

# Web temática sobre algoritmos evolutivos y otras metaheurísticas para problemas de optimización continua

Daniel Molina	Carlos García	Manuel Lozano	Francisco Herrera
E. Superior Ingeniería	E. Politécnica Superior	ETS Ingeniería Informática	ETS Ingeniería Informática
Univ. de Cádiz	Univ. de Córdoba	Univ. de Granada	Univ. de Granada
daniel.molina@uca.es	in1gamac@uco.es	lozano@decsai.ugr.es	herrera@decsai.ugr.es

## Resumen

Los problemas de optimización continuos (optimización de variables en dominios continuos) se han consolidado como un campo de investigación muy activo. Un aspecto que siempre ha perjudicado la introducción en este campo es la gran diversidad de metaheurísticas existentes, y la dificultad para comparar entre sí los resultados obtenidos por éstas. El motivo es la no existencia de un marco común de experimentación. En los últimos años se han hecho distintas propuestas que empiezan a ser utilizadas, pero no existía ningún lugar de referencia centralizando los resultados de los distintos algoritmos que los utilizan.

En este trabajo presentamos un portal web (<http://sci2s.ugr.es/EAMHCO>) que permite centralizar toda esa información: Por un lado, introduce los distintos modelos de metaheurísticas para dominios continuos, tanto clásicos como del *estado del arte* actual, y realiza un seguimiento del campo en los distintos congresos. A su vez, centraliza información sobre los distintos marcos experimentales propuestos, almacenando resultados obtenidos por distintos algoritmos que los usan; y contiene distintas implementaciones de los algoritmos más populares.

## 1. Introducción

Muchos problemas reales pueden formularse como problemas de optimización de parámetros con variables en dominios continuos (*problemas de optimización continua*). En los úl-

timos años, este campo de optimización global ha experimentado un desarrollo muy activo, produciéndose distintos tipos de algoritmos adaptados [11, 3] o específicamente diseñados para este tipo de optimización que han originado distintos modelos de metaheurísticas especialmente orientados para optimización continua [12, 9].

El área de la optimización continua se ha ido consolidando, como puede observarse por el alto número de trabajos asociados tanto en revistas, como en congresos, en donde en los últimos años se han celebrado sesiones especiales. En la edición del 2005 del Congreso IEEE de Computación Evolutiva [6] se produjo una primera sesión específica de optimización continua que ha continuado con sesiones adicionales más específicas en las ediciones del 2008 y 2010, sobre problemas continuos con restricciones, y problemas continuos de alta dimensionalidad.

En otros modelos de optimización, como la optimización combinatoria, las metaheurísticas suelen tener a su disposición un conjunto de problemas ampliamente reconocidos, y casos (ejemplos) libremente disponibles para esos problemas. En el dominio continuo hay también distintas funciones ampliamente conocidas y extendidas [13]. Sin embargo, tanto la variedad y falta de un conjunto estándar de funciones, como la variedad de condiciones de la experimentación, dificulta la comparación entre las propuestas de artículos distintos.

En los últimos años, para intentar evitar este problema, en las distintas sesiones especiales sobre optimización continua se ha definido

un marco experimental. El objetivo, tal y como han sido expresando por sus autores, no es sólo permitir comparar las propuestas presentadas a dichas sesiones, sino que pudiesen ser utilizados en un futuro como referencia, permitiendo a los futuros autores poder comparar los resultados de sus propuestas con los algoritmos anteriores usando el mismo marco experimental. Sin embargo, su uso todavía no se ha popularizado.

A su vez, la amplitud de variantes de cada modelo de metaheurísticas ha conducido a que la comunicación entre investigadores que usan el mismo modelo sea fluida, pero no suele ser de igual forma entre investigadores que abordan el mismo tipo de problemática (problemas de optimización continua en este caso) desde enfoques distintos.

Nosotros presentamos en este trabajo un portal web en inglés (<http://sci2s.ugr.es/EAMHCO>) sobre la aplicación de metaheurísticas para optimización continua, con un doble objetivo. Por un lado, el de servir como referencia a distintos investigadores sobre el estado actual de la optimización continua, ofreciendo mayor visibilidad a los trabajos y congresos sobre este campo. Por el otro, centralizar la información sobre los distintos marcos experimentales que se han difundido, para promover su uso y permitir a los desarrolladores comparar sus resultados entre sí.

