



# **Metaheurísticas: Concepto y Propiedades**

**José A. Moreno Pérez.**

**[jamoreno@ull.es](mailto:jamoreno@ull.es)**

**<http://webpages.ull.es/users/jamoreno/>**

**Departamento de Estadística, I.O. y Computación.**

**Universidad de La Laguna**

# Grupo de Computación Inteligente.

## MIEMBROS

- Jesús David Beltrán Cano
- Julio Brito Santana
- Clara Campos Muñoz
- Ignacio J. García del Amo
- Miguel García Torres
- Rayco Jorge Cabrera
- Francisco J. Martínez Rodríguez
- Belén Melián Batista
- José A. Moreno Pérez
- J. Marcos Moreno Vega
- Raquel Rivero Martín



**[gci@ull.es](mailto:gci@ull.es)**

**<http://webpages.ull.es/users/gci/>**

Dep. de Estadística, I.O. y Computación

Universidad de La Laguna

***Metaheurísticas: una revisión actualizada.***

Documento de Trabajo, n. 2/2004. DEIOC.

Universidad de La Laguna

# Una visión actualizada

- ◆ Ofrecer una visión global actualizada del campo de las metaheurísticas, centrada en torno a la noción de metaheurística, una clasificación, su relevancia y el análisis de las cualidades deseables.
- ◆ *Una discusión rigurosa del concepto de metaheurística, una clasificación estructurada y exhaustiva de las diferentes estrategias, un informe completo de las aplicaciones relevantes o el estudio detallado de las características apropiadas de una metaheurística es una empresa imposible de contemplar y a la que contribuyen diversos autores con reflexiones intercaladas en libros o artículos sobre metaheurísticas específicas*

# Contenidos

- Los fundamentos del concepto de metaheurística.
- Los tipos principales de Metaheurísticas.
- El paradigma de las metaheurísticas de búsqueda.
- La gama completa de propuestas aparecidas.
- Los elementos para apreciar su relevancia.
- Las características del Software disponible
- Las propiedades deseables de las metaheurísticas.
- Conclusiones derivadas de la perspectiva.

# Esquema

1. Concepto de Metaheurística.
2. Tipos de Metaheurística.
3. Relevancia de las Metaheurísticas.
4. Propiedades deseables.
5. Comentarios finales (conclusiones).

# 1. Concepto de Metaheurística

- Las heurísticas en IA
- La estrategia de desarrollo de la IA
- Las metaheurísticas en IA.
- El calificativo “heurístico” en IA
- Heurística en Optimización
- El calificativo “heurístico” en IO
- Heurísticas Generales y Específicas
- El término Metaheurística
- Concepto de Metaheurística

# Heurísticas en IA

- En Inteligencia Artificial (IA) 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.
- Se habla de heurística para referirse a una técnica, método o procedimiento inteligente de realizar una tarea que no es producto de un riguroso análisis formal, sino de conocimiento experto sobre la tarea.
- En especial, se usa el término heurístico para referirse a un procedimiento que trata de aportar soluciones a un problema con un buen rendimiento, en lo referente a la calidad de las soluciones y a los recursos empleados.

# Estrategia de la IA

- ◆ En la resolución de problemas específicos 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 ha ocurrido claramente en diversos campos de la IA, en especial con los *sistemas expertos*, esta línea de investigación ha contribuido al **desarrollo** científico del campo de las heurísticas y a **extender** la aplicación de sus resultados.
- ◆ De esta forma se han obtenido, tanto técnicas y recursos computacionales *específicos*, como estrategias de diseño *generales* para procedimientos heurísticos de resolución de problemas.
- ◆ Estas estrategias generales para construir algoritmos, que quedan por encima de las heurísticas, y van algo más allá, se denominan *metaheurísticas*.



# Las Metaheurísticas en IA

- ◆ Las metaheurísticas son estas *estrategias generales para construir algoritmos, que quedan por encima de las heurísticas, y van algo más allá, se denominan metaheurísticas.*

*son el resultado de la estrategia general de la Inteligencia Artificial al aplicarla a las heurísticas*

⇒ desarrollarlas y aplicarlas como *Sistemas Expertos.*

*Las metaheurísticas pueden integrarse como un sistema experto para facilitar su uso genérico a la vez que mejorar su rendimiento.*

# Calificativo de “*heurístico*” en IA

- ◆ La idea más genérica del término **heurístico** está relacionada con la tarea de resolver **inteligentemente** problemas reales usando **conocimiento**.
- ◆ El término *heurística* proviene de una palabra **griega** con un significado relacionado con el concepto de **encontrar** y se vincula a la supuesta exclamación *eureka* de Arquímedes al descubrir su famoso principio.
- ◆ La concepción más común en IA es interpretar que *heurístico* es el **calificativo** apropiado para los procedimientos que, empleando **conocimiento** acerca de un *problema* y de las *técnicas* aplicables, tratan de aportar soluciones (o acercarse a ellas) usando una cantidad de **recursos** (generalmente tiempo) razonable.

