

3

---

# ANÁLISIS Y COMPARATIVA DE ALGORITMOS EVOLUTIVOS

# RECURSOS MAS USADOS PARA ANÁLISIS Y COMPARATIVA

- ▶ Tablas comparativas
- ▶ Curvas de Convergencia
- ▶ Diagramas de Caja (Box Plot)
- ▶ Benchmark functions (Funciones de prueba o referencia)

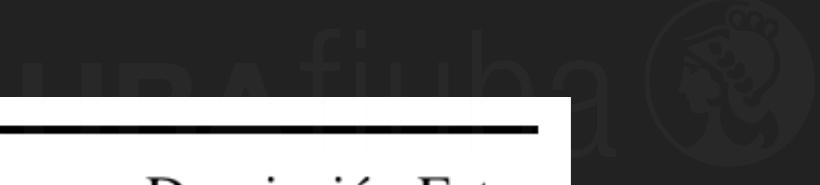
# RECURSOS MAS USADOS PARA ANÁLISIS Y COMPARATIVA

- ▶ Tablas comparativas
- ▶ Curvas de Convergencia
- ▶ Diagramas de Caja (Box Plot)
- ▶ Benchmark functions (Funciones de prueba o referencia)

# QUE SON LAS TABLAS COMPARATIVAS?

- ▶ También conocidas como: "tablas de resultados", "tablas de resumen" o "tablas de métricas".
- ▶ Muestran los valores Mínimo, Promedio, Máximo y Desviación Estándar de los **Fitness** obtenidos en diferentes algoritmos.

Algoritmo	Mínimo	Promedio	Máximo	Desviación Est.
Algoritmo A	1.079	2.467	3.769	0.624
Algoritmo B	1.188	2.712	4.184	0.995
Algoritmo C	0.894	2.360	3.503	0.688



# PROPÓSITO DE LAS TABLAS COMPARATIVAS

- ✓ Comparación de Desempeño: Permiten comparar directamente el rendimiento de diferentes algoritmos o configuraciones en términos de calidad de la solución y consistencia.
- ✓ Identificación de Tendencias: Ayudan a identificar cuál algoritmo tiende a producir mejores resultados y cuál es más estable.
- ✓ Toma de Decisiones: Facilitan la toma de decisiones informadas sobre qué algoritmo usar para un problema específico.

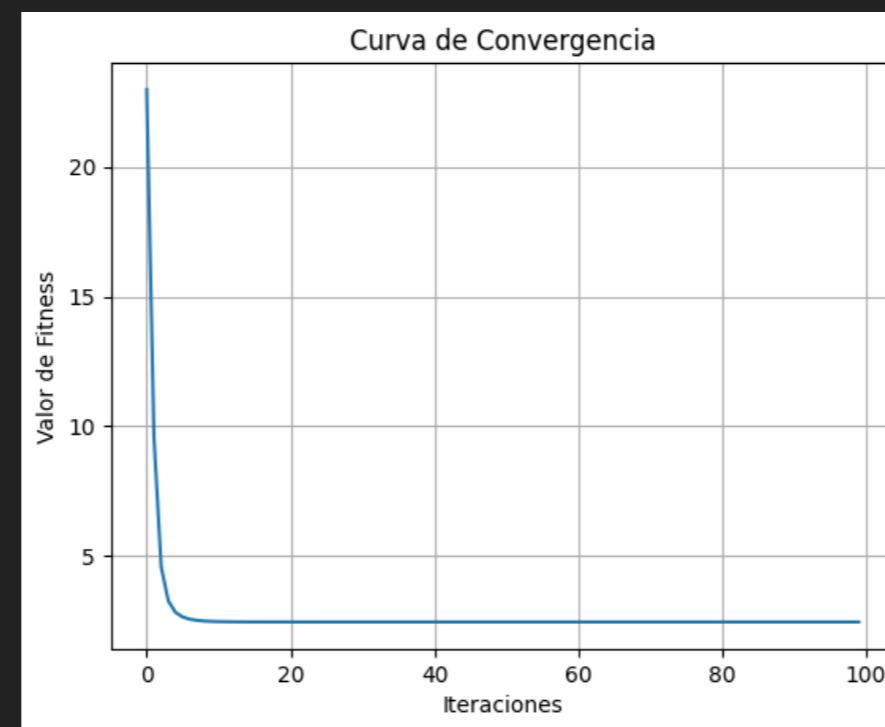
Algoritmo	Mínimo	Promedio	Máximo	Desviación Est.
Algoritmo A	1.079	2.467	3.769	0.624
Algoritmo B	1.188	2.712	4.184	0.995
Algoritmo C	0.894	2.360	3.503	0.688

# RECURSOS MAS USADOS PARA ANÁLISIS Y COMPARATIVA

- ▶ Tablas comparativas
- ▶ Curvas de Convergencia
- ▶ Diagramas de Caja (Box Plot)
- ▶ Benchmark functions (Funciones de prueba o referencia)

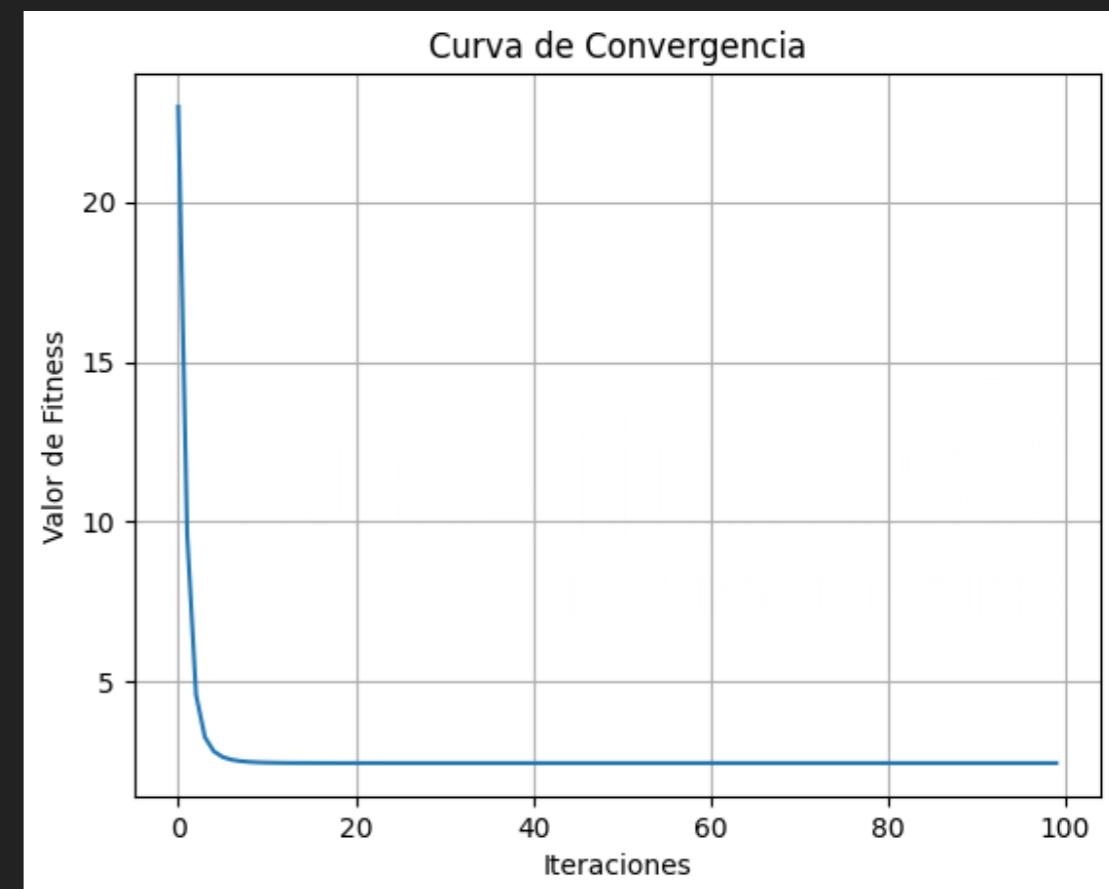
# QUE ES UNA CURVA DE CONVERGENCIA?

- ▶ Es un recurso para analizar el **comportamiento** de un algoritmo evolutivo o de optimización a lo largo del **tiempo** (o **iteraciones**).
- ▶ Una **curva de convergencia** muestra cómo el valor de la **función objetivo** (o **fitness**) mejora a medida que el algoritmo avanza en su proceso de búsqueda.



