genético. Mientras que Vazquez y Whitley[3] realiza una comparación desde la dinámica del Job Shop con el algoritmo genético.

Ho y Tay[12-13] y en sus distintas publicaciones estudian el problema del *Job Shop Flexible*, proponiendo reglas de despacho como solución inicial en la cual las poblaciones son influenciadas por reglas heurísticas y en cada generación guía el espacio de búsqueda mediante esquemas. Además, plantea una arquitectura basada en algoritmos evolutivos, un aprendizaje con teoría de esquemas y un generador de poblaciones mediante reglas de despacho compuestas.

Mientras que Osorio, Lasso y Ruiz[14], lo resuelven mediante enfriamiento simulado y enfoque de pareto.

Sin dudas los Algoritmos Genéticos conforman una extensa clase de la cual emergen muchos enfoques muy disímiles entre sí.

Otros autores también estudian la representación de las soluciones[15], para encontrar la más eficaz en términos de tiempo de cómputo y de alcanzar el mejor makespan.

Zhang y Gen[16] consideran un Algoritmo Genético basado en escenarios múltiples, donde cada escenario corresponde a una operación y cada máquina factible a un estado. Pezzella, Morganti y Ciaschetti[17] también proponen un Algoritmo Genético, pero utilizan el enfoque de localización propuesto por Kacem, Hammadi y Borne[11]. Con ello establecen una mutación inteligente, que consiste en seleccionar una operación entre aquellas máquinas con más carga de trabajo y reasignar dicha carga a la máquina que tenga menos.

Una muy buena opción para tratar problemas de secuenciación y de calendarización son los algoritmos ACO debido a que el modelo Job Shop obtuvo muy buenos resultados de forma eficiente, afirma Atehortúa [18] De la misma manera lo demuestran San Pedro y otros [1].

White, T., S. Kaegi, and T. Oda [19] utilizan la huella de feromona en ACO como información numérica distribuida, adaptan durante la ejecución del algoritmo para reflejar su experiencia de búsqueda Secuenciación de Tareas del modelo Job Shop Scheduling (JSS).

A partir de estas propuestas, se plantea para el presente trabajo la realización de un estudio experimental que utilice una implementación computacional de Algoritmos heurísticos para resolver el problema de *Job Shop*.

A continuación se realiza una breve descripción del problema objeto de estudio para su resolución.

Job Shop

El problema denominado *Job Shop* corresponde a un tipo específico de problemas de scheduling cuyo objetivo principal es la minimización del tiempo de ejecución de las tareas, el “*makespan*”.

Consiste en planificar un conjunto de n trabajos $\{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ sobre un conjunto de m recursos o máquinas físicas $\{R_1, R_2, \dots, R_m\}$.

Cada trabajo J_i consta de un conjunto de operaciones o tareas $\{\mu_{i1}, \dots, \mu_{im}\}$ que deben ser ejecutadas de forma secuencial.

Cada tarea μ_{ij} tiene asociado un tiempo de procesamiento sin interrupción $d_{\mu_{ij}}$, durante el cual requiere del uso exclusivo de un único recurso.

Además, se plantean las siguientes restricciones:

- Una tarea no puede visitar una misma máquina dos veces.
- Las operaciones de un mismo trabajo deben ejecutarse en un orden determinado.
- No hay restricciones de precedencia entre operaciones de distintas tareas.
- Las operaciones no se pueden interrumpir cuando han iniciado su proceso.
- Cada máquina puede procesar sólo una tarea a la vez, lo que fuerza a seleccionar un orden para la ejecución de todas las operaciones que se realizan en la misma máquina.

- Se asume que todos los trabajos y máquinas están disponibles en el instante (tiempo) cero.

Dado lo anterior, la resolución consiste en seleccionar una de entre todas las permutaciones posibles de dichas operaciones, que cumpla con las restricciones, minimizando el valor relacionado con el tiempo (*makespan*). Por este motivo, el *Job Shop* es un problema clásico de la optimización combinatoria *NP-Completo*¹. [20]

Para este problema se han desarrollado metaheurísticas, tales como métodos de búsqueda en vecindad (búsqueda local), algoritmos genéticos, simulated annealing, tabu search [21, 22-23].

Los métodos antes citados, producen una solución globalmente óptima y cuyo tiempo computacional crece exponencialmente respecto del tamaño del problema.