# Heurística en Optimización

- ◆ En un problema de **optimización**, aparte de las condiciones que deben cumplir las soluciones factibles del problema, se busca la que es **óptima** según algún criterio de comparación entre ellas.
- ◆ En Optimización Matemática (y en I.O.), el término *heurístico* se aplica a un procedimiento de resolución de problemas de optimización con una concepción diferente:

*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.*

# El calificativo “Heurístico” en IO

- ◆ En Optimización Matemática (y en I.O.), se usa el calificativo heurístico en contraposición a **exacto**, que se aplica los procedimientos a los que se les *exige* que la solución aportada sea óptima y factible.
- ◆ Una *solución heurística* de un problema es la proporcionada por un método heurístico, es decir, aquella solución sobre la que se tiene *cierta confianza* de que es factible y óptima, o de que alcanza un alto grado de optimalidad y/o factibilidad.
- ◆ También es usual aplicar el término heurística cuando, utilizando el conocimiento que se tiene del problema, se realizan modificaciones en el procedimiento de solución del problema que, aunque no afectan a la complejidad del mismo, *mejoran el rendimiento* en su comportamiento práctico.

# Heurísticas Generales y Específicas

- ◆ Unas heurísticas para resolver un problema de optimización pueden ser *más generales o específicas* que otras.
- ◆ Los métodos heurísticos **específicos** deben ser diseñados a propósito para cada problema, utilizando toda la *información* disponible y el *análisis* teórico del modelo.
- ◆ Los procedimientos específicos bien diseñados suelen tener un **rendimiento** significativamente más alto que las heurísticas generales.
- ◆ Las heurísticas más generales, por el contrario, presentan otro tipo de **ventajas**, como la sencillez, adaptabilidad, robustez ...
- ◆ Sin embargo, las heurísticas generales emanadas de las metaheurísticas pueden *mejorar su rendimiento* utilizando recursos computacionales y estrategias inteligentes.

# El término “Metaheurística”

- ◆ El término **metaheurística** se obtiene de anteponer a heurística el sufijo “*meta*” que significa “*más allá*” o “*a un nivel superior*”.
- ◆ Los conceptos actuales de lo que es una metaheurística están basados en las diferentes interpretaciones de lo que es *una forma inteligente de resolver un problema.*
- ◆ Las metaheurísticas son: *estrategias inteligentes para diseñar o mejorar procedimientos heurísticos muy generales con un alto rendimiento.*
- ◆ El término metaheurística apareció por primera vez en el artículo seminal sobre búsqueda tabú de Fred Glover en 1986.
- ◆ 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, han adoptado la denominación de **metaheurísticas**.

# Concepto de Metaheurística

- ◆ Las metaheurísticas son: estrategias generales de diseño de procedimientos heurísticos para la resolución de problemas con un alto rendimiento.
- ◆ Los metaheurísticas se refieren al diseño de los tipos fundamentales de procedimientos heurísticos de solución de un problema de optimización.
- ◆ Las metaheurísticas principales se refieren a métodos de relajación, procesos constructivos, búsquedas por entornos y procedimientos evolutivos.
- ◆ Las metaheurísticas de búsqueda constituyen el paradigma central de estas técnicas en la resolución de problemas de optimización.

# Esquema

1. Concepto de Metaheurística.
2. Tipos de Metaheurística.
3. Relevancia de las Metaheurísticas.
4. Propiedades deseables.
5. Comentarios finales (conclusiones).



## 2. Tipos de metaheurísticas

- ◆ Las metaheurísticas son estrategias para diseñar procedimientos heurísticos. Por tanto, los tipos de metaheurísticas se establecen, en primer lugar, en función del tipo de procedimientos a los que se refiere.

Algunos de los tipos fundamentales son:

1. Las metaheurísticas para los **métodos de relajación**,
2. Las metaheurísticas para los **procesos constructivos**,
3. Las metaheurísticas para las **búsquedas por entornos** y
4. Las metaheurísticas para los **procedimientos evolutivos**.

# Los cuatro tipos fundamentales

1. Las metaheurísticas **de relajación** se refieren a procedimientos de resolución de problemas que utilizan relajaciones del modelo original (es decir, modificaciones del modelo que hacen al problema más fácil de resolver), cuya solución facilita la solución del problema original.
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.
3. Las metaheurísticas de **búsqueda** guían los procedimientos que usan transformaciones o movimientos para recorrer el espacio de soluciones alternativas y explotar las estructuras de entornos asociadas.
4. Las metaheurísticas **evolutivas** están enfocadas a los procedimientos basados en conjuntos de soluciones que evolucionan sobre el espacio de soluciones.

# Otros Tipos de Metaheurística

- ◆ Algunas metaheurísticas surgen combinando metaheurísticas de distinto tipo, como la metaheurística

GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure),  
que combina una fase constructiva con una fase de búsqueda de mejora.

- ◆ Otras metaheurísticas se centran en el uso de algún tipo de recurso computacional o formal especial como

- las redes neuronales,
- los sistemas de hormigas o
- la programación por restricciones

y no se incluyen claramente en ninguno de los cuatro tipos anteriores.

# El papel de las Búsquedas

- ◆ De una u otra forma, todas las metaheurísticas se pueden concebir como estrategias aplicadas a **procesos de búsqueda**, donde todas las *situaciones intermedias* en el proceso de resolución del problema se interpretan como elementos de un *espacio de búsqueda*, que se van modificando a medida que se aplican las distintas *operaciones* diseñadas para llegar a la resolución definitiva.
- ◆ Por ello, y porque los procesos de búsqueda heurística constituyen el *paradigma* central de las metaheurísticas, es frecuente interpretar que el término *metaheurística* es aplicable esencialmente a los *procedimientos de búsqueda* sobre un espacio de soluciones alternativas.
- ◆ Por este mismo motivo dedicamos aquí una atención especial a las *metaheurísticas de búsqueda*.

