

Una aproximación a la heurística y metaheurísticas

“Algo peor que no tener información disponible es tener mucha información y no saber qué hacer con ella” Anónimo

Orlando de Antonio Suárez*

Resumen

Cuando abordamos problemas cuyo espacio de posibles soluciones se nos facilita conocer, nuestra búsqueda se reduce a hallar un óptimo (*un máximo o un mínimo*) que de una solución al problema dadas unas restricciones. Sin embargo existen problemas de optimización combinatoria complejos en diversos campos como la economía, el comercio, la ingeniería, re-ingeniería de software, comunicaciones, la industria o la medicina, que a menudo son muy difíciles de resolver en la práctica y cuyo modelamiento matemático “*Formulado coherentemente*”, no permite una solución con las herramientas analíticas al alcance. Por eso evaluando la complejidad actual generada en las instituciones y el mundo empresarial, así como la diversidad de fases en que se desarrolla el proceso de cambio institucional, se hace necesario el desarrollo y uso de métodos que permitan el manejo de situaciones problemáticas desde el conjunto de sus partes y desde distintos puntos de vista. Debido a ese bajo rendimiento de los algoritmos exactos para muchos problemas, se han desarrollado un gran número de algoritmos aproximados, que proporcionan soluciones de alta calidad para estos problemas combinatorios (*aunque no necesariamente la óptima*) en un tiempo computacional breve; estos algoritmos incluyen las denominadas técnicas heurísticas y Metaheurísticas.

Palabras clave: Heurísticas, Problemas Duros, Algoritmos, mejores soluciones, procedimientos especiales.

Abstract

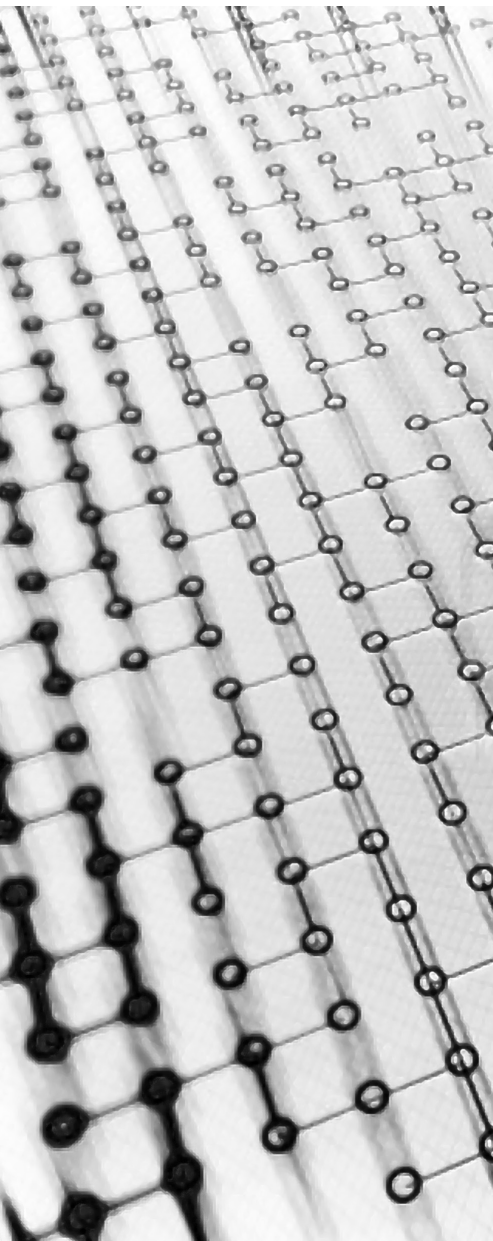
When we are discussing problems which have an easy space of possible solutions to know, our search is reduced to find an optimal (A high point or a minimum point) which gives a solution to the problem once some restrictions were given.

However there are complex problems of combinatorial optimization at various fields like economy, the commerce, the engineering, re-engineering of software, communications, the industry or the medicine, the fact that often they are very difficult from resolving in practice and whose mathematical modeling *Formulated coherently* it does not allows a solution with the analytical tools near by the hands.