En particular, introduce los distintos modelos de metaheurísticas para dominios continuos, indicando tanto referencias clásicas (en revistas, y libros), como últimos artículos del estado del arte en el campo, además de permitir realizar un seguimiento de los trabajos en el campo en los congresos más importantes. A su vez, centraliza la información sobre los distintos marcos experimentales propuestos, almacenando tanto su descripción y código como los resultados obtenidos por distintos algoritmos que los usan. Además, contiene distintas implementaciones de los algoritmos más populares, centralizando las implementaciones de los distintos autores.

Este artículo posee la siguiente estructura, que se refleja en la estructura del propio portal web comentado. En la Sección 2, se des-

cribe la información de los distintos modelos de metaheurísticas. En la Sección 3, describimos la información sobre las principales sesiones especiales. En la Sección 4, se introduce el apartado de implementaciones. En la Sección 5, se detalla el formato sobre funciones de tests y marcos experimentales que se representan. Finalmente, en la Sección 6, se detallan los planes futuros de la web.

## 2. Algoritmos evolutivos y metaheurísticas para optimización continua

Los algoritmos evolutivos (AEs) [1] poseen una serie de ventajas que los hacen muy atractivos para optimización: rendimiento continuo, requieren poca información, facilidad de implementación, . . . . Para poder aplicar AEs a problemas de optimización continua se han ido presentando variantes denominadas AEs con codificación real (AECRs) [4].

Una vez presentadas las características de la optimización continua, la página web presenta distintos tipos de metaheurísticas capaces de abordar problemas en dominios continuos. Esta presentación consta de dos partes:

- Por una parte, una presentación de la variedad de AEs y metaheurísticas aplicadas a la optimización continua. Para mostrar dicha variedad, muestra un listado de las distintas categorías de modelos de AEs que se han aplicado con codificación real, ya sean diseñados originalmente para optimización continua: como *Differential Evolution* (DE) [12], los sistemas de partículas, *Particle Swarm Optimization* (PSO), [8], . . . ; como modelos exitosamente adaptados, como los algoritmos genéticos con codificación real (AGCR) [4], GRASP continuo [5], Tabu Search [2], . . . . Para cada categoría se presenta una única referencia de calidad, o de presentación de la metaheurística (si se diseñó inicialmente para optimización continua), o presentando la principal variante de la misma aplicada a la optimización continua (si es una adaptación).

- Por otro lado, introduce para cada tipo de algoritmo anterior un listado de los artículos más relevantes para optimización continua, presentando tanto los artículos originales, como artículos de calidad que reflejen propuestas recientes.

El objetivo no es presentar una lista exhaustiva, si no el de, en línea con el planteamiento de la página web, servir como medio de referencia para que un investigador pueda estudiar el uso de AEs y demás metaheurísticas para optimización continua. Se plantea tanto para investigadores que vengan de otros campos y quieran introducirse en la optimización continua, como para investigadores que ya estén trabajando en este campo y quieran aprender sobre la aplicación de un tipo de metaheurística en la que no sean expertos.

Evidentemente, ambos apartados se mantienen adecuadamente actualizados. La primera parte se cambia principalmente cuando se plantea una nueva categoría de algoritmo o una propuesta de un tipo de algoritmo que no se hubiese empleado anteriormente para optimización continua. La segunda parte será actualizada con mayor frecuencia, semestralmente, ya que continuamente aparecen nuevas propuestas y artículos. Dicha actualización será anunciada a los autores de los artículos elegidos, y se notificará adecuadamente.

Adicionalmente, se presentan referencias de distintos libros y números especiales centrados en la optimización real, para ofrecer al investigador material para que pueda profundizar.

### 3. Sesiones especiales y competiciones

Tras presentar las distintas propuestas de algoritmos para optimización real, el portal presenta un listado de los distintos trabajos que se han presentado en codificación real, tanto en números especiales, como en sesiones específicas de congresos sobre optimización continua o un tipo específico dentro de ésta.