# 1. Metaheurísticas de Relajación

- ◆ Una cuestión relevante al abordar un problema real es la obtención de un *modelo* que permita emplear una técnica de resolución apropiada.
- ◆ Si con este modelo el problema resulta difícil de resolver se acude a modelos *modificados* en los que es más sencillo encontrar buenas soluciones o en los que los procedimientos son más eficientes.
- ◆ Una *relajación* de un problema es un modelo simplificado obtenido al eliminar, debilitar o modificar restricciones (u objetivos) del problema real.
- ◆ En cualquier formulación siempre existe algún grado de *simplificación*, lo que puede afectar en mayor o menor medida al *ajuste a la realidad* de los procedimientos de resolución y de las soluciones del problema propuestas.
- ◆ Los modelos muy ajustados a la realidad suelen ser muy *difíciles* de resolver, y sus soluciones *difíciles* de implementar exactamente, por lo que se acude a modelos relajados.
- ◆ Las **metaheurísticas de relajación** son:  
*estrategias para el empleo de relajaciones del problema en el diseño de heurísticas.*

# Relajaciones del problema

- ◆ Las *metaheurísticas de relajación* se refieren al diseño, tanto de procedimientos que utilizan formulaciones relajadas del problema para **proponer sus soluciones**, como soluciones del problema, como de procedimientos que usan dichas relajaciones para **guiar las operaciones** realizadas para su resolución.
- ◆ Muchas heurísticas de relajación modifican elementos del problema para proponer la solución de estas modificaciones como *solución heurística* del problema original.
- ◆ Las *buenas relajaciones* son las que simplifican el problema y hacen más eficientes los procedimientos de solución, pero cuya resolución proporciona muy buenas soluciones del problema original.
- ◆ Por ejemplo, para un problema de programación lineal entera, su *relajación lineal* consiste en ignorar la restricción de que las variables sean enteras.
- ◆ Se aplican procedimientos eficientes de programación lineal, como el método del Simplex, a dicha relajación y se propone una solución entera muy próxima a la solución del problema relajado.

# Relajación de restricciones

- En algunos procedimientos se proponen modificaciones del problema que suelen estar encaminadas a relajar las restricciones a las que debe estar sometida la solución, permitiendo que el recorrido *bordee la región factible* para acercarse al óptimo global incluso desde la región no factible.

Entre las metaheurísticas que emplean la relajación de restricciones se encuentran los métodos:

- de *relajación lagrangiana* o
- de *restricciones subordinadas*.

# Relajación del objetivo

- Otras estrategias modifican *la función objetivo* para obtener, de forma más rápida, valoraciones aproximadas (por exceso o por defecto) de la calidad de la solución que orientan la búsqueda, al menos en los estados iniciales.
- Es frecuente encontrar problemas en los que **evaluar** la función objetivo puede significar resolver *otro problema de gran dificultad*, realizar un proceso de simulación o realizar algún tipo de inversión o consumo de recursos.
- Para estos problemas es muy útil encontrar funciones *sencillas de calcular* que den una idea *aproximada* de la calidad de las soluciones sin necesidad de una evaluación ajustada de la función objetivo.



## 2. Metaheurísticas Constructivas

- ◆ Las **heurísticas constructivas** aportan soluciones del problema por medio de un procedimiento que *incorpora iterativamente elementos* a una estructura, *inicialmente vacía*, que representa a la solución.
- ◆ Las metaheurísticas constructivas establecen estrategias para *seleccionar las componentes* con las que se construye una buena solución del problema.
- ◆ Entre las metaheurísticas primitivas en este contexto se encuentra la popular estrategia **voraz** o *greedy*, que implica la elección que da mejores resultados *inmediatos*, sin tener en cuenta una perspectiva más amplia.
- ◆ Dentro de este tipo de metaheurística, destaca la aportación de la **metaheurística GRASP** que, en la primera de sus dos fases, incorpora a la estrategia greedy *pasos aleatorios con criterios adaptativos* para la selección de los elementos a incluir en la solución.

# 3. Metaheurísticas de Búsqueda

- ◆ El tipo de metaheurística más importante es el de las metaheurísticas de búsqueda, que establecen estrategias para *recorrer* el espacio de soluciones del problema *transformando* de forma iterativa *soluciones* de partida.
- ◆ Las búsquedas **evolutivas** se distinguen de éstas en que es un conjunto de soluciones, generalmente llamado **población** de búsqueda, el que evoluciona sobre el espacio de búsqueda.
- ◆ La concepción **primaria** de heurística más frecuente era la de alguna regla *inteligente* para mejorar la solución de un problema que se aplicaba *iterativamente* mientras fuera *posible* obtener nuevas mejoras. Tales procesos se conocen como **búsquedas monótonas** (descendentes o ascendentes), **algoritmos escaladores** (*hill-climbing*) o **búsquedas locales**. Esta última denominación obedece a que la mejora se obtiene en base al análisis de soluciones similares a la que realiza la búsqueda; denominadas *soluciones vecinas*.
- ◆ Estrictamente hablando, 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.