Recibido: noviembre 3 de 2010

Aceptado: abril 18 de 2011

* Ing Industrial con Maestría en Ing. Industrial de la Univ Distrital. Docente Facultad de Ingeniería Industrial Universidad Antonio Nariño. odeantonio@uan.edu.co



Because of that testing the actual complexity generated in the institutions and business world, as the diversity in the phases in which de process of institutional change develops, it becomes necessary the development and use of methods that allow the management of problematic situations from the set of its parts and also from different point of views.

Because of that low performance of the exact algorithms for many problems, there has been developed multiple types of approximated algorithms, that provides high quality solutions for this combinatorial problems (though not necessarily the optimal) in a short computational time, these algorithms include the denominated heuristics techniques and metaheuristics.

Keywords: Heuristics, Hard Problems, algorithms, best solutions, special procedures.

Que son Heurísticas

“Heurística” es un concepto que viene desde la Grecia clásica, originado de la palabra griega *heuriskein* cuyo significado es encontrar o descubrir; según la historia se deriva de *eureka*, famosa exclamación atribuida a Arquímedes.

Como se aprecia, etimológicamente la heurística se orienta al estudio del descubrimiento y la invención, (*debidos a la reflexión y no al azar*). En consecuencia, todos los factores y elementos *no racionales* que puedan jugar un papel en la invención y el descubrimiento deben quedar por fuera de la heurística. De esta forma podemos relacionar la heurística con la tarea de resolver problemas inteligentemente utilizando la información disponible.

Aplicado el término heurística en la Investigación Operacional, este toma un significado más exigente, para ilustrar lo anterior se presenta las siguiente definición: “*Se califica de heurístico a un procedimiento para el que se tiene un alto grado de confianza en que encuentra soluciones de alta calidad con un coste computacional razonable, aunque no se garantice su optimalidad o su factibilidad, e incluso, en algunos casos, no se llegue a establecer lo cerca que se está de dicha situación. Se usa el calificativo heurístico en contraposición a exacto*”².

Los problemas altamente complejos son “*difíciles de resolver*” y se les denomina *Problemas NP*, se clasifican en conjuntos o clases de complejidad (L, NL, P, P Completo, NP, NP-Completo, NP Duro...). La mayor parte de los problemas en teoría de la complejidad tienen que ver con los

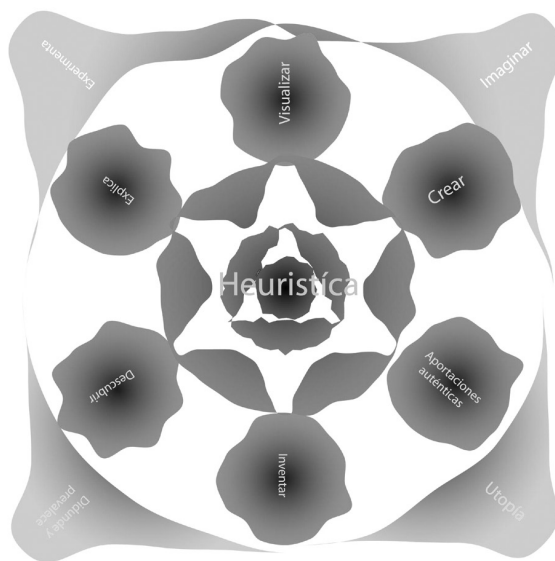


problemas de la clase NP de decisión, y corresponden a problemas a los cuales no podemos garantizar encontrar una mejor solución en un tiempo polinómico razonable.

Es aquí donde los métodos heurísticos se convierten en procedimientos eficientes para encontrar “buenas soluciones” aunque no se pueda comprobar que sean óptimas. En estos métodos, la rapidez del proceso (*que siempre es menor que el tiempo de una solución por otros métodos*) es tan importante como la calidad de la solución obtenida, Por tanto podemos usar métodos heurísticos cuando en un problema de optimización, determinístico o no, se encuentren algunas de las siguientes características:³

- a. El problema es de una naturaleza tal que no se conoce ningún método exacto para su resolución.

- b. Aunque exista un método exacto para resolver el problema, su uso es computacionalmente muy costoso o inviable.
- c. El método heurístico es más flexible que un método exacto, permitiendo, por ejemplo, la incorporación de condiciones de difícil modelización.
- d. El modelo matemático es demasiado grande, demasiado NO lineal o demasiado complejo desde el punto de vista lógico.
- e. El asumir suposiciones o aproximaciones para simplificar el problema, tiende a destruir estructuras del modelo que son vitales en el contexto del mundo real, haciendo la solución no viable.
- f. El método heurístico se utiliza como parte de un procedimiento global que garantiza el óptimo de un problema. Existiendo dos posibilidades:
 - El método heurístico proporciona una buena solución inicial de partida.
 - El método heurístico participa en un paso intermedio del procedimiento, como ejemplo de esto está las reglas de selección de la variable a entrar en la base en el método Simplex.