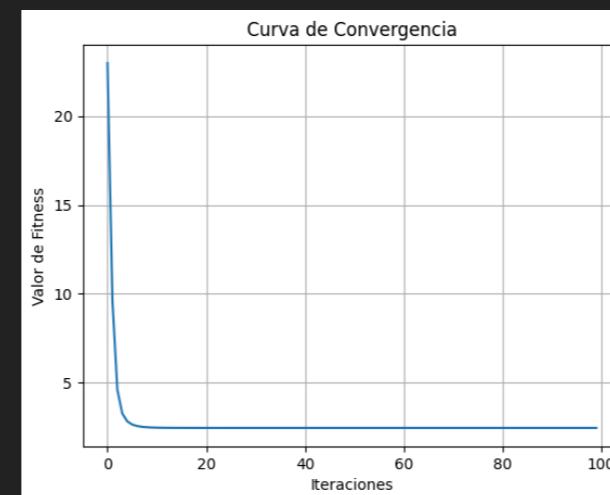
## ELEMENTOS DE UNA CURVA DE CONVERGENCIA

- ▶ Eje "y" (Fitness): Representa el valor de la función objetivo, que puede ser minimizado o maximizado.
- ▶ Eje "x" (Iteraciones): Representa el número de iteraciones o generaciones que el algoritmo ha completado.
- ▶ Tendencia:
  - ✓ Una curva descendente indica la **minimización del valor del fitness**, con el algoritmo acercándose al óptimo.
  - ✓ Una curva ascendente indica la **maximización del fitness**.
- ▶ **Velocidad de Convergencia:** La pendiente de la curva indica la **rapidez con la que el algoritmo converge hacia el óptimo**. Una curva que se aplana rápidamente sugiere una rápida convergencia.



# UTILIDAD DE LAS CURVAS DE CONVERGENCIA

- ▶ Utilidad de las Curvas de Convergencia
- ✓ Diagnóstico de Algoritmos: Permiten evaluar la eficiencia de un algoritmo. Si la curva se estabiliza rápidamente, el algoritmo podría estar convergiendo prematuramente (atascándose en un óptimo local).
- ✓ Comparación de Algoritmos: Diferentes algoritmos pueden ser comparados en términos de su velocidad de convergencia.
- ✓ Ajuste de Parámetros: Ayudan a ajustar parámetros del algoritmo para mejorar el rendimiento.



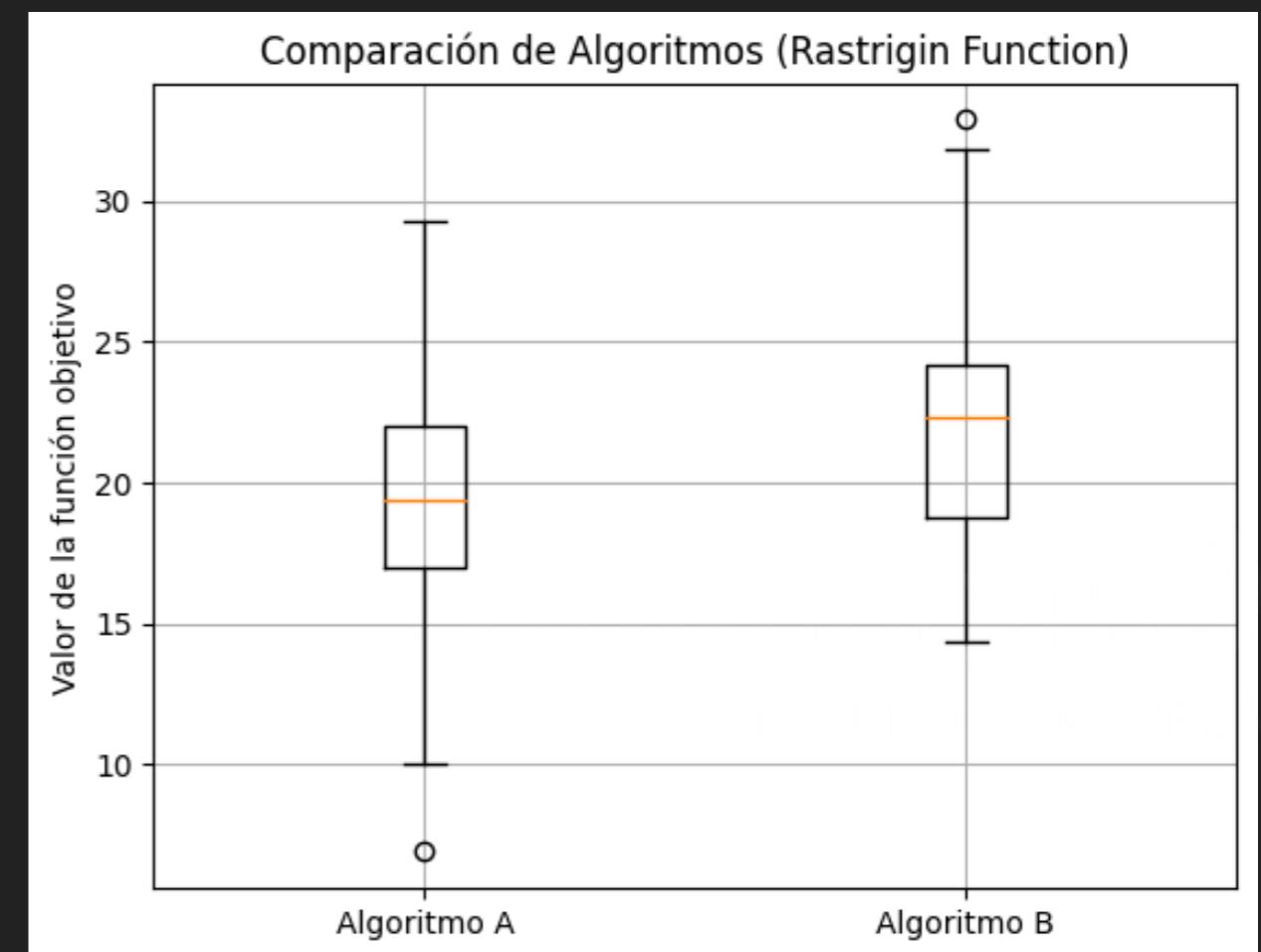
# RECURSOS MAS USADOS PARA ANÁLISIS Y COMPARATIVA

- ▶ Tablas comparativas
- ▶ Curvas de Convergencia
- ▶ Diagramas de Caja (Box Plot)
- ▶ Benchmark functions (Funciones de prueba o referencia)

# ¿PARA QUÉ SIRVEN?

- ▶ Sirven para comparar métricas de:

1. Rendimiento
2. Variabilidad
3. Estabilidad
4. Consistencia
5. Valores atípicos (outliers)

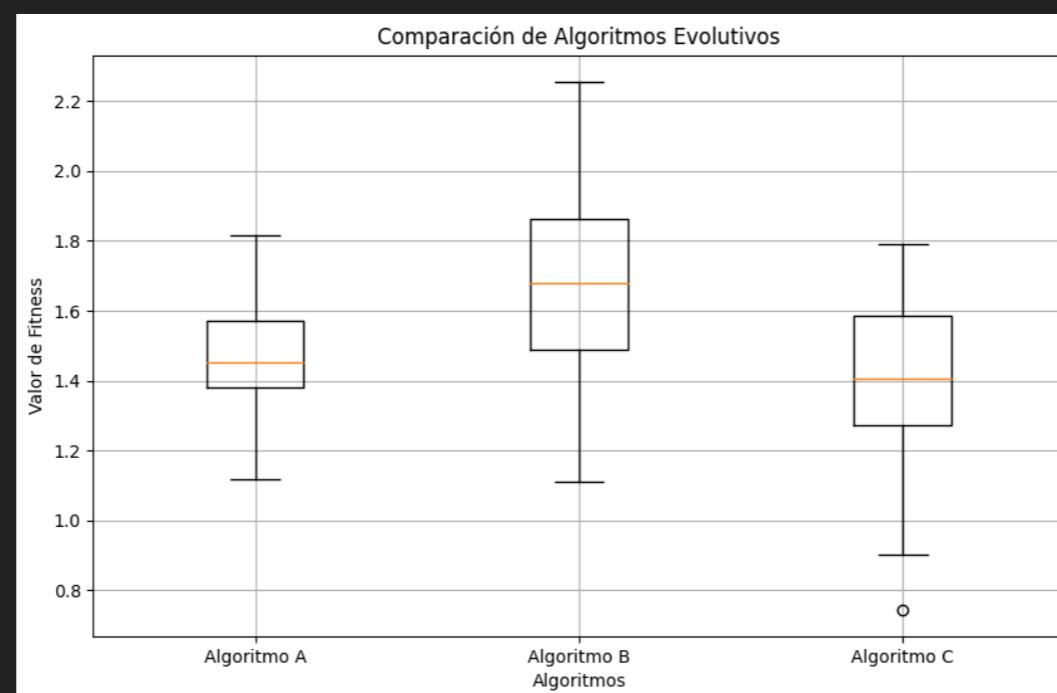


# ¿COMO SE GRAFICAN?

- ▶ Dados **N** algoritmos evolutivos se busca compararlos según las métricas mencionadas.