# Metaheurísticas de Búsqueda Local

- ◆ Las **metaheurísticas de búsqueda local** son las estrategias o pautas generales para diseñar métodos de búsqueda local, como la estrategia voraz o greedy.
- ◆ Esta metaheurística establece como pauta, una vez consideradas cuales son las soluciones que intervienen en el *análisis local*, elegir iterativamente la **mejor** de tales soluciones mientras **exista** alguna mejora posible.
- ◆ Sin embargo, se suele asumir que las búsquedas locales sólo modifican la solución que realiza el recorrido mediante una mejora *en su propio entorno*.
- ◆ El principal inconveniente de estas búsquedas locales es que se quedan *atrapadas* en un **óptimo local**, una solución que no puede ser mejorada por un análisis local.
- ◆ Por ello, el propósito fundamental de las primeras metaheurísticas era *extender* una búsqueda local para continuarla más allá de los óptimos locales, denominándose **Búsqueda Global**.

# Metaheurísticas de Búsqueda Global

- ◆ Las metaheurísticas de **búsqueda global** incorporan pautas para tres formas básicas de *escapar de los óptimos locales* de baja calidad:
  - 1) volver a iniciar la búsqueda desde otra solución de arranque,
  - 2) modificar la estructura de entornos que se está aplicando y
  - 3) permitir movimientos o transformaciones de la solución de búsqueda que no sean de mejora.
- ◆ Surgen así, respectivamente, **las metaheurísticas de arranque múltiple**, **las metaheurísticas de entorno variable** y **las metaheurísticas de búsqueda no monótona**.
  - 1) Las **metaheurísticas de arranque múltiple** establecen pautas para *reiniciar* de forma inteligente las búsquedas descendentes.
  - 2) Las **metaheurísticas de entorno variable** modifican de forma sistemática el *tipo de movimiento* con el objeto de evitar que la búsqueda se quede atrapada por una estructura de entornos rígida.
  - 3) Las búsquedas que también aplican *movimientos de no mejora* durante el recorrido de búsqueda se denominan **búsquedas no monótonas**.

# Búsquedas no Monótonas

- ◆ Las metaheurísticas para búsquedas no monótonas *controlan* los posibles movimientos de *empeoramiento* de la solución mediante *criterios de aceptación estocásticos* o utilizando la memoria del proceso de búsqueda.
- ◆ Las **metaheurísticas de búsqueda estocásticas** establecen pautas para *regular la probabilidad* de aceptar transformaciones que no mejoren la solución.
- ◆ El **Recocido Simulado** es el exponente más importante de este tipo de metaheurísticas donde la probabilidad de aceptación es una *función exponencial del empeoramiento producido*.
- ◆ Las **metaheurísticas de búsqueda con memoria** utilizan información sobre el recorrido realizado para *evitar* que la búsqueda se concentre en una misma zona del espacio.
- ◆ Fundamentalmente se trata de la **Búsqueda Tabú** cuya propuesta original *prohíbe temporalmente soluciones* muy parecidas a las últimas soluciones del recorrido.

# 4. Metaheurísticas Evolutivas

- ◆ Las metaheurísticas evolutivas establecen estrategias para *conducir* la evolución en el espacio de búsqueda de conjuntos de soluciones (usualmente llamados **poblaciones**) con la intención de acercarse a la solución óptima *con sus elementos*.
- ◆ El aspecto fundamental de las heurísticas evolutivas consiste en la *interacción* entre los miembros de la población frente a las búsqueda que se guían por la información de soluciones individuales.
- ◆ Las diferentes metaheurísticas evolutivas se distinguen por la forma en que *combinan* la información proporcionada por los elementos de la población para hacerla evolucionar mediante la obtención de *nuevas soluciones*.
- ◆ Los algoritmos genéticos y meméticos y los de estimación de distribuciones emplean fundamentalmente *procedimientos aleatorios*, mientras que las metaheurísticas de búsqueda dispersa o de reencadenamiento de caminos (*Path-Relinking*) emplean *procedimientos sistemáticos*.

# Otros tipos de metaheurísticas

- ◆ Otras metaheurísticas que aparecen en varias clasificaciones corresponden a tipos **intermedios** entre los anteriores.

Entre ellas destacan:

- las **metaheurísticas de descomposición** y
- las **metaheurísticas de memoria a largo plazo**.

- ◆ Otras metaheurísticas se configuran como **híbridos** al incorporar elemento de otras más simples.

- La metaheurística **GRASP**:  
incluye una fase constructiva y una fase de mejora
- La metaheurística de **Arranque Múltiple**:  
Incluye una fase de generación de soluciones y una fase de mejora

# Metaheurísticas de Descomposición

- ◆ Las metaheurísticas de descomposición establecen pautas para resolver un problema determinando **subproblemas** a partir de los que se **construye** una solución del problema original.
- ◆ Se trata de metaheurísticas intermedias entre las de *relajación* y las *constructivas*, ya que se refieren básicamente a las características que se pretenden obtener en los subproblemas y a cómo integrar las soluciones de estos subproblemas en una solución del problema original.
- ◆ El objetivo fundamental es obtener subproblemas significativamente *más fáciles* de resolver que los originales, y cuyas soluciones puedan ser utilizadas *efectivamente*.
- ◆ Este es el tipo de metaheurística más apropiada para la aplicación de *estrategias de paralelización*, donde es muy importante el equilibrio entre los subproblemas obtenidos.