Un aspecto muy importante es que las distintas sesiones especiales se han planteado co-

mo *competiciones*, y como tales se plantea un mismo marco experimental (conjunto de funciones de tests y las mismas condiciones de ejecución), y se desea conocer los resultados de cada una de las propuestas presentadas. Durante la sesión, los autores presentan sus algoritmos con sus resultados usando el marco propuesto, pudiendo comparar sus resultados únicamente con algoritmos de referencia ofrecidos por los organizadores. Una vez presentadas todas las contribuciones es común que los organizadores muestren al finalizar la sesión unas comparativas entre las propuestas de todos los trabajos. De esta forma, todos los participantes pueden confirmar cómo se ha comportado su propuesta frente al resto, y obtener una visión final de qué modelos (o formas de abordar esos problemas) han conducido a los mejores resultados, tanto a nivel de precisión como a nivel de eficiencia.

Dado que este modelo de competición puede ser de gran interés no sólo para aquellos que han participado, sino también a todo investigador interesado en el tipo de funciones planteadas, nuestro portal ofrece un alto grado de información sobre cada una de estas competiciones:

- Información sobre la sesión especial, y un enlace a la web de la organización de la misma.
- Información sobre las condiciones de la experimentación, almacenada directamente como documentos accesibles de la web.
- Página web en la que se presentan las referencias y los artículos de todas las contribuciones, indicando adicionalmente para cada uno de ellos el algoritmo o algoritmos presentados.
- Una hoja *Excel* que contiene los resultados de cada una de las contribuciones.
- Documento con la comparativa final de los organizadores, junto con la referencia de la publicación asociada.

La Figura 1 presenta un ejemplo extraído de la web.

**Special Session on Real-Parameter Optimization. 2005 IEEE CEC, Edinburgh, UK, Sept 2-5, 2005. Organizers: K. Deb and P.N. Suganthan.**


[Website of the special session](#)

[Problem Definitions and Evaluation Criteria](#)

[Contributions](#)

[Results of the presented algorithms \(Excel file\)](#)

[Analysis of results by N. Hansen](#)



S. Garcia, D. Molina, M. Lozano, F. Herrera, A study on the use of non-parametric tests for analyzing the evolutionary algorithms' behaviour: a case study on the CEC'2005 Special Session on Real Parameter Optimization. *Journal of Heuristics* 15 (2009) 617-644. doi: 10.1007/s10732-008-9080-4.

Figura 1: Ejemplo de Información sobre un congreso

Nuestro objetivo es divulgar los algoritmos y resultados obtenidos más allá de los participantes de la sesión. De esta forma, un investigador podría consultar la comparativa de la sesión, y consultar directamente los resultados y las descripciones de los algoritmos que considere más interesantes (facilitamos para cada artículo el nombre de la propuesta asociada para facilitar este tipo de consulta).

Además, ofrecemos para cada sesión una hoja *Excel* recopilatoria de todos los resultados para facilitar la posibilidad de comparativas adicionales o para poder utilizar estos algoritmos como referencia para trabajos futuros. Es cierto que cada uno de los resultados está accesibles en los artículos correspondientes en forma de tablas, pero consideramos que ofreciéndolos aparte, evitamos trabajo al investigador.

#### 4. Implementaciones

Otro tipo de información que está generalizadamente dispersa es la implementación. Aunque en todo buen artículo científico se detalla complementemente el algoritmo, siempre es conveniente, para poder comparar algoritmos, poder utilizar la implementación de los propios autores.

Desafortunadamente, a menudo las implementaciones de los algoritmos no suelen estar fácilmente disponibles. En ocasiones, están accesibles en páginas web de los autores, o son ofrecidos por éstos si son adecuadamente solicitadas tras contactar con ellos, pero en cualquier caso están dispersas.

Ésa es otra funcionalidad que nuestra página web ofrece, el de almacenar código fuente de metaheurísticas para optimización continua. Actualmente, almacenamos código fuente de distintos algoritmos evolutivos clásicos, obtenidos de sus autores. En los casos que ha sido posible, ofrecemos implementaciones en C/C++, Java, y Matlab, para que el desarrollador use la implementación que más se adapte a sus necesidades. En un futuro esperamos ir incrementando el número de implementaciones, para poder convertirlo en una referencia cada vez más útil.