Un caso particular de los métodos heurísticos es el análisis de recorrido del agente viajero o TSP (*Un agente viajero debe visitar n ciudades, comenzando y finalizando en su propia ciudad. Conociendo el coste de ir de una ciudad a otra, determinar el recorrido de coste mínimo*), el cual, si se hace para un número reducido de ciudades a visitar resulta manejable, pero cuando este número de ciudades se incrementa el espacio de búsqueda de soluciones se hace de muy difícil manejo.

Clasificación de los métodos heurísticos

Se han desarrollado muchos métodos heurísticos de naturaleza muy diferente, en su gran mayoría diseñados para problemas específicos sin posibilidad de generalización o aplicación a otros problemas similares, por lo que es complicado hacer una clasificación adecuada, además por que día tras día, siguen apareciendo nuevos problemas, lo que ha dado lugar a que se presenten muchas propuestas de algoritmos para tratar de solucionarlos. Se presenta a continuación algunas categorías en forma amplia y no excluyente, donde se clasifican algunos de los métodos heurísticos más conocidos:

Métodos de Descomposición: El problema original se descompone en sub-problemas más sencillos de resolver, teniendo en cuenta aunque sea de manera general que todo pertenece al mismo problema. Un ejemplo es la utilización del principio de descomposición o separación de variables complicantes, o descomposición lagrangiana.

Métodos Inductivos: La idea de estos métodos es generalizar las propiedades o técnicas identificadas en estos casos, más fáciles de analizar que se pueden aplicar al problema completo.

Métodos de Reducción: Consiste en identificar propiedades que se cumplen mayoritariamente por las buenas soluciones e introducirlas como restricciones del problema. El objeto es restringir el espacio de soluciones simplificando el problema. El riesgo obvio es dejar fuera las soluciones óptimas del problema original.

Métodos Constructivos: Consisten en construir literalmente paso a paso una solución del problema. Usualmente son métodos deterministas y suelen estar basados en la mejor elección en cada iteración. Estos métodos han sido muy utilizados en problemas clásicos como el del agente viajero.

Métodos de Búsqueda Local: A diferencia de los métodos anteriores, los procedimientos de búsqueda o mejora local comienzan con una solución del problema y la mejoran progresivamente. El procedimiento realiza en cada paso un movimiento de una solución a otra con mejor valor. El método finaliza cuando, para una solución, no existe ninguna solución accesible que la mejore. Un ejemplo clásico es el algoritmo de Ramificación y Poda (*branch and bound*) en programación dinámica.

Una importante ventaja que presentan las heurísticas respecto a las técnicas que buscan soluciones exactas es que, por lo general permiten una mayor flexibilidad y robustez para el manejo de las características del problema, por ello en la aplicación de métodos heurísticos nos enfocamos en los dos objetivos antes mencionados: En generar una buena solución inicial a un problema complejo, y Dada una solución inicial, el método heurístico participa en un paso intermedio del procedimiento para tratar de mejorarla.

Cuando se resuelve un problema por métodos heurísticos, como la optimalidad no está garantizada se debe de medir la calidad de los resultados, evaluando la eficiencia del algoritmo para poder determinar su valía frente a otros. Para tal fin un buen algoritmo heurístico debe de tener las siguientes propiedades:

- a. **Ser eficiente.** Que el esfuerzo computacional sea realista y adecuado para obtener la solución.
- b. **Ser bueno.** La solución debe de estar, en promedio, cerca del óptimo.
- c. **Ser robusto.** La probabilidad de obtener una mala solución (lejos del óptimo) debe ser baja.

La calidad del heurístico se puede medir a través de diversos procedimientos, entre los que podemos contar los siguientes:



a. **Comparación con la solución óptima.**

Aunque normalmente se recurre al algoritmo aproximado por no existir un método exacto para obtener el óptimo, o por ser éste computacionalmente muy costoso, en ocasiones puede que dispongamos de un procedimiento que proporcione el óptimo para un conjunto limitado de ejemplos (usualmente de tamaño reducido). Este conjunto de ejemplos puede servir para medir la calidad del método heurístico.

