

METAHEURÍSTICAS PARA LA PLANIFICACIÓN LOGÍSTICA*

José Andrés Moreno Pérez y Belén Melián Batista

Grupo de Computación Inteligente. Universidad de La Laguna
Febrero de 2005

1. INTRODUCCIÓN

Las metaheurísticas son estrategias generales para el diseño de procedimientos heurísticos inteligentes. Siguiendo las pautas marcadas por las metaheurísticas es posible obtener algoritmos con un alto rendimiento para la toma asistida de decisiones en tareas de planificación logística. Las situaciones que surgen en circunstancias reales precisan, dada la gran complejidad y el número de variables a tener en cuenta, la utilización de herramientas informáticas en el análisis del problema para determinar rápidamente propuestas de alta calidad. En estas ocasiones es de gran importancia contar con un procedimiento capaz de explorar de forma eficiente el espacio de soluciones alternativas para seleccionar una que alcance las máximas cotas posibles en los objetivos propuestos. Ante la ausencia de un procedimiento exacto que permita obtener en todas las circunstancias una solución óptima en tiempo razonable es importante contar con un algoritmo heurístico que aporte una alternativa con una alta confianza de que es la mejor solución posible o está muy próxima a serlo. Las metaheurísticas proporcionan pautas claras para diseñar fácilmente tales procedimientos adaptables a las diferentes circunstancias que puedan presentarse en las labores de planificación logística. Además, siguiendo la metodología de la Inteligencia Artificial, pueden dotarse con herramientas para mejorar su propio rendimiento con la experiencia y favorecer la incorporación de conocimiento experto para ello. En este trabajo exponemos los aspectos fundamentales de las metaheurísticas en su aplicación a los problemas de planificación logística. A continuación se describen, a modo de ejemplo, diversos contextos de planificación logística en los que las metaheurísticas pueden aportar procedimientos apropiados para adoptar decisiones. Las siguientes secciones analizan el concepto, los tipos fundamentales y las principales características deseables de las metaheurísticas. El trabajo finaliza con unas breves conclusiones y las referencias.

* * * Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología a través del con el proyecto TIC 2002-04242-C03-01 (que son en un 70% fondos FEDER).

2. PLANIFICACIÓN LOGÍSTICA

En las labores de la planificación logística de cualquier empresa relacionada con el transporte vamos a encontrar múltiples decisiones que darán lugar a consecuencias relevantes de distinto tipo. Una adecuada planificación logística implica optar por aquellas alternativas cuyas consecuencias impliquen un menor gasto o una mayor eficiencia en el aprovechamiento de los recursos disponibles. Por tanto, es necesario disponer de las herramientas adecuadas para evaluar cada una de las alternativas posibles y de una estrategia inteligente para determinar la alternativa preferida. Generalmente, el número y complejidad de las decisiones a adoptar hace imposible examinar en detalle cada una de las alternativas posibles para, en base a una evaluación exacta, elegir la mejor entre ellas. Sin embargo no es razonable prescindir de las evaluaciones imprecisas o aproximadas de las alternativas ni renunciar a realizar un análisis de una parte seleccionada del espacio de alternativas para adoptar unas decisiones inteligentes. Las metaheurísticas permiten elaborar fácilmente procedimientos que realizan una búsqueda inteligente de soluciones de alta calidad basándose en información aproximada para aprovechar la potencia de cálculo y rapidez de los ordenadores para extender y precisar en mayor medida el análisis efectuado. Por tanto, la aplicación de metaheurísticas para apoyar las decisiones efectuadas permitirá incrementar la confianza en que las soluciones adoptadas son las mejores posibles o están muy cerca de ello.

A continuación se describen en detalle algunas circunstancias en las que plantear problemas de optimización al realizar la planificación logística que pueden resolverse adecuadamente mediante metaheurísticas. En tales casos, la formalización de los problemas sólo requiere la descripción de las soluciones alternativas y su representación de forma computacional, así como un mecanismo para determinar el grado de optimalidad de estas alternativas para sustentar comparaciones entre ellas. Otros aspectos susceptibles de formalizar emanados de la experiencia pueden hacerse intervenir en el diseño de la metaheurística para mejorar su propio rendimiento. Por ejemplo, mecanismos para construir alternativas de buena calidad o muy diferentes, o para modificarlas ligeramente tratando de conseguir alguna mejora. Incluso puede incorporarse conocimiento experto sobre las características de las soluciones que tienen alta calidad o de los condicionantes que son más relevantes para la solución definitiva.