**Paso 1:** Ejecutar cada algoritmo 30 veces y registrar el mejor valor de fitness obtenido en cada ejecución.

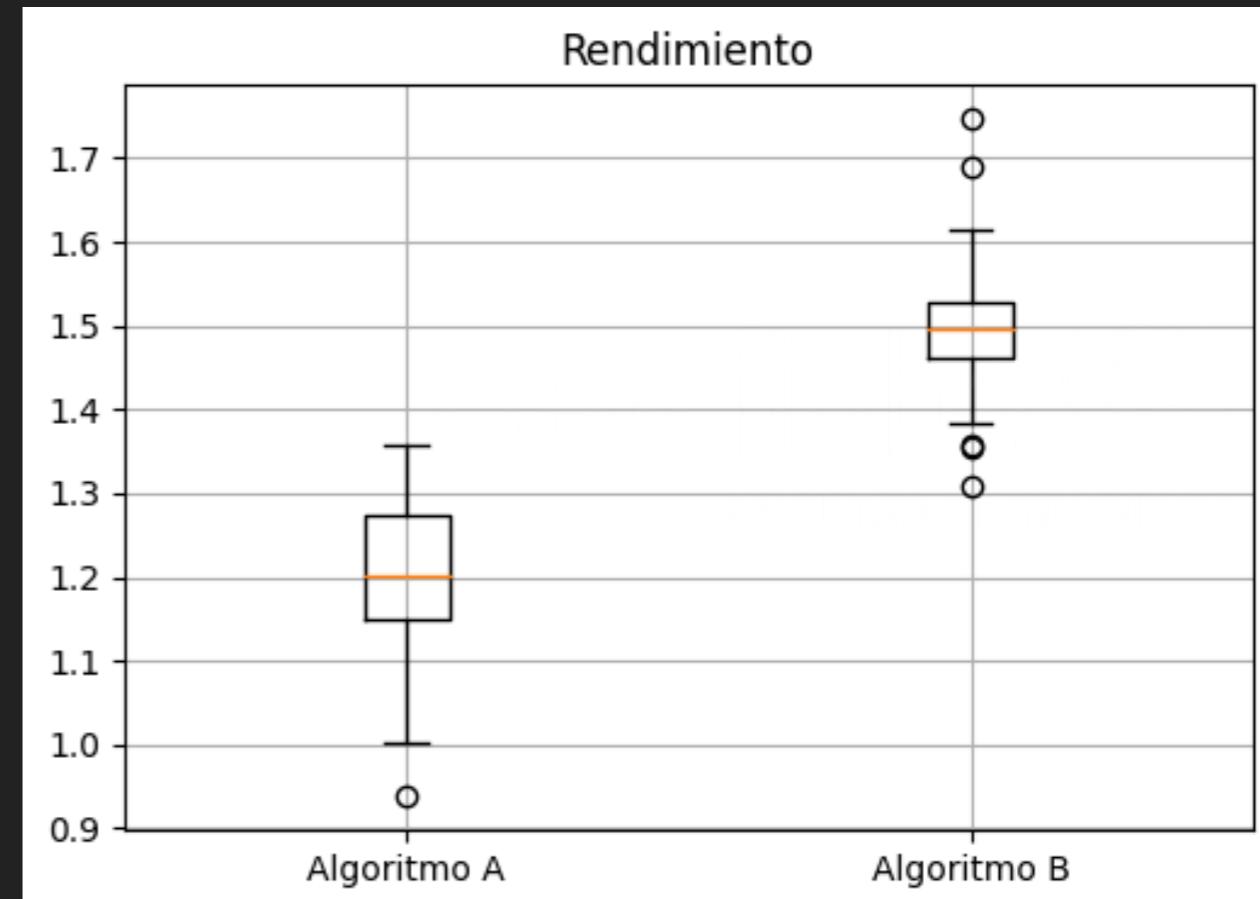
**Paso 2:** Diagramar **N** box plot para comparar la distribución de los resultados de esos **N** algoritmos.



## MÉTRICA DE RENDIMIENTO

Mide la **calidad de las soluciones** obtenidas por un algoritmo evolutivo.

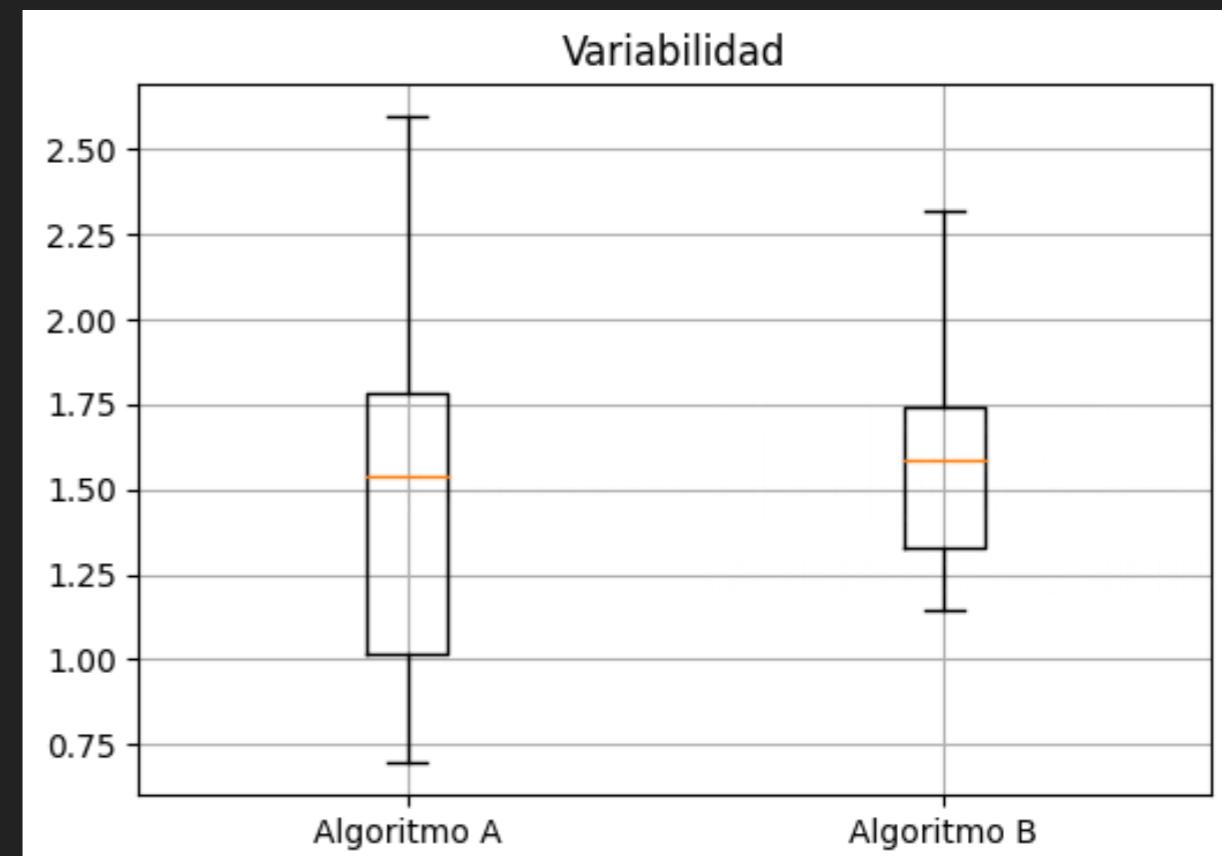
- ▶ **Ejemplo:** Dados 2 algoritmos, si el box plot de uno tiene una **mediana más baja** en términos de fitness (en minimización), este algoritmo tiene **mejor rendimiento**.
- ▶ **Interpretación:** Una **caja más baja** (en minimización) indica que el algoritmo tiende a encontrar **soluciones de mejor calidad**.



## MÉTRICA DE VARIABILIDAD

Indica la **dispersión de los resultados** de un algoritmo, reflejada en la amplitud de la caja y los bigotes

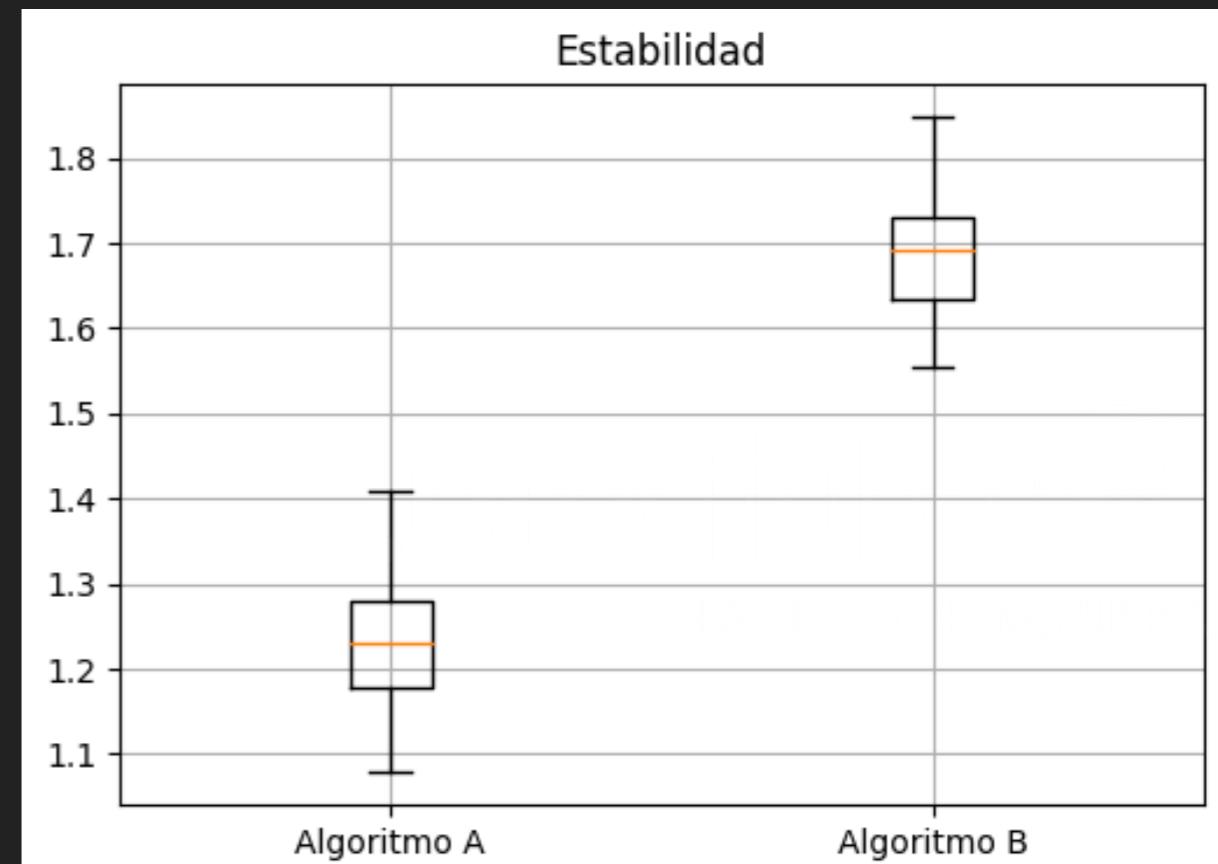
- ▶ **Ejemplo:** Un algoritmo con una **caja larga y bigotes largos** en el box plot tiene **alta variabilidad**, lo que significa que **los resultados pueden variar significativamente entre ejecuciones**.
- ▶ **Interpretación:** La **variabilidad alta** sugiere que el algoritmo puede ser **inestable o sensible a las condiciones iniciales**, ya que produce resultados diversos en diferentes ejecuciones.