# La Memoria a largo plazo

- ◆ Las metaheurísticas de *memoria a largo plazo* constituyen el caso más relevante de las metaheurísticas de **aprendizaje** y se sitúan entre las de arranque múltiple y las derivadas de la búsqueda tabú.
- ◆ Por ejemplo, diversas metaheurísticas se refieren al uso de *información* sobre las características y propiedades comunes a *soluciones de alta calidad* o sobre las *decisiones de mejora* adoptadas durante el proceso de solución.
- ◆ Esta información permite mejorar el rendimiento de la búsqueda de arranque múltiple ajustando los parámetros que *modulan* la **exploración** y la **explotación** del proceso.
- ◆ Se incluyen en las metaheurísticas de aprendizaje ya que son capaces de emplear *información obtenida en la aplicación del propio procedimiento*, tanto a un problema específico como a un tipo o clase específica de problemas.

# Esquema de Clasificación

1. Relajación (Lagrangiana, Restricciones surrogadas ...)
  - Proponer soluciones
  - Guiar la búsqueda
2. Constructivas
  - Greedy, Aleatoria, GRASP
3. Búsqueda
  - Búsqueda Local
  - Búsqueda Global:
    - MultiStart (MS)
    - Entorno Variable (VNS)
    - Memoria (Tabú Search)
    - Estocásticas (Simulated Annealing)
4. Evolutivas
  - Evolución estocástica (AG, Meméticos, EDAs)
  - Evolución determinística (Scatter Search, Path-Relinking)

Otras: Descomposición, Memoria a largo plazo

Mixtas: GRASP. Multi-Arranque

Lista: NN,PR,ACO,EO,PSO,ILS,GLS,CH,FANS,RS,CP,NM,TA,BA,MOMH

# Esquema

1. Concepto de Metaheurística.
2. Tipos de Metaheurística.
3. Relevancia de las Metaheurísticas.
4. Propiedades deseables.
5. Comentarios finales (conclusiones).

# Relevancia de las Metaheurísticas

Se refleja en:

- La publicación de libros dedicados expresamente a metaheurísticas.
- La aparición de artículos, especialmente revisiones o reviews, números especiales de revistas, sobre metaheurísticas.
- Los recursos disponibles en la red (páginas webs) que incluyen información sobre metaheurísticas.
- Los programas o software específico que incluyen la aplicación de metaheurísticas,
- etc.

# Libros sobre metaheurísticas (I)

Hasta 2000:

- Antes de 1995 aparecen varios libros sobre una metaheurística en particular; fundamentalmente Algoritmos Genéticos (D.E. Goldberg (1989)).
- El texto de C. Reeves “Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems” (1993) con capítulos de las metaheurísticas más relevantes.
- El libro editado por V.J. Rayward-Smith “Applications of Modern Heuristic Methods” (1995) que recoge aplicaciones de diferentes metaheurísticas.
- El único texto en español en estos años es el coordinado por Adenso Díaz y otros titulado “Optimización Heurística y Redes Neuronales” (1996) con capítulos dedicados a las metaheurísticas más importantes.
- Antes de 2000 aparecen más textos sobre algunas metaheurísticas específicas:
- Destaca “Tabu Search” de M. Laguna y F. Glover (1997).

# Libros sobre metaheurísticas (II)

- En 2000 destaca el excelente carácter pedagógico del texto de Michalewicz y Fogel “How to Solve It: Modern Heuristics”.

Desde 2000 aparecen:

- Dos textos sobre aplicaciones en telecomunicaciones Oates et al. (2000) y Bhargava y Ye (2002),
- El texto de Voss y Woodruff (2002) sobre implementaciones
- El libro de Laguna y Martí sobre Scatter Search (2002).
- Varios dedicados a los algoritmos genéticos (Reeves y Rowe (2002)
- Las colecciones Laguna y González Velarde (2000) y Ribeiro y Hansen (2001) derivados de congresos respectivos.
- El texto de compendio más reciente de Glover y Kochenberger (2003)
- Ya se dispone de nuevos títulos (Dorigo y Stutzle (2004))

# Literatura en Español

La literatura en español es escasa.

- El primer texto coordinado por  
A. Díaz “Optimización Heurística y Redes Neuronales” (1996)
- El texto de carácter docente  
“Heurísticas en Optimización” J.A. Moreno y J.M. Moreno (2000)
- Artículo de revisión  
“Metaheurísticas: una visión global”, Melián, Moreno y Moreno (2003)
- La monografía coordinada por J.A. Moreno y J.M. Moreno:  
Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial  
Num. 19, Volumen 2, Primavera-Verano 2003.  
<http://sensei.ieec.uned.es/cgi-bin/aepia/contenidoNum.pl?numero=19>