Normalmente se mide, para cada uno de los ejemplos, la desviación porcentual de la solución heurística frente a la óptima, calculando posteriormente el promedio de dichas desviaciones. Si llamamos (c_h) al coste de la solución del algoritmo heurístico y (c_{opt}) al coste de la solución óptima de un ejemplo dado, en un problema de minimización la desviación porcentual viene dada por la expresión:

$$\frac{c_h - c_{opt}}{c_{opt}} * 100$$

- b. **Comparación con una cota.** En ocasiones el óptimo del problema no está disponible ni siquiera para un conjunto limitado de ejemplos. Un método alternativo de evaluación consiste en comparar el valor de la solución



que proporciona el heurístico con una cota del problema (inferior si es un problema de minimización y superior si es de maximización).

Obviamente la bondad de esta medida dependerá de la bondad de la cota (cercanía de ésta al óptimo), por lo que de alguna manera, tendremos que tener información de lo buena que es dicha cota. En caso contrario la comparación propuesta no tiene demasiado interés.

- c. Comparación con un método exacto truncado.** Un método enumerativo como el de Ramificación y Acotación explora una gran cantidad de soluciones, aunque sea únicamente una fracción del total, por lo que los problemas de grandes dimensiones pueden resultar computacionalmente inabordables con estos métodos. Sin embargo, podemos establecer un límite de iteraciones (o de tiempo) máximo de ejecución para el algoritmo exacto. También podemos saturar un nodo en un problema de maximización cuando su cota inferior sea menor o igual que la cota superior global más un cierto valor (α), (análogamente

para el caso de minimizar). De esta forma se garantiza que el valor de la mejor solución proporcionada por el procedimiento no dista más de (α) del valor óptimo del problema. En cualquier caso, la mejor solución encontrada con estos procedimientos truncados proporciona una cota con la que contrastar el heurístico.

- d. Comparación con otros heurísticos.** Este es uno de los métodos más empleados en problemas difíciles (NP-duros) sobre los que se ha trabajado durante tiempo y para los que se conocen algunos buenos heurísticos. Al igual que ocurre con la comparación con las cotas, la conclusión de dicha comparación está en función de la bondad del heurístico escogido.

- e. Análisis del peor caso.** Uno de los métodos que durante un tiempo tuvo bastante aceptación es analizar el comportamiento en el peor caso del algoritmo heurístico; esto es, considerar los ejemplos que sean más desfavorables para el algoritmo y acotar analíticamente la máxima desviación respecto del óptimo del problema. Lo mejor de este método es que acota el resultado del algoritmo para cualquier ejemplo; sin embargo, por esto mismo, los resultados no suelen ser representativos del comportamiento medio del algoritmo. Además, el análisis puede ser muy complicado para los heurísticos más sofisticados. Aquellos algoritmos que, para cualquier ejemplo, producen soluciones cuyo coste no se aleja de un porcentaje ϵ_b del coste de la solución óptima, se llaman Algoritmos ϵ -Aproximados.

Dentro de los aspectos críticos del diseño de algoritmos esta la elección de la estructura; es decir, el modo en el que se va a definir el problema y sus restricciones, pues de ello dependerá en gran medida el éxito del heurístico.

Qué son metaheurísticas

En la búsqueda de mejores soluciones y de mayor calidad, la investigación en este campo en los últimos veinticinco años, ha centrado su atención en el diseño de técnicas de propósito general

para orientar la construcción de soluciones en las distintas heurísticas. Estas técnicas se llaman comúnmente metaheurísticas y son estrategias para diseñar y/o mejorar los procedimientos heurísticos orientados a obtener un alto rendimiento.

El término metaheurística fue introducido por *Fred Glover* en 1986 y desde entonces se han presentado muchas propuestas de pautas para diseñar mejores procedimientos de solución a problemas combinatorios. Los profesores *Osman* y *Kelly* (1995) introdujeron la siguiente definición⁴: “Los procedimientos Metaheurísticos son una clase de métodos aproximados que están diseñados para resolver problemas de difícil optimización combinatoria, en los que los heurísticos clásicos no son efectivos”.