## MÉTRICA DE ESTABILIDAD

Es la capacidad de un algoritmo para mantener un **rendimiento constante** a lo largo de múltiples ejecuciones. Se evalúa frente a **variaciones en los parámetros**.

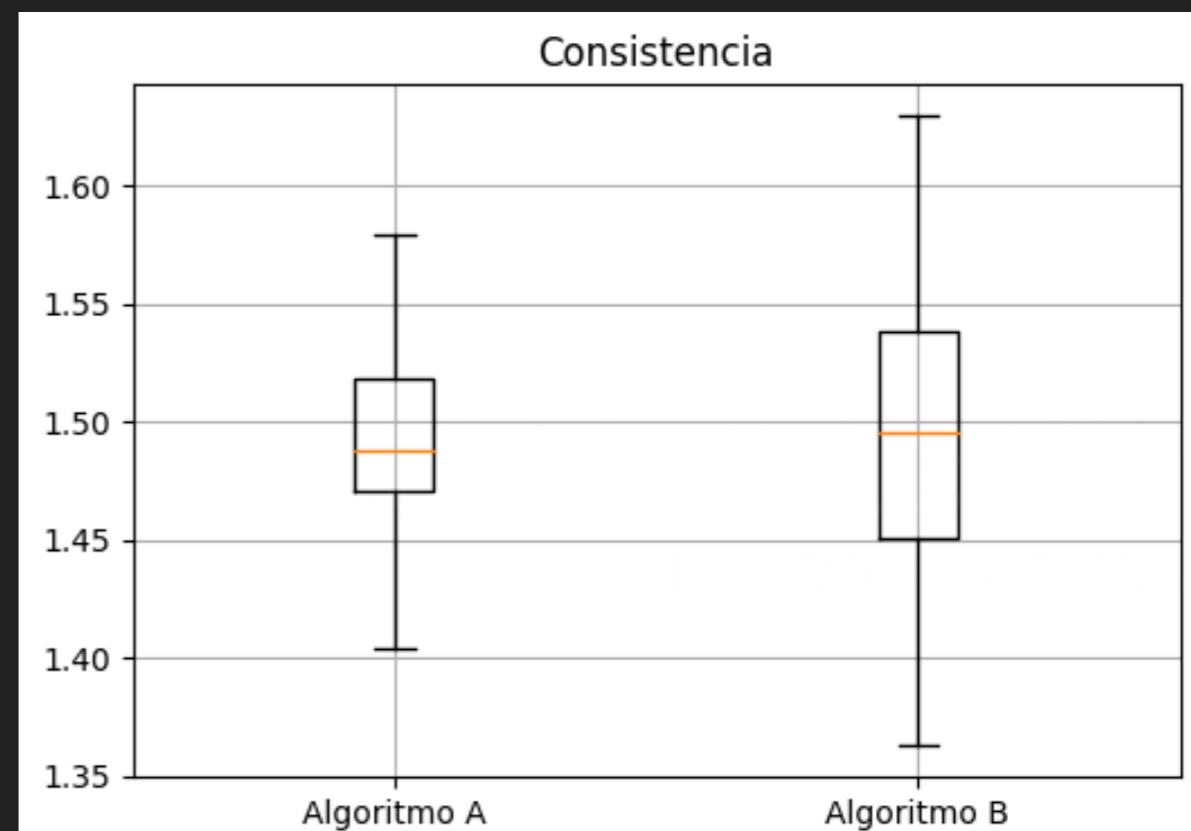
- ▶ **Ejemplo:** Si un box plot muestra una **caja pequeña con bigotes cortos y sin valores atípicos**, el algoritmo **es estable**.
- ▶ **Interpretación:** Un algoritmo estable produce resultados similares independientemente de las ejecuciones, lo que se refleja en un **box plot compacto sin valores atípicos**.



## MÉTRICA DE CONSISTENCIA

Es la capacidad de un algoritmo para producir **resultados similares en múltiples ejecuciones**. Se evalúa en **condiciones idénticas**.

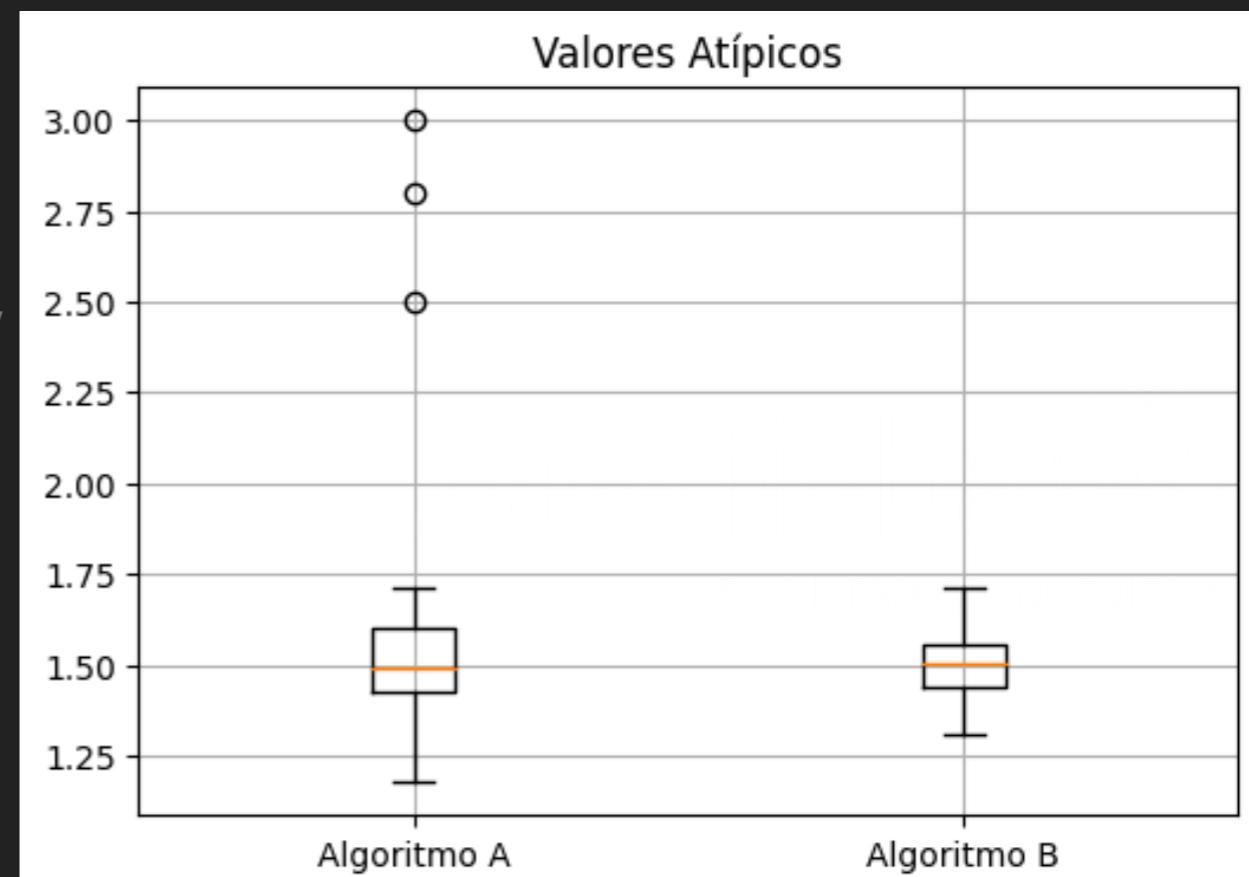
- ▶ **Ejemplo:** una **caja pequeña y bigotes cortos** en el box plot indica **alta consistencia**.
- ▶ **Interpretación:** Una caja pequeña con bigotes cortos muestra que las ejecuciones del algoritmo **producen valores de fitness muy similares**, lo que sugiere que el algoritmo es confiable porque es consistente.