Metaheurísticas

Las metaheurísticas [24] son métodos que integran procedimientos de mejora local y estrategias de alto nivel para crear un proceso capaz de escapar de óptimos locales y realizar una búsqueda robusta en el espacio-problema. En su evolución histórica estos métodos han incorporado diferentes estrategias para evitar la convergencia a óptimos locales, especialmente en espacios de búsqueda complejos.

Este tipo de procedimientos tienen como principal característica que son aplicables a cualquier tipo de problemas, sin requerir ninguna condición particular a cumplir por los mismos. Estas técnicas no garantizan en ningún caso la obtención de los valores óptimos de los problemas en cuestión, pero se ha demostrado que son capaces de alcanzar muy buenos valores de soluciones en períodos de tiempo cortos [25]

Se las puede aplicar en problemas de diferentes tipos sin mayores modificaciones, mostrando su robustez y su amplio espectro de uso. Existen diferentes tipos de problemas, y multitud de taxonomías para clasificar los mismos. En el alcance de este trabajo se interesa diferenciar las metaheurísticas que se adecuen mejor en cuanto al objetivo a optimizar. En el presente trabajo se estudia la utilización de metaheurísticas para la resolución del problema complejo “Job shop” [26], con un objetivo. Se efectúa un análisis del estado de situación en la materia, y se proponen nuevas variantes de algoritmos existentes, validando que las mismas mejoran resultados reportados en la literatura. Este tipo de problemas de optimización incluyen restricciones de cierta

¹NP-completos es el conjunto de los problemas de decisión que contiene los problemas M tales que todo problema S en NP puede ser transformado polinomialmente en M.

clase, que constituyen grandes desafíos a su resolución. Las restricciones son límites impuestos a las variables de decisión y en general, son una parte integral de la formulación de cualquier problema [27-28]. En el dominio específico de problemas discretos, tales los tipos de Scheduling, están sujetos a restricciones. El espacio de búsqueda de estos problemas se subdivide en dos subconjuntos, el espacio de soluciones factibles y el espacio de soluciones no factibles. Estos subespacios no necesariamente son convexos y no necesariamente están conectados.

6. Metodología

Para lograr los objetivos planteados, el trabajo a desarrollar se organizará en cuatro grandes etapas: Recopilación y estudio de la bibliografía existente sobre la temática de estudio. Diseño e implementación de los algoritmos necesitados para lograr cada uno de los objetivos planteados en la sección anterior. Análisis y evaluación de los algoritmos propuestos con el fin de perfeccionarlos y generar nuevas propuestas. Obtención, análisis y difusión de los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo. Elaboración de la implementación de código libre para la comunidad científica relacionada al área de estudio.

7. Significancia / Implicaciones

Con los objetivos relacionados con la minimización de tiempo total de flujo, la idea original que guía a lo largo de este trabajo es dar una perspectiva global de uno de los problemas NP-Completo de la optimización combinatoria y a través de él observar algunas técnicas y estrategias típicas que sazonan este campo.

Desde que el Job Shop fue presentado², se han producido varias propuestas de estudio que motivan a pensar que es interesante y prometedor revisar este modelo buscando mejoras al mismo basándose en estos nuevos conocimientos.

8. Plan de Tareas

1. Recopilación y estudio de la bibliografía existente relacionada con el área de estudio.
2. Identificación de las características a mejorar en el modelo objeto de estudio y de las heurísticas apropiadas para resolver dicho modelo.

² Es difícil determinar con exactitud quién por primera vez expuso formalmente una configuración de un sistema de producción Job Shop [29]. Sin embargo se atribuye la primera publicación en el año 1963 [30]

3. Diseño y desarrollo de la aplicación, las cuales atienden tanto a modificaciones en su diseño como a modificaciones en su implementación.
4. Experimentación y análisis de las variantes propuestas a fin de evaluar la performance obtenida.
5. Comparación de los resultados y desempeño.
6. Divulgación de los resultados obtenidos.
7. Redacción del informe final de tesis.

Cabe señalar que estas etapas no son secuenciales en el tiempo; los resultados parciales que se vayan obteniendo servirán como retroalimentación para el diseño de nuevos algoritmos y para el perfeccionamiento de los algoritmos ya existentes.