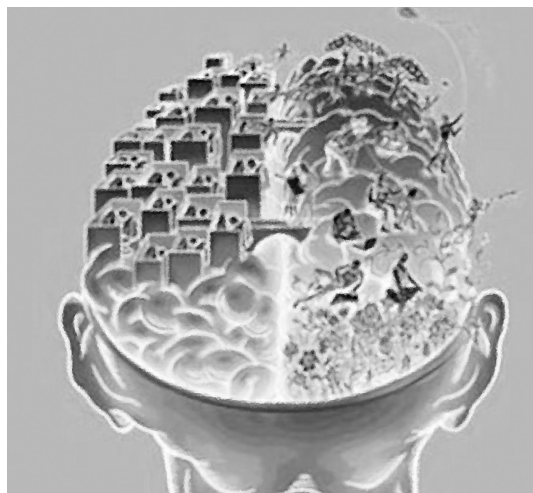
Los Metaheurísticos proporcionan un marco general para crear nuevos algoritmos híbridos, combinando diferentes conceptos de diversos campos como la genética, la biología, la inteligencia artificial, las matemáticas, la física y la neurología, entre otras. Como en general, existe previamente algún método heurístico específico para el problema, la metaheurística puede verse como un marco de trabajo referido a algoritmos que puede aplicarse a diversos problemas de optimización (combinatoria) con pocos cambios significativos. De hecho, las metaheurísticas son ampliamente reconocidas como una de las mejores aproximaciones para atacar los problemas de optimización combinatoria.

Evaluación del rendimiento de los métodos Metaheurísticos⁵

Las propiedades deseables que buscamos son todas aquellas que favorezcan el interés práctico y teórico de las metaheurísticas, sin embargo no será posible mejorar todas las propiedades a la vez, dado que algunas son parcialmente contrapuestas. Una relación de tales propiedades debe incluir las siguientes 11:

- *Simple*. La metaheurística debe estar basada en un principio sencillo y claro; fácil de comprender.

- *Precisa*. Los pasos y fases de la metaheurística deben estar formulados en términos concretos.
- *Coherente*. Los elementos de la metaheurística deben deducirse naturalmente de sus principios.
- *Eficaz*. La probabilidad de alcanzar soluciones óptimas de casos realistas con la metaheurística debe ser alta.
- *Eficiente*. La metaheurística debe realizar un buen aprovechamiento de recursos computacionales: tiempo de ejecución y espacio de memoria.
- *General*. La metaheurística debe ser utilizable con buen rendimiento en una amplia variedad de problemas.
- *Adaptable*. La metaheurística debe ser capaz de adaptarse a diferentes contextos de aplicación o modificaciones importantes del modelo.
- *Robusta*. El comportamiento de la metaheurística debe ser poco sensible a pequeñas alteraciones del modelo o contexto de aplicación.
- *Interactiva*. La metaheurística debe permitir que el usuario pueda aplicar sus conocimientos para mejorar el rendimiento del procedimiento.
- *Múltiple*. La metaheurística debe suministrar diferentes soluciones alternativas de alta calidad entre las que el usuario pueda elegir.



- *Autónoma*. La metaheurística debe permitir un funcionamiento autónomo, libre de parámetros o que se puedan establecer automáticamente.

La evaluación del rendimiento de una metaheurística debe atender tanto a la eficiencia como a la eficacia de los procedimientos heurísticos obtenidos. Para validar la eficacia de una metaheurística, éstas deben afrontar con éxito problemas de un banco de casos para los que se conozcan las soluciones. Si no se dispone de estos casos, se deben construir recurriendo a procesos de simulación que se aproximen a tales circunstancias. La eficiencia del método se contrasta experimentalmente en el empleo de un tiempo computacional moderado (o al menos razonable) para alcanzar éxito en los problemas considerados.

Algunos Métodos Metaheurísticos

Dado que las metaheurísticas son estrategias para diseñar y/o mejorar los procedimientos heurísticos, el tipo de metaheurística estará en función de qué tipo de heurística se pretende mejorar; sin embargo se pueden clasificar en⁶:

Metaheurísticas Inspiradas en la física: Recocido Simulado (Simulated Annealing). - Esta técnica se considera como un algoritmo de búsqueda. Esta inspirado en el proceso de calentamiento y posterior enfriamiento de un metal, para obtener estados de baja energía en un sólido.