La Figura 2 presenta un ejemplo extraído de la web.

#### 5. Funciones de test y marcos experimentales

Tal y como se ha comentado en la introducción, un elemento del que siempre ha adolecido la optimización continua es el de ofrecer un

- **Real Coding CHC Adaptive Algorithm**  
This source code implements the real coding CHC algorithm proposed in *Eshelman, L. and Caruana, A. and Schaffer, J. D. Real-Coded Genetic Algorithms and Interval-Schemata. Foundation of Genetic Algorithms, 2, pages 187-202, 1993.*  
  
Source Code (C++) by D. Molina [dmolina@decsai.ugr.es](mailto:dmolina@decsai.ugr.es)
- **Particle Swarm Optimization (PSO)**  
These source code implement the classic Particle Swarm Optimization (PSO) proposed by J. Kennedy and R.C. Eberhart in *J. Kennedy and R.C. Eberhart. Particle Swarm Optimization. Proceeding of IEEE International Conference on Neural Networks, IV, pages 1942-1948, 1995.*  
  
Source Code obtained from [Particle Swarm Page](#):
  - [Source Code \(C\)](#), by Maurice Clerc, from [Maurice Clerc Page](#).
  - [Source Code \(Java\)](#), from project [Project CILib](#).
  - [Source Code \(Matlab\)](#), from [Open Source Project](#).

Figura 2: Ejemplo de implementaciones disponibles en la web

modelo experimental común.

A diferencia de la optimización combinatoria, en la que los artículos se centran sobre un problema concreto y experimentan sobre un conjunto de ejemplos, en optimización continua cada algoritmo suele experimentarse sobre un conjunto variado de funciones teóricas ya reconocidas de la literatura. Aunque dichas funciones puedan repetirse entre distintos artículos, tanto el conjunto de funciones como las condiciones de la experimentación (intervalos de búsqueda, número de evaluaciones, valor umbral, ...), suele diferir, conduciendo a una excesiva variedad experimental. Dicha variedad dificulta en gran medida el utilizar resultados de otros autores para comparar distintos algoritmos entre sí.

Ante esta situación, como se ha indicado anteriormente, se ha producido la tendencia de sugerir en distintas sesiones *competitivas* marcos experimentales, cada uno para un tipo concreto de funciones continuas, que puedan servir de referencia. El objetivo de ellos no se circunscribe a la de la sesión, si no que se proponen para que puedan ser adoptados como estándar *de facto* en publicaciones, facilitando las comparaciones.

Siguiendo nuestro objetivo de centralizar información sobre optimización continua nos hacemos eco de dichos marcos experimentales (o *test suites*), ofreciendo para cada uno de ellos la siguiente información:

- Información sobre el marco experimental, incluyendo tanto su descripción como el código fuente de las funciones.
- Para cada una de las sesiones en optimización continua que utiliza dicho conjunto de tests:
  - Las participaciones correspondientes, tanto en referencia como en artículo.
  - Archivo *Excel* con los resultados de las contribuciones.
  - Análisis de resultados, si los hubiese.
- Artículos y contribuciones adicionales que utilizan el mismo marco experimental.
- Conjunto de resultados de todos los artículos, ya fuesen dentro de uno de los congresos anteriores, o en las publicaciones posteriores, de congreso o de revista.

Actualmente ofrecemos la información sobre el marco propuesto en la Sesión Especial de Optimization Continua del *2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC'2005)*, que es el que ha recibido mayor atención hasta ahora, y otros de carácter más específico, como las funciones de tests de alta dimensionalidad [7, 10].

La Figura 3 presenta un ejemplo extraído de la web.