2.1. Rutas de distribución y recogida

Las rutas seguidas por las unidades de transporte para la distribución o recogida de bienes o documentos forman parte de las políticas de distribución de una gran cantidad de empresas. El número de rutas posibles de un vehículo que incluyen una serie de puntos concretos es muy grande. Los efectos económicos, tanto en el gasto producido como en otras medidas de la efectividad del servicio, varían de forma considerable de unas rutas a otras. Las decisiones sobre las rutas a seguir se adoptan de forma diaria siguiendo criterios más o menos razonables. Para adoptar estas decisiones sería de gran utilidad contar con herramientas que pudieran examinar el espacio de las rutas alternativas y, teniendo en cuenta la evaluación de dichas rutas y posiblemente otro tipo de restricciones adicionales, seleccionar opciones de un alto grado de optimalidad empleando un tiempo razonable. Las metaheurísticas pueden facilitar el diseño y construcción de tales herramientas [4].

2.2. Carga y descarga

Aparte de las rutas de las unidades de distribución, el otro tipo de decisiones que hay que adoptar de forma prácticamente diaria en un proceso de distribución logística es la de la forma de efectuar la carga y descarga de dichas unidades. En estas actividades, en mayor medida que la anterior se suele acudir al conocimiento experto para establecer pautas o estrategias de organizar estas tareas. Sin embargo, al aumentar la cantidad de elementos a tener en cuenta se hace necesario combinar estos conocimientos con herramientas de cálculo y análisis automático de alternativas que conjuntamente permitan seguir adoptando las decisiones con similar efectividad. Las metaheurísticas presentan características apropiadas para poder incorporar este tipo de conocimiento en su funcionamiento y permitir consolidar y extender los efectos beneficiosos de la experiencia adquirida en la mejora del rendimiento de la tarea de distribución.

2.3. Localización de puntos de servicio

Otras decisiones presentes en la planificación logística es la de establecer la ubicación o localización de puntos en la red de transporte desde la que articular un sistema de distribución. Esta labor de localizar puntos de servicio no suele tomarse con la frecuencia casi diaria con la que se establecen rutas o las cargas de las unidades de transporte, pero su incidencia en los costes y la calidad del servicio pueden llegar a ser mucho más relevantes. En este caso, las decisiones deben contemplar posiblemente un conjunto considerablemente grande de localizaciones posibles con características muy diversas de entre las que se seleccionan un subconjunto determinado. La evaluación de cada una de las alternativas posibles puede implicar la solución de otro problema logístico muy complejo, e incluso llegar

a precisar algún tipo de simulación. Por tanto, el análisis de las decisiones a adoptar en este contexto debe evitar la evaluación innecesaria de una gran cantidad de alternativas por lo que son apropiadas las técnicas de búsqueda inteligentes [2].

2.4. Asignación de zonas de distribución

Frecuentemente se acude a la descomposición del problema en zonas de distribución para facilitar el análisis pormenorizado de las decisiones a adoptar en cada una de ellas en lugar de un estudio completo de todo el campo de actuación. Sin embargo, esta distribución puede llevarse a cabo de multitud de formas y cada una de ellas dará lugar a efectos muy distintos. Por tanto, nos volvemos a encontrar frente a situaciones donde hay que realizar una selección de una alternativa dentro de un conjunto considerablemente grande de posibilidades y en base a criterios que permitan establecer comparaciones entre ellas a partir de distintos procesos de evaluación.

2.5. Diseño de redes

El resultado de las decisiones a adoptar en la planificación logística dan lugar a una solución estructurada que suele tener una estructura de red. Así, por ejemplo, el establecimiento de una red de distribución compuesta por la ubicación de distintos tipos de unidades y la especificación de las conexiones determina en muchos casos el coste global y la eficiencia de toda la política de distribución. En estos problemas mixtos se pueden identificar subproblemas de cada uno de los tipos anteriores por lo que se configuran como problemas mixtos de planificación.