# La Monografía

**Inteligencia Artificial, Num. 19, Volumen 2, 2003.**

- 1. Metaheurísticas: Una visión global** Melián, Moreno, Moreno-Vega,
- 2. Búsqueda Tabú.** Glover, Melián.
- 3. Métodos Multiarranque.** Marti, Moreno-Vega,.
- 4. GRASP: Procedimientos de búsquedas miopes aleatorizados y adaptativos.** Resende, González Velarde,
- 5. Búsqueda de Entorno Variable.** Hansen, Mladenovic, Moreno.
- 6. Diseño de Heurísticas y Fundamentos del Recocido Simulado.** Dowsland, Diaz.
- 7. FANS: una Heurística basada en Conjuntos Difusos para problemas de Optimización.** Blanco, Pelta, Verdegay.
- 8. Scatter Search: Diseño Básico y Estrategias avanzadas.** Martí, Laguna.
- 9. Una Introducción a los Algoritmos Meméticos.** Moscato, Cotta Porras.
- 10. Algoritmos de Estimación de Distribuciones en Problemas de Optimización Combinatoria.** Larrañaga, Lozano, Mühlenbein.
- 11. Técnicas de resolución de problemas de satisfacción de restricciones.** Manyá, Gomes.



# Artículos sobre metaheurísticas

- Frecuentes artículos de Revisión sobre Metaheurísticas.
- Diversos volúmenes especiales sobre metaheurísticas han venido apareciendo en diversas colecciones editoriales o revistas periódicas de los campos de Investigación Operativa, Inteligencia Artificial, Ingeniería y Ciencias de la Computación.
- Además, en estas publicaciones se observa un incremento considerable del número de trabajos que incluyen procedimientos heurísticos en los que se realizan planteamientos estándares de las metaheurísticas.
- Las estadísticas de frecuencias de papers de las distintas metaheurísticas:
  - GA, AE, SA, TS, VNS, MS, ...,

# Revistas sobre Metaheurísticas

Desde 1985 se viene publicando la revista:

- *Journal of Heuristics* (kluwer).

que concentra una parte importante de las publicaciones en este campo

Otras revistas relevantes en metaheurísticas son:

- *Computational Optimization and Applications* (kluwer)
- *Computers and Operations Research* (Elsevier)
- *European Journal of Operational Research* (Elsevier)
- *INFORMS Journal on Computing* (INFORMS)
- *Journal of Combinatorial Optimization* (kluwer)
- *Evolutionary Computation* (MIT press)

# Enlaces relacionados

Diversas asociaciones, entidades y proyectos ofrecen información sobre metaheurísticas en Internet.

- La red *HEUR* {<http://heur.uv.es/>} se creó en 2002 financiada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología a través del el proyecto TIC2002-10886E con 15 grupos y 101 miembros. Con el objetivo de la red es la difusión de los métodos metaheurísticos, así como la interacción entre los distintos grupos, la red proporciona en este portal tutoriales y artículos de investigación sobre procedimientos metaheurísticos.
- El grupo *EURO Working Group/European Chapter* en Metaheurísticas (EU/ME) proporciona abundante información en su página sobre las distintas metaheurísticas (<http://www.euro.org>).
- La red de excelencia sobre Metaheurística (*Metaheuristics Network*) (<http://www.metaheuristics.org/>) financiada por la unión europea dedica especial atención a algunas metaheurísticas.

# Sitios de Metaheurísticas

Sobre metaheurísticas específicas se tienen los siguientes enlaces:

- El sitio oficial de la Búsqueda por Entorno Variable (VNS)  
<http://vnsheuristic.ull.es>
- La página sobre Ant Colony Optimization de M. Dorigo  
<http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/ACO/ACO.html>
- La página sobre Algoritmos Meméticos de Moscato  
[http://www.densis.fee.unicamp.br/~moscato/memetic\\\_home.html](http://www.densis.fee.unicamp.br/~moscato/memetic\_home.html) }
- La página Reactive Search de R. Battiti  
<http://rtm.science.unitn.it/~battiti/reactive.html>
- La página sobre Tabu Search de C. Rego and F. Glover  
<http://www.tabusearch.net/>
- Sobre Simulated Annealing  
<http://www.taygeta.com/annealing/simanneal.html>.
- La red EvoNET sobre computación evolutiva.  
<http://evonet.dcs.napier.ac.uk/>

# Congresos

Los congresos más relevantes en este campos son los siguientes:

- Los congresos españoles de *Metaheurísticas, Algoritmos Evolutivos y Bioinspirado* que en su cuarta edición (MAEB'04) se ha celebrado en Córdoba y la quinta se celebrará en Septiembre de 2005 en Granada dentro del Primer Congreso en Informática
- Las *European Conference on Evolutionary Computational*, EVOCOP 200?
  - Su cuarta edición se celebró del 3 al 5 de Abril en Coimbra y
  - La quinta se celebrará en Lausana (Suiza) del 30-3-2005 al 1-4-2005  
(<http://evonet.lri.fr/eurogp2005/>)
- Las *Metaheuristics International Conference: MIC 200?*
  - La quinta edición se decelbró en Kyoto (Japón) (MIC 2003)
  - La sexta se celebrará del 22 a 26 Agosto del 2005 en Viena  
(<http://www.mic2005.org/>)

# Software sobre metaheurísticas

Dos líneas principales:

- Implementación de Código eficiente.

- Desarrollo de entornos generales.

Objetivo:

reducción del tiempo de especificación de problemas y la solución del mismo.

Especificación del problema:

- Herramientas de representación de modelos, problemas y prototipos.