**25 Benchmark functions (CEC'2005). Dimensions: 10, 30, 50. Special Session on Real-Parameter Optimization. 2005 IEEE CEC, Edinburgh, UK, Sept 2-5, 2005. Organizers: K. Deb and P.N. Suganthan.**

**Problem Definitions and Evaluation Criteria**

Source code obtained from P.N. Suganthan page:  
[Source Code \(C++\)](#)  
[Source Code \(Java\)](#)  
[Source Code \(Matlab\)](#)

**Special Session on IEEE CEC'05 Results**

[Contributions to the Congress](#)  
[Results \(Excel file\)](#)  
[Analysis of results by N. Hansen](#)

**Special Session on VI Spanish Congress Metaheuristics**

[Contributions to the Congress \(Spanish\)](#)  
[Results \(Excel file\)](#)  
[Analysis of results by F. Herrera \(Spanish\)](#)

**Additional Papers**

[List of additional Papers \(Two additional papers\)](#)  
[Results \(Excel file\) \(Two additional papers\)](#)

[All results \(Excel file\)](#)

Figura 3: Ejemplo de información sobre un marco experimental

De esta forma, se incentiva el uso de los marcos experimentales al ofrecer de forma centralizada un conjunto amplio de algoritmos con sus correspondientes resultados, que pueden ser utilizados como valores de referencia para futuros trabajos.

Esta información se actualizará de forma continua. Por un lado, conforme se planteen congresos de optimización continua que propongan nuevos marcos experimentales o utilicen alguno de los existentes se añadirán sus resultados. Por el otro, periódicamente se rastrearán artículos que usen alguno de los anteriores. Evidentemente, estamos abiertos a que los propios autores nos avisen de su uso para añadirlos en la web.

## 6. Conclusiones

Hemos presentado el portal web <http://sci2s.ugr.es/EAMHCO/> que permite centralizar todo tipo de información sobre optimización continua, tanto para facilitar la introducción en el campo de nuevos investigadores, como para facilitar el trabajo de los actuales in-

vestigadores en el campo, fomentando su visibilidad y el uso de marcos experimentales comunes.

En un futuro, esperamos no sólo ir aumentando la web con nueva información (nuevas publicaciones, nuevos congresos, más implementaciones, más resultados ...) que le darán cada vez una mayor utilidad, sino que también tenemos previsto nuevas secciones, como una sección de presentaciones, en las que se incluyan presentaciones relevantes sobre el campo.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos de investigación TIN2008-05854 y P08-TIC-4173.

## Referencias

- [1] T. Bäck, D. B. Fogel, and Z. Michalewicz, editors. *Handbook of Evolutionary Computation*. IOP Publishing Ltd., Bristol, UK, 1997.

- [2] F. Glover. Tabu search for nonlinear and parametric optimization (with links to genetic algorithms). *Discrete Applied Mathematics*, 49(1-3):231–255, 1994.
- [3] F. Herrera and M. Lozano, editors. *Special Issue on Real Coded Genetic Algorithms: Foundations, Models and Operators. Soft Computing*, volume 9:4, 2005.
- [4] F. Herrera, M. Lozano, and A. M. Sanchez. A Taxonomy for the Crossover Operator for Real-coded Genetic Algorithms. *International Journal of Intelligent Systems*, 18(3):204–217, 2003.
- [5] M.J. Hirsch, P.M. Pardalos, and M.G.C. Resende. Solving systems of nonlinear equations with continuous GRASP. *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, 10:2000–2006, 2009.
- [6] *Proceedings of 2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, IEEE Conferences, 2005.
- [7] *Proceedings of 2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, IEEE Conferences, 2008.
- [8] J. Kennedy and R.C. Eberhart. Particle Swarm Optimization. In *IEE International Conference on Neural Networks*, pages 1942–1948, 1995.
- [9] J. Kennedy and R.C. Eberhart. *Swarm Intelligence*. Morgan Kaufmann, 2001.
- [10] M. Lozano and F. Herrera, editors. *Special Issue on Scalability of Evolutionary Algorithms and other Metaheuristics for Large Scale Continuous Optimization Problems. Soft Computing. In press*, 2010.
- [11] Z. Michalewicz and P. Siarry, editors. *Special Issue on adaptation of discrete metaheuristics to continuous optimization. European Journal of Operational Research*, volume 185, 2008.
- [12] Kenneth V. Price, Rainer M. Rainer, and Jouni A. Lampinen. *Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization*. Springer-Verlag, 2005.
- [13] H. P. Schwefel. *Numerical Optimization of Computer Models*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1981.