3. CONCEPTO DE METAHEURÍSTICA

El estudio del concepto de metaheurística debe centrarse en la formación del término y en el uso que se le ha venido dando desde su primera aparición en el entorno científico y tecnológico. Esta concepción no es uniforme, sino que está condicionada por el ambiente en el que se han desarrollado las metaheurísticas más importantes y el empleo de las herramientas formales y computacionales obtenidas. Esta múltiple concepción se ve reflejada en las distintas ontologías asociadas, en las que es clarificadora la especificación de los distintos tipos de metaheurísticas que llegan a constituirse en paradigmas centrales para diversos entornos científicos y tecnológicos.

Al análisis del término Metaheurística se llega desde el término más usual de *Heurística*. En Inteligencia Artificial se emplea el calificativo heurístico, en un sentido muy genérico, para aplicarlo a todos aquellos aspectos que tienen que ver con el empleo de conocimiento en la realización dinámica de tareas [15]. Se habla de heurística para referirse a una técnica, método o procedimiento inteligente para realizar una tarea que no es producto de un riguroso análisis formal, sino de razonamiento común con conocimiento experto sobre la tarea. En especial, se aplica el término heurístico a un procedimiento si trata de aportar soluciones a un problema con un buen rendimiento, en lo referente tanto a la calidad de las propuestas como a los recursos empleados, pero sin una garantía total de su optimalidad.

3.1. Las metaheurísticas en Inteligencia Artificial

Conviene relacionar este concepto con la estrategia de la Inteligencia Artificial que más frecuentemente ha conducido a los éxitos más relevantes en su vertiente tecnológica, la de la Ingeniería Informática. En la resolución de problemas específicos de la Inteligencia Artificial han surgido procedimientos heurísticos exitosos, de los que se ha tratado de extraer lo que es esencial en su éxito para aplicarlo a otros problemas o en contextos más extensos. Como en otros campos de la Inteligencia Artificial (especialmente en el área de los Sistemas Expertos [16]), esta línea de investigación ha contribuido tanto al desarrollo científico del campo de las heurísticas como a extender el éxito de sus resultados a diversas áreas de aplicación. Con esta estrategia se han obtenido, tanto técnicas y recursos computacionales específicos, como pautas de diseño generales para procedimientos heurísticos de resolución de problemas. Las **metaheurísticas** son básicamente estas estrategias generales para construir algoritmos, que quedan por encima de las heurísticas, y van algo más allá (ver [6] y [13] como referencias actuales). Por tanto, las metaheurísticas son el resultado de aplicar la estrategia general de la Inteligencia Artificial en el área de las heurísticas. Además, las metaheurísticas se configuran como un elemento propio de la Inteligencia Artificial ya que pueden integrarse con otras herramientas para actuar como un sistema experto y facilitar su uso genérico a la vez que mejorar su rendimiento. En este sentido, el concepto aún más novedoso de las **hiperheurísticas** obedece al enfoque de los *agentes inteligentes* pues consisten en estrategias para determinar en cada momento de un proceso global de búsqueda de una solución la elección de la metaheurística más apropiada para abordar la etapa en la que se encuentra el proceso utilizando el conocimiento y la información disponible acerca del problema y del propio proceso de solución.

El término metaheurísticas se obtiene de anteponer a heurística el sufijo *meta* que significa "más allá" o "a un nivel superior". El término *metaheurística* apareció por primera vez en el artículo seminal sobre búsqueda tabú de *Fred Glover* en 1986 [5]. A partir de entonces han surgido multitud de propuestas de pautas para diseñar buenos procedimientos para resolver ciertos problemas que, al ampliar su campo de aplicación, merecen la denominación de metaheurísticas. Tomando como base este hecho, se adopta como concepción más común del término la siguiente definición: *las metaheurísticas son estrategias inteligentes para diseñar procedimientos heurísticos generales y con un alto rendimiento.*

3.2. Tipos fundamentales de metaheurísticas

Dado que las metaheurísticas son estrategias para diseñar procedimientos heurísticos generales con alto rendimiento, los tipos de metaheurísticas se establecen, en primer lugar, en función del tipo de procedimientos a los que se refiere. Por tanto, algunos de los tipos fundamentales son las metaheurísticas para los métodos de relajación, las metaheurísticas para los procesos constructivos, las metaheurísticas para las búsquedas por entornos y las metaheurísticas para los procedimientos evolutivos. Estos tipos de metaheurísticas se describen en términos de los procedimientos a que dan lugar de la siguiente manera:

1. Las metaheurísticas **de relajación** se refieren a procedimientos de resolución de problemas que usan relajaciones del modelo original (es decir, modificaciones del modelo que hacen al problema más fácil de resolver), cuya solución facilita la solución heurística del problema original, tanto proporcionando directamente soluciones del modelo relajado como usándolas para conducir el proceso global para su resolución.
2. Las metaheurísticas **constructivas** se orientan a los procedimientos que tratan de la obtención de una solución a partir del análisis y selección paulatina de las componentes que la forman. Frente a las alternativas extremas de seleccionar arbitrariamente o al azar las sucesivas componentes, o seleccionar con una estrategia voraz o *greedy* la componente que presenta las máximas ventajas inmediatas, se tiende a estrategias mixtas o intermedias como las de la metodología GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* [14]) que selecciona al azar una de las mejores con un criterio adaptativo.
3. Las metaheurísticas de **búsqueda** guían procedimientos que usan transformaciones o movimientos para recorrer el espacio de soluciones alternativas y explotar las estructuras de entornos asociadas y se analizan a continuación.

4. Las metaheurísticas **evolutivas** están enfocadas a los procedimientos basados en conjuntos de soluciones que evolucionan sobre el espacio de soluciones alternativas. La novedad fundamental con respecto a la ejecución simultánea de procesos de búsquedas individuales está en la interacción entre los elementos del conjunto de soluciones que evolucionan. Esta interacción se traduce en la combinación de la información proporcionada por varias soluciones para crear otros que los hagan evolucionar. Existen dos tipos fundamentales de formas de combinar esta información para producir nuevos elementos: mediante procedimientos aleatorios o sistemáticos. Los algoritmos genéticos (AG), los algoritmos *Meméticos* y los algoritmos de estimación de distribuciones (EDA) utilizan básicamente procedimientos aleatorios [9], mientras los métodos de reencadenamiento de caminos (*Path-Relinking*) y la Búsqueda dispersa (*Scatter Search*) usan procedimientos sistemáticos [10]. Esta última se está mostrando recientemente más atractiva porque el conjunto de soluciones que evoluciona tiene un tamaño moderado (lo que facilita su utilización integral frente a la de una única propuesta o la de una "población" de ellas) y la combinación se realiza de forma inteligente aprovechando el conocimiento disponible del problema sin dejar apenas margen al azar.

3.2. Las Metaheurísticas de búsqueda

Las metaheurísticas de búsqueda constituyen históricamente el paradigma central del campo de las metaheurísticas. Básicamente se trata de estrategias para recorrer el espacio de soluciones del problema transformando de forma iterativa soluciones de partida. Las primeras heurísticas que se propusieron fueron de este tipo y se obtenían a partir de alguna regla inteligente para mejorar la solución de un problema que se aplicaba iterativamente mientras fuera posible obtener nuevas mejoras. Esto ha dado lugar a numerosas estrategias de búsquedas monótonas (descendentes o ascendentes) o algoritmos escaladores (*hill-climbing*), denominadas comúnmente como **búsquedas locales**. Sin embargo, el término *local* hace referencia a que la mejora se obtiene en base al análisis de soluciones similares a la de búsqueda; llamadas *soluciones vecinas*. Por tanto, siendo estrictos una **búsqueda local** es la que basa su estrategia en el estudio de soluciones del vecindario o entorno de la solución que realiza el recorrido. Las metaheurísticas de búsqueda local son estrategias para diseñar métodos de búsqueda local; examinando el entorno de soluciones vecinas. Las soluciones vecinas se establecen generalmente como las que se obtienen realizando una transformación o movimiento elemental en el espacio de soluciones. Los procedimientos más exitosos para los problemas de establecer rutas de vehículos se basan en varios de estos tipos de movimientos, denominados 1, 2 o 3-intercambio, que modifican la ruta por la se

recorren los puntos a visitar en una, dos o tres posiciones. Por ejemplo, la estrategia miope, voraz o *greedy* aplicada a estos procedimientos establece como pauta elegir iterativamente la mejor de las soluciones vecinas, o equivalentemente el mejor de alguno de estos movimientos, mientras exista alguna mejora posible.