En primer lugar el trabajo se concentrará en proponer cambios en el diseño de la aplicación para mejorar el tiempo total, mediante algoritmos de heurísticas.

La experiencia lograda durante esta primera etapa del trabajo y la evaluación de las propuestas que vayan surgiendo durante el desarrollo del trabajo serán tanto teóricas como empíricas. Se medirá la calidad de los cambios y nuevos diseños propuestos a partir de dos factores: tiempos totales y cantidad de trabajos realizados para resolver las tareas. Para la evaluación empírica se cuenta con un conjunto de instancia de prueba ampliamente usados en el software HeuristicLaby aceptados por la comunidad científica del área de estudio.

9. Recursos / Factibilidad

Se presentan en muchas aplicaciones, tales como:

- carga de contenedores y camiones,
- diseño de circuitos integrados,
- vidrio, papel y corte de acero,
- optimización de portfolio,
- calendarios,
- y muchas otras.

La mayoría de los problemas de optimización combinatoria, y por consiguiente los problemas aquí presentados, son, en general, difíciles de resolver en la práctica.

10. Conclusión

De la literatura consultada hasta el momento se puede decir, que los problemas de planificación (scheduling) estáticos se han afrontado a través de distintas metaheurísticas (Simulating Annealing, Tabu Search, Algoritmos Evolutivos y Ant Colony Optimization), pero los problemas de

scheduling dinámicos los problemas de Job Shop Scheduling, han sido abordados principalmente con Algoritmos Evolutivos, con la metaheurística Ant Colony Optimization (ACO) a través de numerosos enfoques algorítmicos, fue aplicada con éxito para una variedad de problemas de optimización. Se pretende a través de esta línea de investigación, realizar un análisis comparativo de los trabajos realizados hasta el momento sobre scheduling resolviendo el problema real de secuenciación de operaciones en ambientes de procesos paralelos, cumpliendo con los tiempos y minimizando el tiempo total (makespan), si es necesario se propondrá un nuevo método que optimice los resultado ya obtenidos, consecuentemente se proveerá una implementación funcional y pública relacionada al área de estudio. De ser posible, se ampliará las soluciones para instancias más complejas y más grandes de las que fueron encontradas.

11. Bibliografía consultada

- [1] San Pedro m., Pandolfi d., Lasso m., Villagra , G. Leguizamon - Metaheurística ACO aplicada a problemas de planificación en entornos dinámicos proyecto unpa-29/b084/1. Wicc 2007
- [2] C. Bierwirth, et. al – *Production Scheduling and Rescheduling with Genetic Algorithms*–Evolutionary Computation, 7, N° 1, págs. 1 - 17, 1999.
- [3] Vazquez M. y Whitley , D – *A Comparision of Genetic Algorithms for the Dynamic Job Shop Scheduling Problem*– Parallel Problem Solving from Nature VI, 2000.
- [4] Lin S., et. al – *A Genetic Algorithm Approach to Dynamic Job Shop Scheduling Problems* International Conference of Genetic Algorithms, 1997.
- [5] Lasso, M., Pandolfi D., De San Pedro M., Villagra A., Vilanova G., Gallard, R. – *Algorithms to Solve the Dynamic Weighted Tardiness Problems*, VIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Bs. As., pág. 609 – 616, Octubre 2002.
- [6] Lasso, M., Pandolfi D., De San Pedro M., Villagra A., Gallard, R. – *Heuristics to Solve Dynamic W-T Problems in Single Machine Environments*, Proceedings of the International Conference on Computer Science, Software EngineeringInformationTechnology, e-Business and Applications, págs. 432 –437, Rio de Janeiro, June 2003, Brazil.
- [7] De San Pedro M., Lasso, M., Villagra A., Pandolfi D., Gallard, R. – *Solutions to the Dynamic Average Tardiness Problem in Single Machine Environmets*, IX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, La Plata, págs. 729 – 739, Octubre 2003.

