

## CONCLUSIONES

Este trabajo presenta la inserción de las técnicas evolutivas dentro de un marco de mejoramiento del negocio con el fin de incrementar la eficiencia en la toma de decisiones e incrementar la competitividad. Se provee a los gerentes de una herramienta para la optimización de los procesos de la organización, en este caso particular, para la optimización de la asignación de recursos limitados a la ejecución de tareas. Los algoritmos evolutivos son herramientas que debidamente diseñados son muy útiles en el ambiente de una empresa, principalmente cuando se deben buscar soluciones a problemas muy complejos para los cuales no se conocen algoritmos determinísticos que brinden soluciones en tiempo polinomial y no se pueden resolver exitosamente con herramientas y productos enlatados.

Este trabajo sugiere que los algoritmos evolutivos tienen el potencial para crear un scheduler rápido, adecuado, y de propósito general. Los algoritmos evolutivos se adecuan bien a esta clase de problemas, debido a su habilidad de buscar en espacios de búsqueda impredecibles, complicados y grandes.

Para afianzar los conceptos sobre algoritmos evolutivos se hizo una revisión de los temas más importantes y de sus opciones, como así también una recopilación de las distintas representaciones desarrolladas para codificar una solución del problema de job shop scheduling.

En este trabajo se presentaron distintas opciones evolutivas implementadas para resolver el problema de job shop scheduling; estas opciones utilizan algunas de las representaciones descritas en el capítulo 6 e introducen características de los algoritmos evolutivos, extraídas del capítulo 5, a fin de acrecentar su calidad y aplicabilidad.

Uno de los factores influyentes para obtener una buena performance de los algoritmos evolutivos es la representación de las soluciones dentro del cromosoma. Por la existencia de restricciones de precedencia en las operaciones, no resulta fácil determinar una representación natural para el problema job shop scheduling. Un aspecto importante en la construcción de un algoritmo genético para el problema de job shop es determinar una representación apropiada de soluciones junto con operadores genéticos específicos del problema, de modo tal que el cromosoma generado, tanto en la fase

inicial como en el proceso evolutivo, produzca schedules factibles. Esto es una fase crucial que afecta todos los pasos subsecuentes de un algoritmo evolutivo.

Las opciones evolutivas desarrolladas para la resolución del problema de job shop scheduling reúnen distintas particularidades: utilización de diferentes representaciones en los cromosomas, lo que conlleva al uso de operadores de recombinación especializados. En uno de los algoritmos se introdujeron aspectos de múltiple padres y recombinación, realizándose un análisis del comportamiento del algoritmo si se realiza o no el control de incesto entre los individuos seleccionados para ser padres, extrayéndose como conclusión de que realizar tal control aumenta la performance del método, logrando una concentración de los individuos de la población final alrededor del valor óptimo. En otro se presentaron resultados experimentales sobre las mejoras obtenidas al introducir individuos más adaptados en la población inicial, los cuáles se generaron utilizando una heurística bien conocida como la es la de reglas de despacho. Este algoritmo se comparó con otro donde la población inicial no incluye semillas. Del análisis de los resultados se deduce que la incorporación de individuos más adaptados a la población inicial produce que se obtengan buenos resultados en generaciones más tempranas sin riesgo de producir una convergencia prematura a un subóptimo. Los algoritmos descritos hasta el momento, además de las particularidades detalladas, utilizan diferentes representaciones (el primero usa un representación con decodificadores y el segundo una basada en reglas de prioridad) pero la característica esencial de esas representaciones es que permiten el uso de los operadores de crossover y mutación convencionales sin caer en el peligro de producir hijos que no sean factibles. En el último algoritmo desarrollado se utiliza la representación basada en operaciones para la cual se debe considerar un método de crossover especial: parcial schedule exchange. Este algoritmo se comparó con otro que utiliza representación basada en reglas de prioridad. Como conclusión principal se puede extraer que utilizando una representación basada en operaciones produce considerables mejores resultados que la otra; esto se debe a que se está incorporando mayor conocimiento del dominio del problema. Se implementaron cada uno de estos algoritmos, de las respectivas ejecuciones se extrajeron los resultados a partir de los cuales se realizaron los análisis y conclusiones mencionadas en el capítulo 7.

Aún cuando en este trabajo se demostró la eficiencia y eficacia de los métodos evolutivos para problemas de job shop estáticos, el dinamismo del sistema podría

encararse a través la gran disponibilidad de soluciones que las técnicas evolutivas proveen en las etapas finales.

### **INVESTIGACIÓN FUTURA**

Los buenos resultados reportados por una de las opciones evolutivas donde se consideraba la aplicación de multiplicidad de padres y crossovers con una representación con decodificadores, son un argumento viable para la aplicación de estas características de multirecombinación haciendo uso de distintas representaciones del cromosoma, en particular basadas en reglas de prioridad de despacho.

En función de las distintas performances obtenidas por algoritmos evolutivos donde las únicas diferencias son las representaciones de las soluciones empleadas, un futuro trabajo puede consistir en agregar a esa comparación mayor cantidad de representaciones. Esto puede dar una pauta si el hecho de incorporar conocimiento específico del dominio al algoritmo evolutivo produce un mejor comportamiento en cuanto a la calidad de soluciones aportadas se trate.

Un tema pendiente de investigación respecto de múltiples padres y crossovers es la determinación de la combinación  $(n_1, n_2)$  óptima a emplear a fin de obtener una buena performance del algoritmo.

Aparte de las estrategias evolutivas, las cuales incorporan algo de sus parámetros de control en los vectores solución, la mayoría de las otras técnicas usan representaciones, operadores y parámetros de control fijos. Una de las áreas de investigación más prometedoras está basada en la inclusión de mecanismos de auto adaptación dentro del sistema:

- ✓ Representación de individuos.
- ✓ Operadores. Es claro que diferentes operadores juegan diferentes roles en diferentes etapas del proceso evolutivo. Los operadores deberán adoptar este tipo de adaptación.
- ✓ Control de parámetros. Hay algunos experimentos reportados en este sentido que consideran la adaptación en el tamaño de la población o en las probabilidades de los operadores.

Esta parece ser una de las direcciones más prometedoras de investigación, después de todo el poder del algoritmo evolutivo cae en su adaptabilidad.

Aún cuando se trabajó con sistemas estáticos, existen algoritmos evolutivos especialmente diseñados para ambientes dinámicos los cuales pueden hacer frente y

adaptarse a eventos (como cambios en la demanda, mal tiempo, roturas de máquinas, etc.) que impactan la normal operación del negocio, mientras se realiza un balance continuo de los recursos para obtener una máxima eficiencia. Los próximos pasos estarían orientados al desarrollo de sistemas dinámicos que se adapten a tales situaciones cambiantes.