El principal inconveniente de estas búsquedas locales es que quedan atrapadas en un óptimo local (solución que no puede ser mejorada por un análisis local). El propósito fundamental de las primeras propuestas, posteriormente calificadas como metaheurísticas, era extender una búsqueda local para continuarla más allá de los óptimos locales, denominándose **búsqueda global**. En general, las metaheurísticas proponen tres formas de escapar de los óptimos locales de baja calidad: 1) volver a iniciar la búsqueda desde otra solución, 2) modificar la estructura de entornos que se aplica y 3) permitir movimientos que no sean de mejora. Surgen así, las metaheurísticas de **arranque múltiple** (*MultiStart*) [11], las metaheurísticas de **entorno variable** (VNS; *Variable Neighborhood Search*) [8] y las metaheurísticas de búsqueda no monótona. Entre estas últimas distinguimos las de estrategias probabilísticas, siendo el **recocido simulado** (o *Simulated Annealing*) [3] la más representativa, y las estrategias con memoria, representadas por la **búsqueda Tabú** o *Tabu Search* [7], que usan tanto memoria a corto plazo, mediante una Lista Tabú, y memoria a largo plazo, como una Búsqueda Reactiva. Una visión global de las metaheurísticas se obtiene en [12].

4. PROPIEDADES DESEABLES DE LAS METAHEURÍSTICAS

Para el desarrollo y aplicación de las metaheurísticas es conveniente analizar cuales son las propiedades deseables de las metaheurísticas. Podemos convenir que éstas son todas las propiedades que favorecen el interés práctico y teórico. Cada una de ellas indica una dirección a la que dirigir los esfuerzos para contribuir al desarrollo científico y tecnológico de las metaheurísticas. Sin embargo, es presumible que no será posible mejorar todas a la vez; algunas son parcialmente contrapuestas aunque también varias apuntarán en la misma dirección. Una propuesta de relación de propiedades deseable es la siguiente:

1. **Simple.** La metaheurística debe estar basada en un principio sencillo y claro; fácil de comprender.
2. **Precisa.** Los pasos y fases de la metaheurística deben estar formulados en términos concretos.
3. **Coherente.** Los elementos de la metaheurística debe deducirse naturalmente de sus principios.

4. **Efectiva.** Los algoritmos derivados de la metaheurística deben proporcionar soluciones de muy alta calidad; óptimas o muy cercanas a las óptimas.
5. **Eficaz.** La probabilidad de alcanzar soluciones óptimas de casos realistas con la metaheurística debe ser alta.
6. **Eficiente.** La metaheurística debe realizar un buen aprovechamiento de recursos computacionales; tiempo de ejecución y espacio de memoria.
7. **General.** La metaheurística debe ser utilizable con buen rendimiento en una amplia variedad de problemas.
8. **Adaptable.** Debe ser capaz de adaptarse a diferentes contextos de aplicación o modificaciones importantes del modelo.
9. **Robusta.** El comportamiento debe ser poco sensible a pequeñas alteraciones del modelo o contexto de aplicación.
10. **Interactiva.** Debe permitir que el usuario pueda aplicar sus conocimientos para mejorar el rendimiento del procedimiento.
11. **Múltiple.** Debe suministrar diferentes soluciones alternativas de alta calidad entre las que el usuario pueda elegir.
12. **Autónoma.** Debe permitir un funcionamiento autónomo, libre de parámetros o que se puedan establecer automáticamente.

Estas propiedades se pueden agrupar de forma correlativa en cuatro bloques en torno a los objetivos de comprensión, rendimiento, aplicabilidad y utilidad.

4.1. Comprensión

Las propiedades de simplicidad, precisión y coherencia son determinantes para facilitar la comprensión y aceptación por los usuarios y programadores. La **simplicidad** favorece la generalización su uso y posibilita su aplicabilidad inmediata. La descripción formal de las operaciones debe *liberarse* de la *analogía* física o biológica que haya sido la fuente inicial de inspiración para permitir mejoras que no respeten la analogía. La **precisión** en la descripción de los elementos que componen la metaheurística es crucial para concretar un procedimiento de alta calidad; fácil de implementar. La **coherencia** con sus principios implica que los procedimientos básicos de los algoritmos deben traducirse coherentemente de los principios; *debe huirse de sentencias sin sentido o vagas*. Estas propiedades son muy importantes para permitir la aceptación de las tecnologías relacionadas en áreas de planificación logística.