- [8]** Lasso, M., Pandolfi D., De San Pedro M., Villagra A., Gallard, R. – *Solving Dynamic Tardiness Problems in Single Machine Environments*, IEEE Congress on Evolutionary Computation, Vol. I, págs. 1143 – 1149, Portland, USA, 2004.
- [9]** P. Brandimarte. “Routing and scheduling in a flexible job shop by tabu search”. *Annals of Operations Research*. Vol. 41, Issue 1-4, pp. 157-183. 1993.
- [10]** K. Mesghouni, S. Hammadi and P. Borne. “Evolution Programs for job-shop scheduling”. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Computational Cybernetics and Simulation*. Vol. 1, pp. 720-725. October, 1997.
- [11]** I. Kacem, S. Hammadi and P. Borne. “Approach by localization and multiobjective evolutionary optimization for flexible job-shop scheduling problems”. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*. Vol. 32, Issue 1, pp. 1-13. February, 2002.
- [12]** N.B. Ho and J.C. Tay. “Evolving dispatching rules for solving the flexible job-shop problem”. *IEEE Congress on Evolutionary Computation*. Vol. 3, pp. 2848-2855. September, 2005.
- [13]** N.B. Ho, J.C. Tay and E.M.-K. Lai. “An effective architecture for learning and evolving flexible job-shop schedules”. *European Journal of Operational Research*. Vol. 179, Issue 2, pp. 316-333. June, 2007.
- [14]** Juan Carlos Osorio, Diego Fernando Lasso, Gabriel Alonso Ruiz, 2012 “Job Shop scheduling biobjetivo mediante enfriamiento simulado y enfoque de pareto”.
- [15]** J.C. Tay and D. Wibowo. “An effective chromosome presentation for evolving flexible job shop schedules”. *Lecture Notes in Computer Sciences*. Vol. 3103/2004, pp. 210-221. 2004.
- [16]** M. Gen, J. Gao and L. Lin. “Multistaged based genetic algorithm for flexible job-shop scheduling problem”. *Complexity International*. Vol. 11. 2005. URL: <http://www.complexity.org.au/ci/vol11/zhang01/>
- [17]** F. Pezzella, G. Morganti and G. Ciaschetti. “A genetic algorithm for the flexible job shop scheduling problem”. *Computers and Operations Research*. Vol. 35, Issue 10, pp. 3202-3212. October, 2008.
- [18]** A Atehortúa. Optimización basada en colonia de hormigas: generalidades y estudio del algoritmo sistema hormiga y aplicación a un

Job Shop Ant Colony Optimization. Universidad Nacional de Colombia 2012.

[19] White, T., S. Kaegi, and T. Oda, Revisiting Elitism in Ant Colony Optimization. Genetic and Evolutionary Computation Conference, 2003.

[20] M. Garey and D. Johnson. Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. W.H. Freeman, New York, 1979.

[21] E. Taillard. "Some efficient heuristic methods for the flow shop sequencing problem". European Journal of Operational Research. Vol. 47, Issue 1, pp. 65-74. 1990.

[22] R. Ruiz, C. Maroto and J. Alcaraz. "Solving the flow shop scheduling problem with sequence dependent setup times using advanced metaheuristics". European Journal of Operational Research. Vol. 165, Issue 1, pp. 34-54. 2005.

[23] R. Ruiz and C. Maroto. "A genetic algorithm for hybrid flow shop with sequence dependent setup times and machine eligibility". European Journal of Operational Research. Vol. 169, pp. 781-800. 2006.

[24] R. Ruiz and T. Stützle. "An iterated greedy heuristic for the sequence dependent setup times flow shop problem with makespan and weighted tardiness objectives". European Journal of Operational Research. Vol. 187, Issue 3, pp. 1143-1159. 2008.

[25] Glover F., Kochenberger G.H. (editors): Handbook of Metaheuristics, Kluwer Academic Publishers, 2003.

[26] Germán Mailing "Algoritmos heurísticos y el problema de job shop scheduling". Tesis de Grado de Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires, enero 2003.

[27] Javier Lopez, "Optimización multi-objetivo" Tesis doctoral de la Facultad de Informática (UNLP) presentada en el año 2013.

[28] Dhar, V., and Ranganathan, N. Integer Programming versus Expert Systems: An Experimental Comparison. Communications of the ACM 33: 323-336, 1990.

[29] Peña Victor y Zumelzu Lillo, " Estado del Arte del Job Shop Scheduling Problem", Departamento de Informática, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile. 2006.

[30] Muth J. F. and Thompson G. L., Industrial Scheduling, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, Ch 15, pp. 225 - 251. 1963