## MÉTRICA DE OUTLIERS

Los Outliers o Valores atípicos son ejecuciones que producen resultados significativamente diferentes del resto, a menudo considerados anomalías.

- ▶ **Ejemplo:** Si en un box plot se observan puntos individuales alejados de los bigotes, esos puntos representan ejecuciones que produjeron valores de fitness anómalos.
- ▶ **Interpretación:** La presencia de muchos valores atípicos podría indicar que el algoritmo es sensible a ciertas condiciones, lo que puede comprometer su fiabilidad.

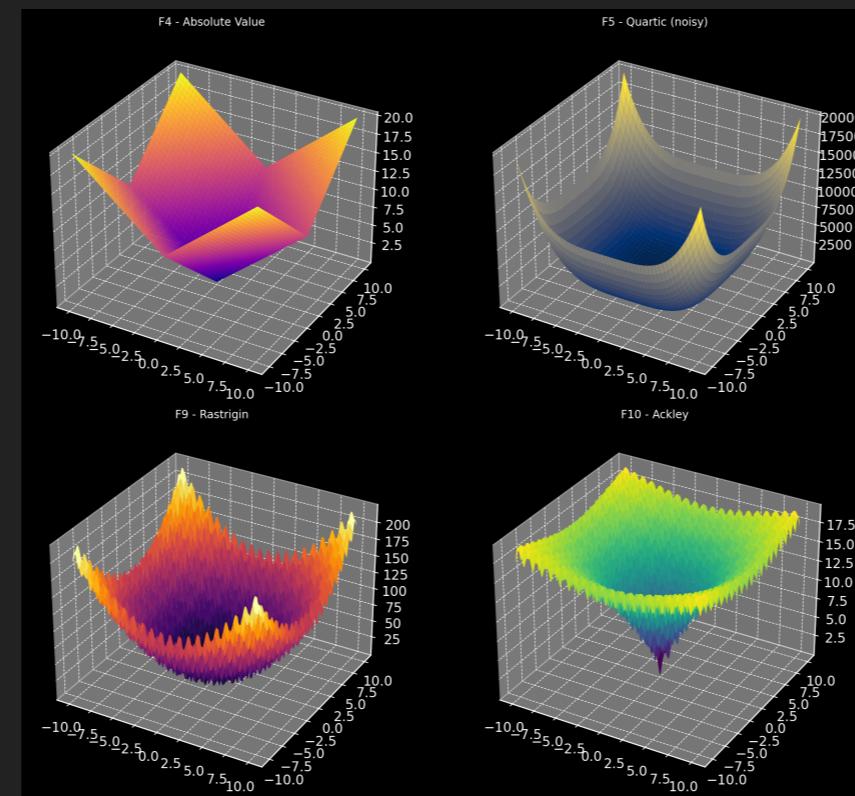


# RECURSOS MAS USADOS PARA ANÁLISIS Y COMPARATIVA

- ▶ Tablas comparativas
- ▶ Curvas de Convergencia
- ▶ Diagramas de Caja (Box Plot)
- ▶ **Benchmark functions** (Funciones de prueba o referencia)

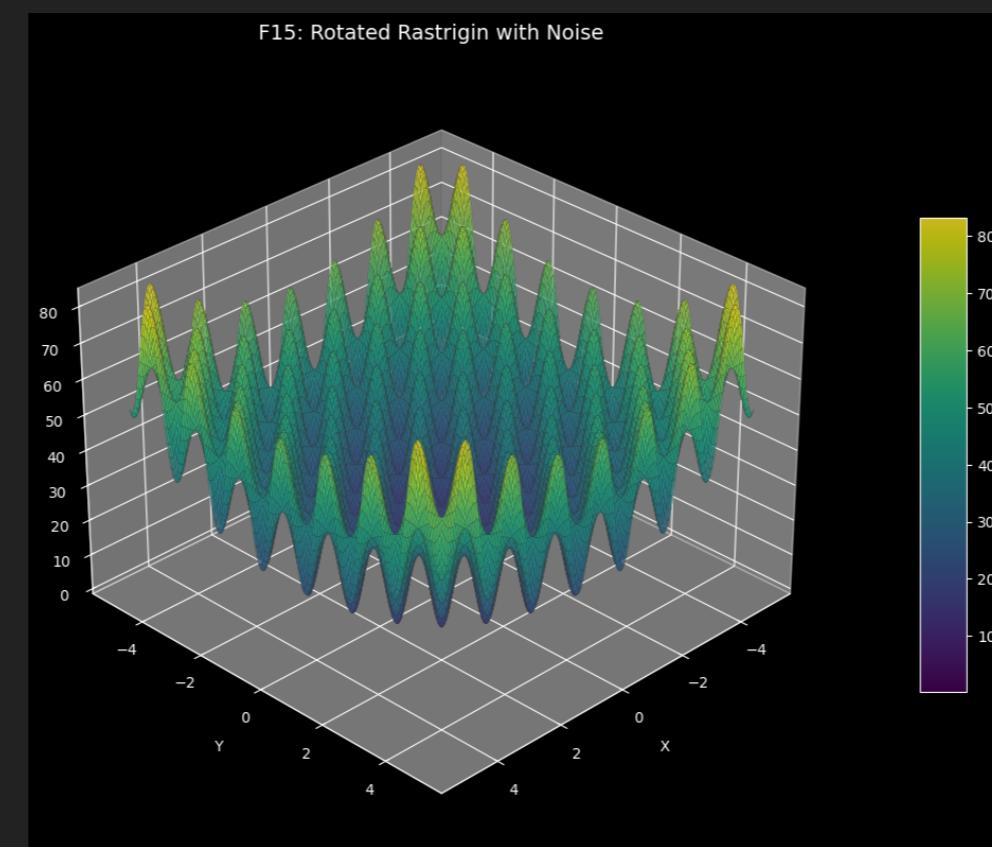
# QUE SON LAS BENCHMARK FUNCTIONS?

- ▶ Son conjuntos estándar de **funciones matemáticas de pruebas** que se utilizan con el objetivo de **evaluar y comparar la performance de los algoritmos de búsqueda y optimización**.
- ▶ Un requerimiento esencial de las investigaciones en el campo de AE es **realizar evaluaciones justas y sobre un conjunto de funciones de prueba diverso**, para medir el desempeño bajo diferentes condiciones.



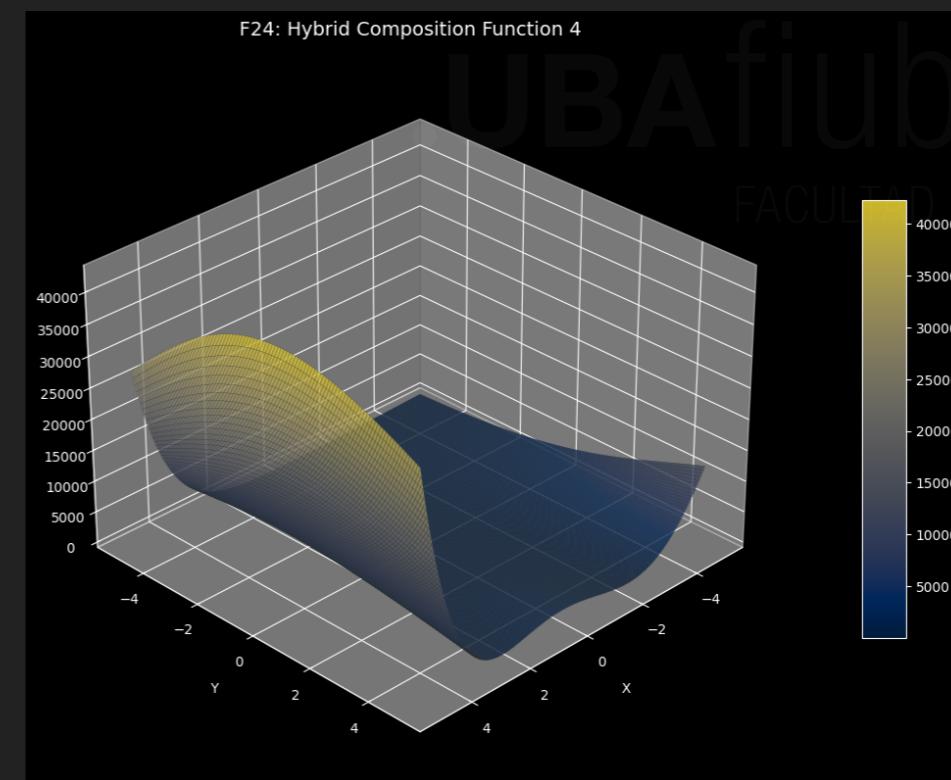
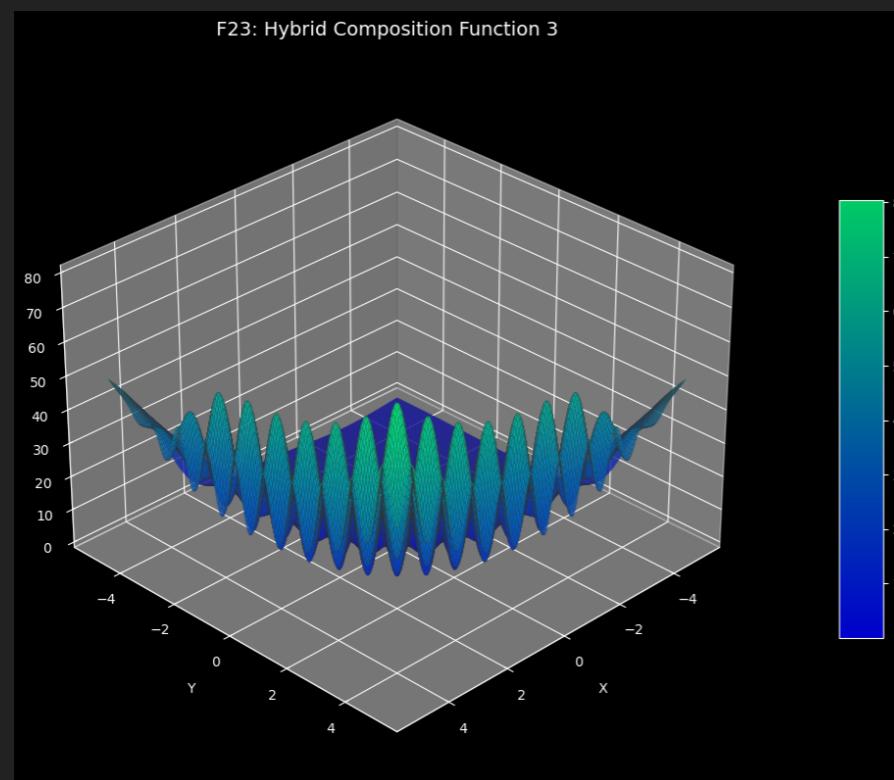
# QUE SON LAS BENCHMARK FUNCTIONS?