4.2. Rendimiento

El rendimiento de las metaheurísticas, como el de los algoritmos heurísticos, se mide en términos de tres propiedades que, aunque son similares, tienen definiciones diferentes: la efectividad, la eficacia y la eficiencia. Aunque pueden argumentarse en base a características de la metaheurística, tienen que *validarse* experimentalmente. Para validar la **efectividad** y **eficacia** los procedimientos deben afrontar con éxito un banco de casos reales (o simulados próximos a los reales) de solución conocidas. Sin embargo, la **eficiencia** se contrasta experimentalmente en el empleo de un tiempo computacional moderado para alcanzar éxito. Para disponer de los casos reales o de características similares debe contarse con conocimiento sobre el campo de aplicación. Por tanto, para calibrar el rendimiento en un sector empresarial de aplicación es importante contar con la colaboración de una variedad de empresas del sector. Frente a problemas grandes y casos complejos es cuando surgen las fortalezas y debilidades de los procedimientos. En cualquier caso, todas las metaheurísticas pueden y deben mejorar su rendimiento incorporando conocimiento del problema, recursos computacionales e hibridizándose. Cabe resaltar que frecuentemente en los esfuerzos por mejorar el rendimiento los algoritmos se complican y se usan muchos parámetros. Esto, aunque mejore su eficiencia, enmascaran las razones de ello. En algunos casos la especialización lleva a un ajuste fino de parámetros sobre algún conjunto de entrenamiento concreto que en ocasiones se puede realizar de forma automática por el procedimiento aprovechando la experiencia obtenida con su propio funcionamiento.

4.3. Aplicabilidad

La aplicabilidad de una metaheurística se sustenta en su generalidad, adaptabilidad y robustez. La **robustez** se refleja en que el número de parámetros que hay que fijar en una aplicación se mantiene bajo. La **generalidad** se refleja en la diversidad de los campos de aplicación para los que se han utilizado con éxito. La **adaptabilidad** permite que las conclusiones obtenidas al afrontar un conjunto de problemas particular puedan ser aprovechadas en otros contextos. En cualquier caso, la aplicabilidad de las metaheurísticas tiene que ser contrastada experimentalmente analizando el rendimiento frente a variaciones en las características de los problemas. Para analizar estas características en las aplicaciones a la planificación logística hay que considerar variaciones, tanto en los distintos problemas a resolver para una misma empresa como para empresas de características diferentes.

4.4. Utilidad

Para favorecer la utilidad de una metaheurística en aplicaciones reales, incorporándola a un **Sistema de Ayuda a la Decisión**, es importante que se propicie un *interface* amigable. La **interactividad** de los sistemas basados en las metaheurísticas favorece la colaboración con otros campos que proporcionan conocimientos específicos de los problemas para mejorar el rendimiento de la metaheurística. La posibilidad de ofrecer **múltiples** soluciones de alta calidad, realmente diferentes, entre las que los decisores puedan optar contribuye a diseminar su uso en ambientes de alta responsabilidad que no se contentan con una única propuesta. La relativa **autonomía** de implementaciones de la metaheurística permite ganarse la confianza de usuarios poco expertos en las metaheurísticas o en los campos de aplicación al comprobar como el sistema aporta soluciones de calidad sin necesidad de intervención especializada.

La **popularidad** que llegan a alcanzar algunas metaheurísticas es un objetivo secundario cuyo efecto ha podido ser determinante en su desarrollo. Una característica que contribuye a divulgar una metaheurística es la novedad y originalidad de los principios que la inspiran y de los campos de repercusión social a los que se aplica. Algunos claros ejemplos de este hecho son la inspiración en fenómenos naturales de los algoritmos genéticos (y otras metaheurísticas como los Sistemas de Hormigas o las Redes Neuronales), la aplicación a la demostración matemática de la metaheurística de entorno variable (VNS) o la aplicación a la ingeniería genética de las técnicas FANS [1]. Sin embargo, en entornos científicos, tecnológicos, ingenieriles o empresariales el aspecto más relevante es el éxito asociado a la eficiencia y efectividad de los algoritmos derivados de la metaheurística en la solución de casos de gran tamaño o aplicaciones reales y en su incorporación a sistemas de apoyo a las decisiones con herramientas ampliamente disponibles.