Metaheurísticas Inspiradas en la evolución: Son métodos que van construyendo un conjunto de soluciones a diferencia de los otros métodos que sólo pasan de una solución a otra en cada iteración. El procedimiento consiste en generar, seleccionar, combinar y reemplazar un conjunto de soluciones en la búsqueda de la mejor solución⁷. Un ejemplo de metaheurística evolutiva son los Algoritmos Genéticos; el investigador de la Universidad de Michigan John Holland a fines de los 60s desarrolló esta técnica que permitió incorporarla a un programa, y su objetivo era lograr que las computadoras aprendieran por sí mismas. A la técnica que inventó Holland se le llamó originalmente “*planes reproductivos*”;



pero se hizo popular bajo el nombre “*algoritmo genético*” tras la publicación de su libro en 1975.

Esta técnica se basa en los mecanismos de selección que utiliza la naturaleza, de acuerdo a los cuales los individuos más aptos de una población son los que sobreviven, al adaptarse más fácilmente a los cambios que se producen en su entorno. Hoy en día se sabe que estos cambios se efectúan en los genes de un individuo (unidad básica de codificación de cada uno de los atributos de un ser vivo), y que sus atributos más deseables (por ejemplo, los que le permiten adaptarse mejor a su entorno) se transmiten a sus descendientes cuando éste se reproduce sexualmente.

Metaheurísticas Inspiradas en la biología: Una metaheurística bio-inspirada relativamente reciente es la Optimización basada en Colonias de Hormigas (OCH) (“Ant Colony Optimization”, ACO en inglés), Metaheurística que se inspira en el comportamiento estructurado de las colonias de hormigas donde individuos muy simples de una colonia se comunican entre sí por medio de una sustancia química denominada feromona, la repetición de recorridos por los individuos establece el camino más adecuado entre su nido y su fuente de alimentos.

El método consiste en simular computacionalmente la comunicación indirecta que utilizan las hormigas para establecer el camino más corto, guardando la información aprendida en una *matriz de feromonas*.

Conclusiones

- Los problemas del mundo real son de gran complejidad, por lo que no pueden ser resueltos por métodos analíticos, es aquí donde el uso de métodos heurísticos y métodos metaheurísticos para obtener soluciones aproximadas facilita el encontrar mejores soluciones de dichos problemas, dada su flexibilidad tanto en recursos como en aplicabilidad.
- Usadas como herramienta de análisis las heurísticas requerirán de una buena capacidad de cómputo, sin embargo este requisito se ve compensado por el cubrimiento del tema, convirtiéndose al final en un ahorro significativo.
- Para el manejo y uso de modelos heurísticos y Metaheurísticos existe en el mercado software especializado con un muy buen poder de análisis.
- Las soluciones heurísticas y metaheurísticas son interactivas, facilitando al usuario el aportar conocimientos al modelo.

Referencias

- 1 Se considera que un problema está “coherentemente formulado” cuando se han definido las posibles entradas, la forma de la solución y lo que se quiere lograr (la función objetivo), aunque no haya un método de solución evidente.
- 2 Melián, Belén. Pérez, José A. et al. “Metaheurísticas: una visión global”. Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. N.19 pp. 7-28 ISSN: 1137-3601. © AEPIA(2003). <http://www.aepia.org/revista>.
- 3 MARTÍ, RAFAEL. Procedimientos Metaheurísticos en Optimización Combinatoria. <http://www.uv.es/~rmarti/>
- 4 Osman, I.H. and Kelly, J.P. (eds.). Meta-Heuristics: Theory and Applications, Boston USA Ed. Kluwer Academic, (1996).
- 5 Melián, Belén. Pérez, José A. et al. “Metaheurísticas: una visión global”. Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. N.19 pp. 7-28 ISSN: 1137-3601. © AEPIA(2003). <http://www.aepia.org/revista>.
- 6 Melián, Belén. Pérez, José A. et al. “Metaheurísticas: una visión global”. Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. N.19 pp. 7-28 ISSN: 1137-3601. © AEPIA(2003). <http://www.aepia.org/revista>.
- 7 Díaz, A., Glover, F., Ghaziri, H.M., et al, Optimización Heurística y Redes Neuronales. Madrid, Paraninfo, (1996).