- ▶ Las BF evitan que un algoritmo que sepa explotar alguna propiedad en particular se destaque por sobre los demás.
- ▶ Son diseñadas por comités científicos especializados en optimización computacional.



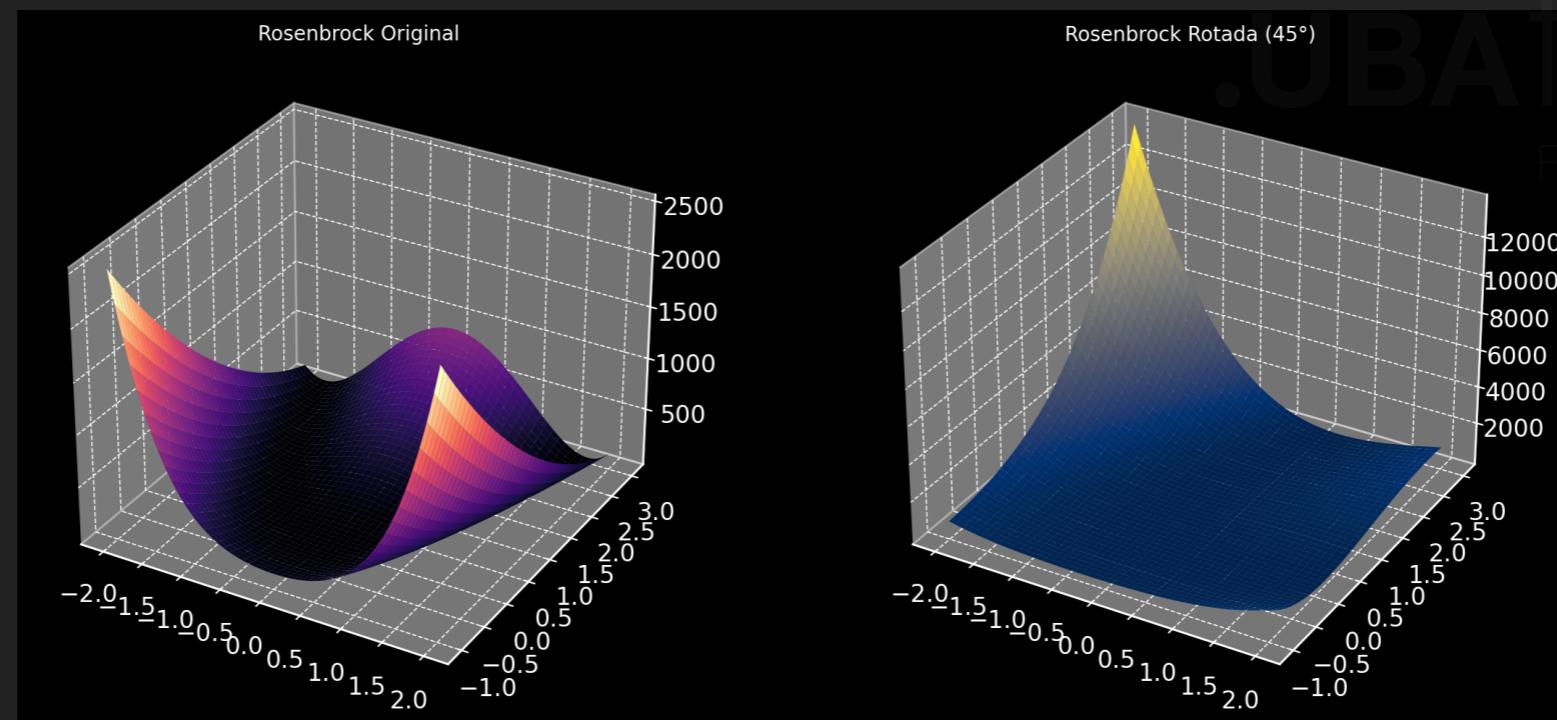
# QUIENES DISEÑAN LAS FUNCIONES DE BENCHMARK?

- ▶ Se publican entre 28 y 30 funciones en competencias internacionales organizadas por la [IEEE Congress on Evolutionary Computation \(CEC\)](#).
- ▶ Se agrupan en una **suite de funciones** por propiedades: unimodal, multimodal, rotadas, desplazadas, ruidosas, con múltiples óptimos, no separables...
- ▶ Existen diferentes suites según el año de publicación: CEC2013, CEC2020....



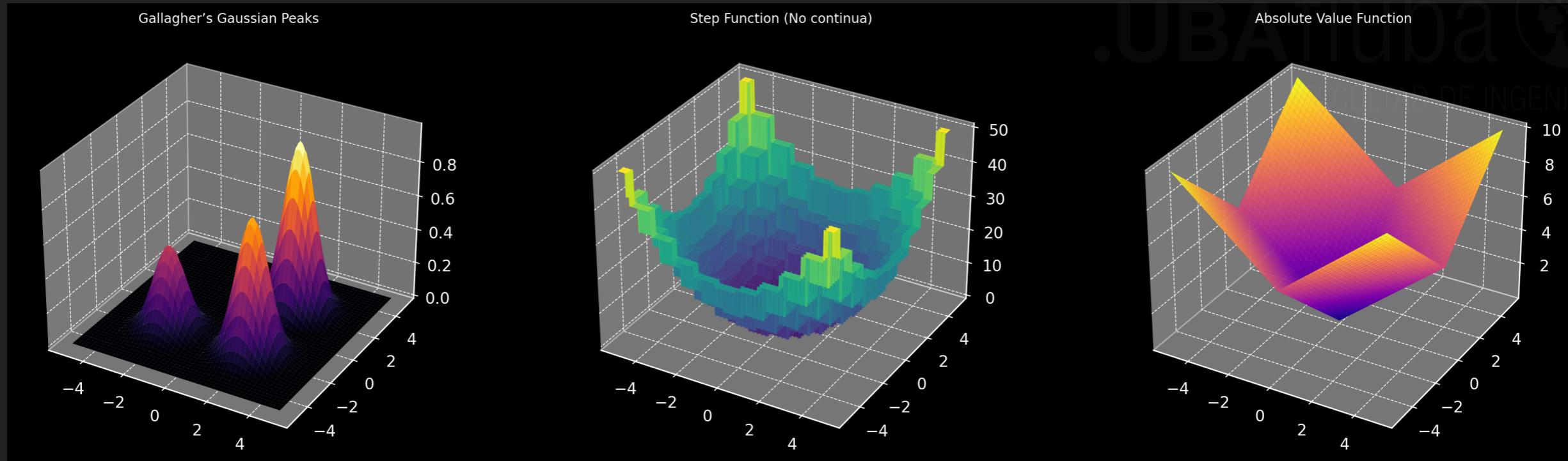
# PROPIEDADES DE LAS FUNCIONES DE REFERENCIA

1. Unimodales.
2. Multimodales.
3. Con óptimos globales/locales en la región central.
4. Con óptimos globales/locales en los límites del dominio.
5. Rotadas.



# TIPOS DE FUNCIONES DE REFERENCIA

6. Con el centro desplazado.
7. Funciones con diferentes entornos para los puntos óptimos.
8. Funciones no continuas.
9. Funciones no diferenciables.