5. CONCLUSIONES

Para la resolución práctica de problemas reales de interés que surgen con mucha frecuencia en la planificación logística, no resulta apropiado utilizar procedimientos diseñados a propósito para cada modelo y dependientes de su estructura particular. Ante la necesidad de utilizar algoritmos heurísticos, las metaheurísticas proporcionan pautas y estrategias generales de diseño para obtener heurísticas con un alto rendimiento. De esta forma se dispone de soluciones de alta calidad con un consumo de recursos razonable aprovechando la experiencia y funcionando de forma transparente. Este es uno de los principales motivos para que el impacto práctico de las metaheurísticas esté siendo inmenso en áreas de la

industria y de los negocios. Las características de los problemas que surgen al planificar los aspectos logísticos de la actividad de muchas empresas, junto con la variedad de situaciones puntuales, propician que las metaheurísticas constituyan elementos fundamentales para abordarlos de forma inteligente. Esta metodología permitiría crear herramientas inteligentes que ayuden a dar respuesta eficaz y eficiente a los problemas planteados diariamente.

6. REFERENCIAS

- [1] Blanco, A., Pelta, D.A., Verdegay, J.L. (2003) FANS: una Heurística basada en Conjuntos Difusos para problemas de Optimización. *Inteligencia Artificial*. Numero 19, Volumen 2. Páginas 103-122
- [2] Daskin, M.S, (1995) *Network and Discrete Location*, Wiley.
- [3] Dowslan, K.A., Diaz, A.. (2003) Diseño de Heurísticas y Fundamentos del Recocido Simulado, *Inteligencia Artificial*. Numero 19, Volumen 2, 2003. Páginas 93-102.
- [4] Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.-Y. (1997) Vehicle routing: modern heuristics, in: Aarts, E.H.L., Lenstra, J.K., (Eds.), *Local search in combinatorial optimization*, Wiley, Chichester, 1997, 311-336.
- [5] Glover, F. (1986) Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence, *Computers and Operations Research* 13, 533-549.
- [6] Glover, F. y Kochenberger, G.A. (2003), *Handbook of Metaheuristics*, Kluwer, Boston.
- [7] Glover, F., Melián, B. (2003) Búsqueda Tabú. *Inteligencia Artificial*. Numero 19, Volumen 2. Páginas 29-48
- [8] Hansen, P., Mladenovic, N., Moreno, J.A. (2003) Búsqueda de Entorno Variable, *Inteligencia Artificial*. Numero 19, Volumen 2, 2003. Páginas 77-92.
- [9] Larrañaga, P., Lozano, J.A., Mühlenbein, H. (2003) Algoritmos de Estimación de Distribuciones en Problemas de Optimización Combinatoria. *Inteligencia Artificial*. Numero 19, Volumen 2. Páginas 149-168
- [10] Martí, R., Laguna, M. (2003) Scatter Search: Diseño Básico y Estrategias avanzadas, *Inteligencia Artificial*. Numero 19, Volumen 2, 2003. Páginas 123-130
- [11] Martí, R., Moreno-Vega, J.M. (2003) Métodos Multiarranque, *Inteligencia Artificial*. Numero 19, Volumen 2, 2003. Páginas 49-60.
- [12] Melián, B., Moreno Perez, J.A., Marcos Moreno-Vega, J.M. (2003) Metaheurísticas: Una visión global. *Inteligencia Artificial*. Numero 19, Volumen 2, 2003. Páginas 7-28
- [13] Moreno Pérez, J.A., Moreno Vega, J.M. (eds.) (2003) Monografía: Metaheurísticas. *Inteligencia Artificial*. Numero 19, Volumen 2.

- [14] Resende, M., González Velarde, J.L. (2003) GRASP: Procedimientos de búsquedas miopes aleatorizados y adaptativos. Inteligencia Artificial. Numero 19, Volumen 2. Páginas 61-76
- [15] Russell, S., Norvig, P. (2003) Inteligencia Artificial: un enfoque moderno, Prentice Hall.
- [16] Simon, H.A. (1995). Artificial intelligence: an empirical science. Artificial Intelligence, 77(1), 95-127.