Metodologías de generación de código general:

- Esqueletos, plantillas, librerías, templates, frameworks, ...

- Programación procedimental, modularidad, Orientada a objetos, encapsulamiento, programación funcional, reusabilidad del Software, ...

Estas herramientas deben estar capacitadas para especificar e implementar diversas estrategias de resolución, implementar diversas metaheurísticas generales

# Algunos títulos (I)

- AMPL ([www.ampl.com/](http://www.ampl.com/)), CPLEX ([www.cplex.com/](http://www.cplex.com/)), OPL (de de ILOG [www.ilog.com](http://www.ilog.com/)),
- SALSA de Laburthe y Caseau
- *Framework* de Andreatta, Carvalho y Ribeiro
- *HotFrame*: de S. Voss y A. Fink
- FANS, del grupo MODO (UGR)
- Local++, EasyLocal++ de L. Di Gaspero y Schaerf  
(<http://tabu.diegm.uniud.it/EasyLocal/>)
- Ferland, Hertz, Lavoie
- TabOOBuilder de Graccho y Porto

# Algunos títulos (II)

- MAFRA de Krasnogor y Smith
- Localizer, Localizer++ de L. Michel, P. Van Hentenryck
- OptQuest de Glover, Laguna y Martí
- MAGMA de Roli y Milano
- METHOOD de Grotehen y Dittrich (univ. Zurich)
- Evolver de Lou Mendelsohn
- GENOCOP de Z. Michalewicz

Libro de Voss y Woodruff (2002)



# Esquema

1. Concepto de Metaheurística.
2. Tipos de Metaheurística.
3. Relevancia de las Metaheurísticas.
4. Propiedades deseables.
5. Comentarios finales (conclusiones).

# 4. Propiedades deseables

Enumerar las propiedades deseables:

- Son todas las propiedades que favorecen el interés práctico y teórico
- Indican direcciones a las que dirigir los esfuerzos para contribuir al desarrollo científico e ingenieril.

No será posible mejorar todas a la vez.

- algunas son parcialmente contrapuestas
- varias apuntan en la misma dirección

- ✓ Simple
- ✓ Precisa.
- ✓ Coherente
- ✓ Efectiva
- ✓ Eficaz
- ✓ Eficiente
- ✓ General.
- ✓ Adaptable.
- ✓ Robusta.
- ✓ Interactiva.
- ✓ Múltiple.
- ✓ Autónoma

# Las propiedades deseables (I)

- **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 debe deducirse naturalmente de sus principios.
- **Efectiva.** La metaheurística debe proporcionar soluciones de muy alta calidad; óptimas o muy cercanas a las óptimas.
- **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.

# Las propiedades deseables (II)

- **General.** La metaheurística debe ser utilizable con buen rendimiento en una amplia variedad de problemas.
- **Adaptable.** Debe ser capaz de adaptarse a diferentes contextos de aplicación o modificaciones importantes del modelo.
- **Robusta.** El comportamiento debe ser poco sensible a pequeñas alteraciones del modelo o contexto de aplicación.
- **Interactiva.** Debe permitir que el usuario pueda aplicar sus conocimientos para mejorar el rendimiento del procedimiento.
- **Múltiple.** Debe suministrar diferentes soluciones alternativas de alta calidad entre las que el usuario pueda elegir.
- **Autónoma.** Debe permitir un funcionamiento autónomo, libre de parámetros o que se puedan establecer automáticamente.

# Comprensión (1-3)

Fácil comprensión: la simplicidad, la precisión y la coherencia.

- La *simplicidad* facilita su uso y amplia su aplicabilidad.  
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.*

# Rendimiento (4-6)

Para validar la *efectividad* y *eficacia* deben afrontarse con éxito un banco de casos reales (o simulados) de solución conocidas.

La *eficiencia* se contrasta experimentalmente en el empleo de un tiempo computacional moderado para alcanzar éxito.

La complejidad de los casos se limita por los recursos disponibles en lugar de por la necesidad de los usuarios.

Frente a instancias grandes surgen las fortalezas y debilidades.

Mejorar su rendimiento incorporando recursos e hibridizándose.

- Los algoritmos se complican y se usan muchos parámetros.
- Aunque mejoren 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.

# Aplicabilidad (7-9)

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 tipo de problemas particular puedan ser aprovechadas en otros contextos.

La aplicabilidad de las metaheurísticas tiene que ser contrastada experimentalmente analizando el rendimiento frente a variaciones en las características de los problemas.

# Utilidad (10-12)

- ◆ Para la utilidad de la metaheurística en aplicaciones reales, incorporándolas a los Sistemas de Ayuda a la Decisión, es importante que se propicien 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.
- ◆ La relativa *autonomía* de implementaciones de la metaheurística permite ganarse la confianza de usuarios poco expertos en optimización o en los campos de aplicación.



# Popularidad

Una característica que contribuye a divulgar una metaheurística es la novedad u originalidad de los principios que la inspiran y de los campos de repercusión social a los que se aplica.

Por ejemplo:

- La inspiración en fenómenos naturales de los algoritmos genéticos (y otras metaheurísticas como:  
    Hormigas, Redes Neuronales, Bionómicos, Bandadas, ...
- La aplicación a la demostración matemática de la metaheurística de entorno variable.
- La aplicación a la ingeniería genética de las técnicas FANS.