# ALGUNOS EJEMPLOS DE FUNCIONES DE REFERENCIA

- Categoría: C: categoría, Rango:  $\rightarrow$  search space o dominio de búsqueda

No.	Nombre	Dimensión	C	Rango	Definición de la función	Mínimo
$f_1$	Sphere	10,30,50	U	$[-5.12, 5.12]^D$	$f_1(x) = \sum (x_i^2)$	0.0
$f_2$	Step	10,30,50	U	$[-100, 100]^D$	$f_2(x) = \sum (\lfloor x_i + 0.5 \rfloor^2)$	0.0
$f_3$	Zakharov	10,30,50	U	$[-5, 10]^D$	$f_3(x) = \sum (x_i^2) + (\sum 0.5 \cdot i \cdot x_i)^2 + (\sum 0.5 \cdot i \cdot x_i)^4$	0.0
$f_4$	Griewangk	10,30,50	M	$[-600, 600]^D$	$f_4(x) = (\sum x_i^2)/4000 - \prod \cos(x_i/\sqrt{i}) + 1$	0.0
$f_5$	Rastrigin	10,30,50	M	$[-15, 15]^D$	$f_5(x) = \sum [x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i) + 10]$	0.0
$f_6$	Rosenbrock	10,30,50	U	$[-15, 15]^D$	$f_6(x) = \sum [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2]$	0.0
$f_7$	Ackley	10,30,50	M	$[-32, 32]^D$	$f_7(x) = -20\exp(-0.2\sqrt{(\sum x_i^2)/d}) - \exp(\sum \cos(2\pi x_i)/d) + 20 + e$	0.0
$f_8$	Schwefel	10,30,50	M	$[-500, 500]^D$	$f_8(x) = 418.9829 \cdot d - \sum (x_i \cdot \sin(\sqrt{ x_i }))$	0.0
$f_9$	Easom	10,30,50	M	$[-2\pi, 2\pi]^D$	$f_9(x) = -(-1)^d \cdot \prod \cos^2(x_i) \cdot \exp(-\sum (x_i - \pi)^2)$	-1.0
$f_{10}$	Michalewicz	10,30,50	M	$[0, \pi]^D$	$f_{10}(x) = -\sum [\sin(x_i) \cdot \sin(ix_i^2/\pi)^{2m}]$	NA

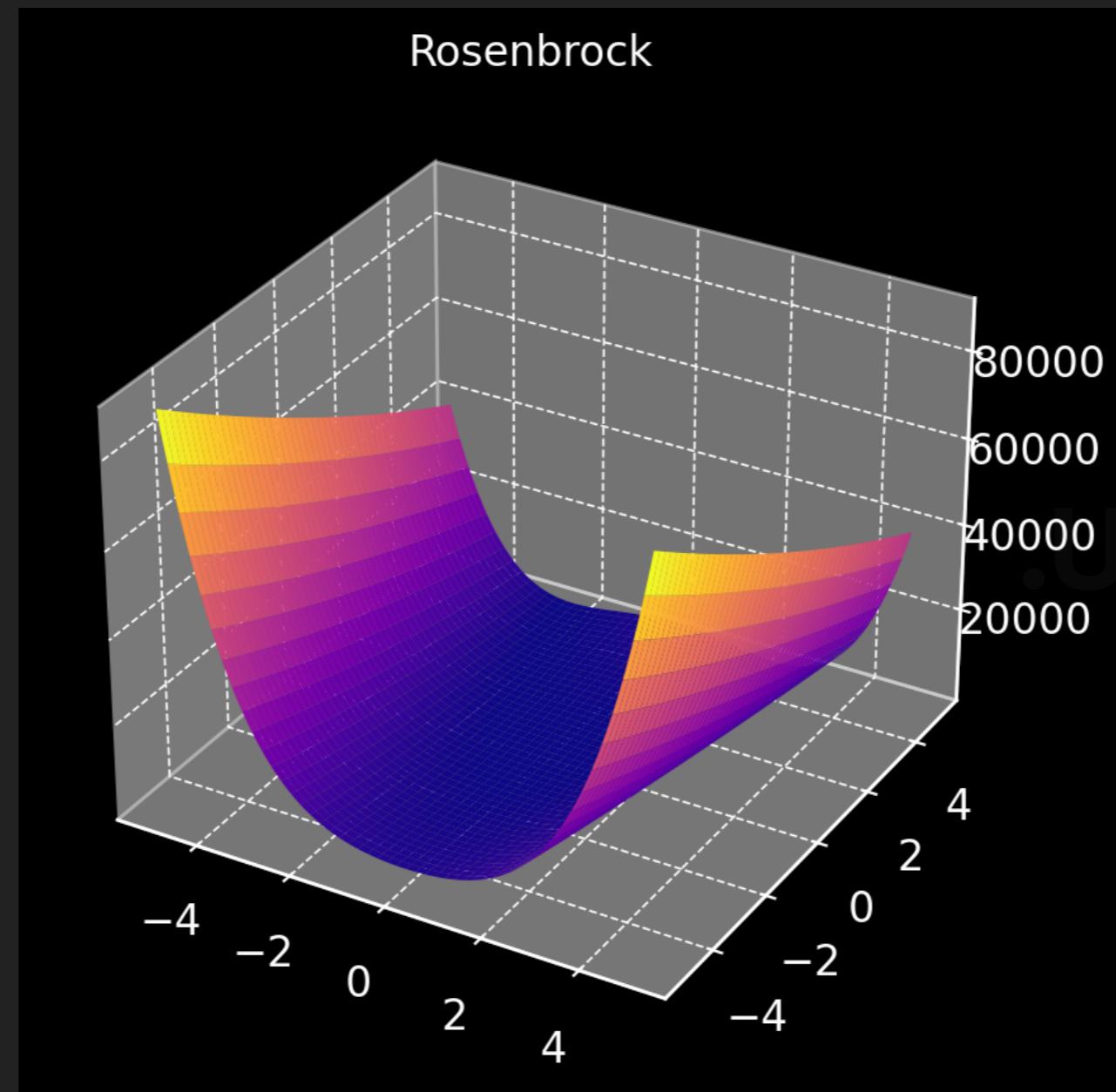
La función de Michalewicz fue diseñada para ser engañosa (es una función multimodal altamente irregular), con un mínimo que no está en el origen y cuya ubicación depende de la dimensión D.

Dimension: 2  $\rightarrow$  fmin aproximado = -1.8013

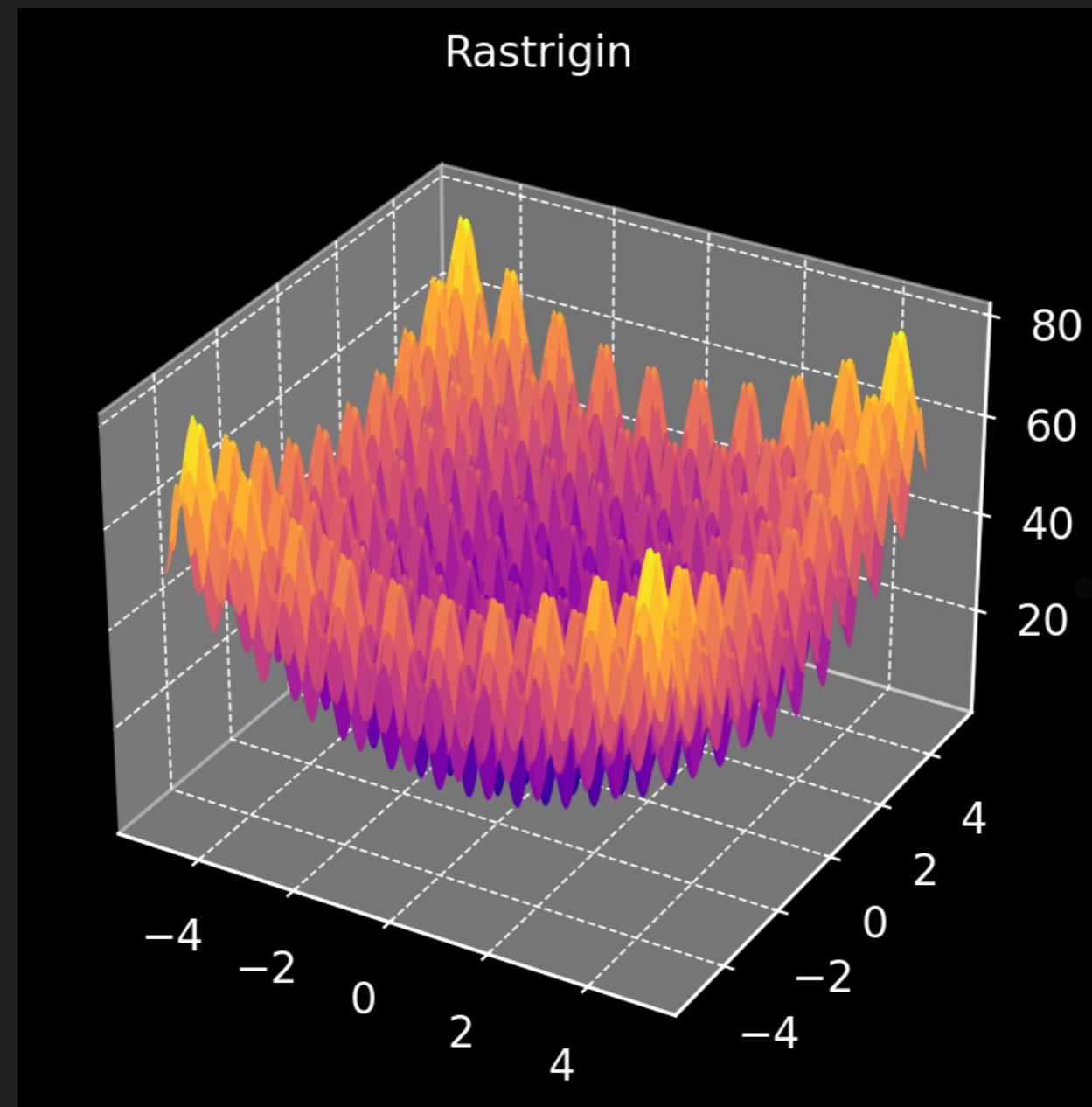
Dimension: 5  $\rightarrow$  fmin aproximado = -4.6877