En entornos científicos, tecnológicos, ingenieril o empresarial: 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.

# Esquema

1. Concepto de Metaheurística.
2. Tipos de Metaheurística.
3. Relevancia de las Metaheurísticas.
4. Propiedades deseables.
5. Comentarios finales (conclusiones).

# 5. Comentarios Finales

- ✓ Tendencias actuales en la investigación en Metaheurísticas.
- ✓ El papel de la intuición en las Metaheurísticas.
- ✓ La comprensión de las Metaheurísticas.
- ✓ Organización del tópico de las Metaheurísticas.
- ✓ Polémicas en el campo de las Metaheurísticas.
- ✓ Las comparativas de Metaheurísticas.
- ✓ Conclusiones de una visión global

# Tendencias en la Investigación

- ◆ Se observan diversas tendencias en las investigaciones sobre técnicas metaheurísticas.
- ◆ Unas tratan de mantener la *pureza* de los métodos y comprobar su efectividad en nuevos problemas, sin incorporar herramientas de otras metaheurísticas,
- ◆ Otras investigaciones, desde una perspectiva más ingenieril, tratan de aprovechar los recursos proporcionados por cada una de ellas.
- ◆ Para estos últimos, la única cuestión relevante es conocer si el beneficio en el rendimiento, proporcionado por la inclusión de tales herramientas, compensa al esfuerzo de su implementación y al incremento de la complejidad de los códigos resultantes.

# El papel de la intuición

- ◆ El campo de investigación sobre las metaheurísticas ofrece más oportunidades para aplicar la intuición que la deducción.
- ◆ En contraste con el éxito práctico de muchas metaheurísticas, el estudio teórico está más retrasado.
- ◆ Frecuentemente se obtienen buenas nuevas heurísticas, con algo de inventiva y gran esfuerzo en el ajuste de numerosos parámetros, pero las razones de por qué funcionan tan bien permanecen desconocidas.
- ◆ La situación es incluso peor para los híbridos, donde las aportaciones de las metaheurísticas implicadas y el beneficio de la interacción raramente son objetos de un estudio experimental bien diseñado.

# Comprensión de las metaheurísticas

- ◆ Algunas propuestas encaminadas a una mejor comprensión de estos aspectos son el estudio de la influencia de la topografía de los óptimos locales y de las trayectorias seguidas por los procesos de búsqueda heurística.
- ◆ El análisis de la evolución de las distancias al óptimo frecuentemente se centran exclusivamente en la desviación del objetivo alcanzado frente al mejor posible.
- ◆ Se puede obtener información más útil si se consideran distancias entre las propias soluciones y no sólo su valor.

# Organización del tópic

- ◆ Los intentos por organizar este campo son numerosos, pero los conceptos principales son raramente definidos con precisión y hay todavía muy pocos teoremas significativos.
- ◆ Ninguna estructura ha conseguido una aceptación general.
- ◆ Más bien, cada grupo de investigación inspirador de una metaheurística tiene su propio punto de vista y habilidad para explicar muchas heurísticas en su propio vocabulario así como para absorber ideas de todo el campo (generalmente bajo la forma de híbridos).

# Las polémicas

- ◆ La peor consecuencia de este hecho es la tendencia a la proliferación de reclamaciones de prioridades basadas en evidencias tan vagas que son difíciles de evaluar.
- ◆ Con algunos argumentos o la reutilización de términos en la descripción de unas metaheurísticas y otras, se puede interpretar que una de ellas es la otra definida de manera incompleta (si no se especifica algún elemento importante o es descrito por alguna vaga metáfora) o como un caso particular, al restringir el tipo de herramienta aplicada a un tipo de problema.
- ◆ Esto sería igualmente arbitrario.
- ◆ Parece que el carácter babélico de la investigación en metaheurísticas es, esperemos que temporalmente, ligeramente deshonesto.
- ◆ Mientras esto permanezca así, éxitos claros en problemas particulares serán más importantes para evaluar las metaheurísticas que largas controversias.



# Comparativas

- ◆ Finalmente, cuando se consideren globalmente las cualidades deseables de las metaheurísticas, las comparativas de eficiencia no tendrían el papel tan dominante, algunas veces exclusivo, que se les da en muchos artículos.
- ◆ El propósito de estas investigaciones debe ser la comprensión de las metaheurísticas, no la competición entre ellas.
- ◆ Otras cualidades de las heurísticas y las metaheurísticas distintas que la eficiencia pueden ser tan importantes a la larga, como la simplicidad, la precisión, la robustez, y, sobre todo la, amigabilidad.

# Conclusiones

- ◆ Para la resolución práctica de problemas de interés, no resulta apropiado utilizar sólo 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 escapando de óptimos locales.
- ◆ Las metaheurísticas aportan soluciones de alta calidad con un consumo de recursos razonables, aprovechando la experiencia y funcionando de forma transparente por lo que el impacto práctico de las metaheurísticas está siendo inmenso.
- ◆ De cara a los EDSS, es preferible proporcionar un número moderado de soluciones diversas de muy alta calidad con un esfuerzo moderado, para lo que son útiles las búsquedas evolutivas inteligentes (*Scatter Search*).

# GRACIAS

José A. Moreno

[jamoreno@ull.es](mailto:jamoreno@ull.es)