Dimension: 10  $\rightarrow$  fmin aproximado = -9.66015

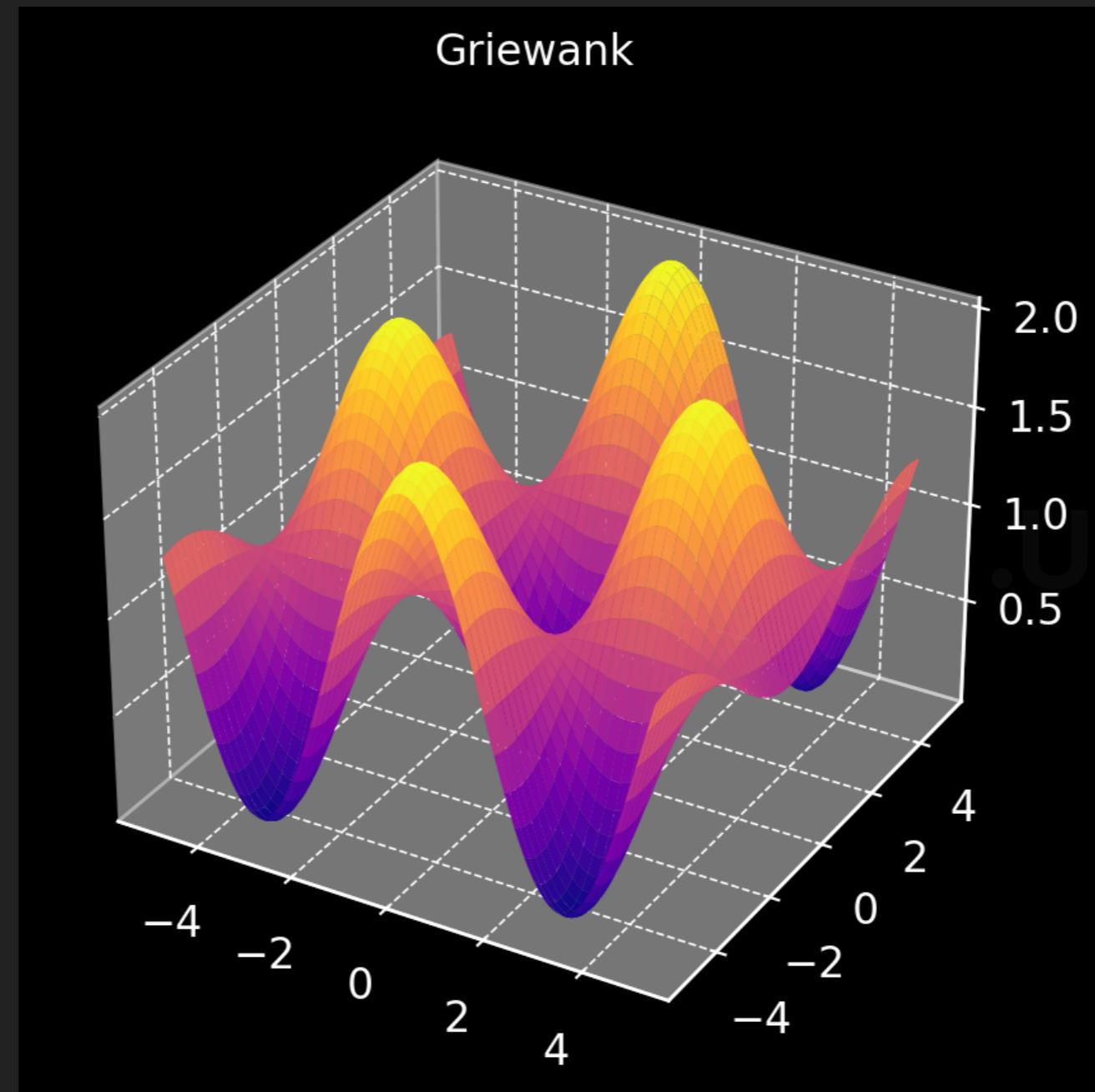
# ALGUNOS EJEMPLOS DE FUNCIONES DE REFERENCIA



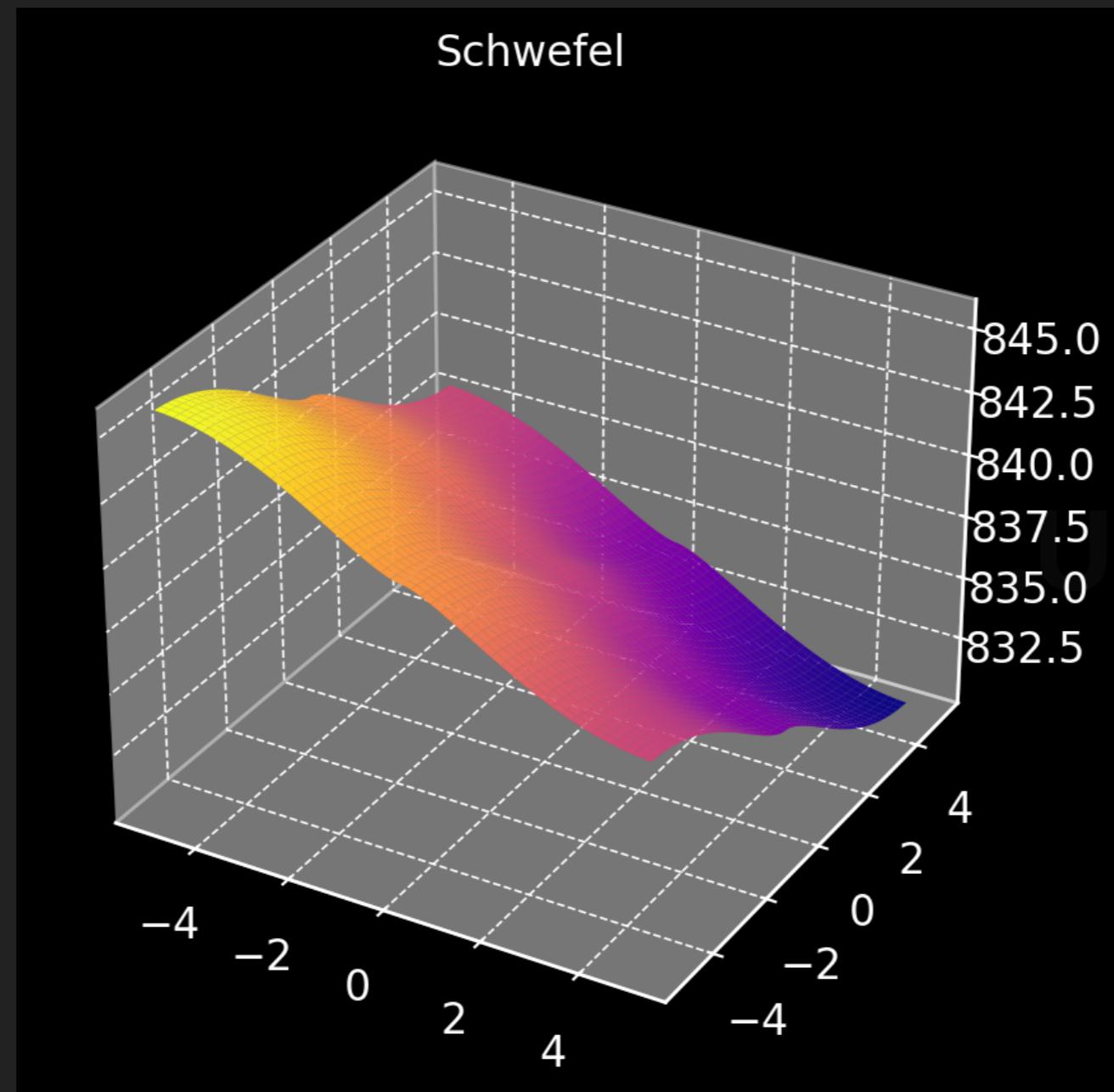
# ALGUNOS EJEMPLOS DE FUNCIONES DE REFERENCIA



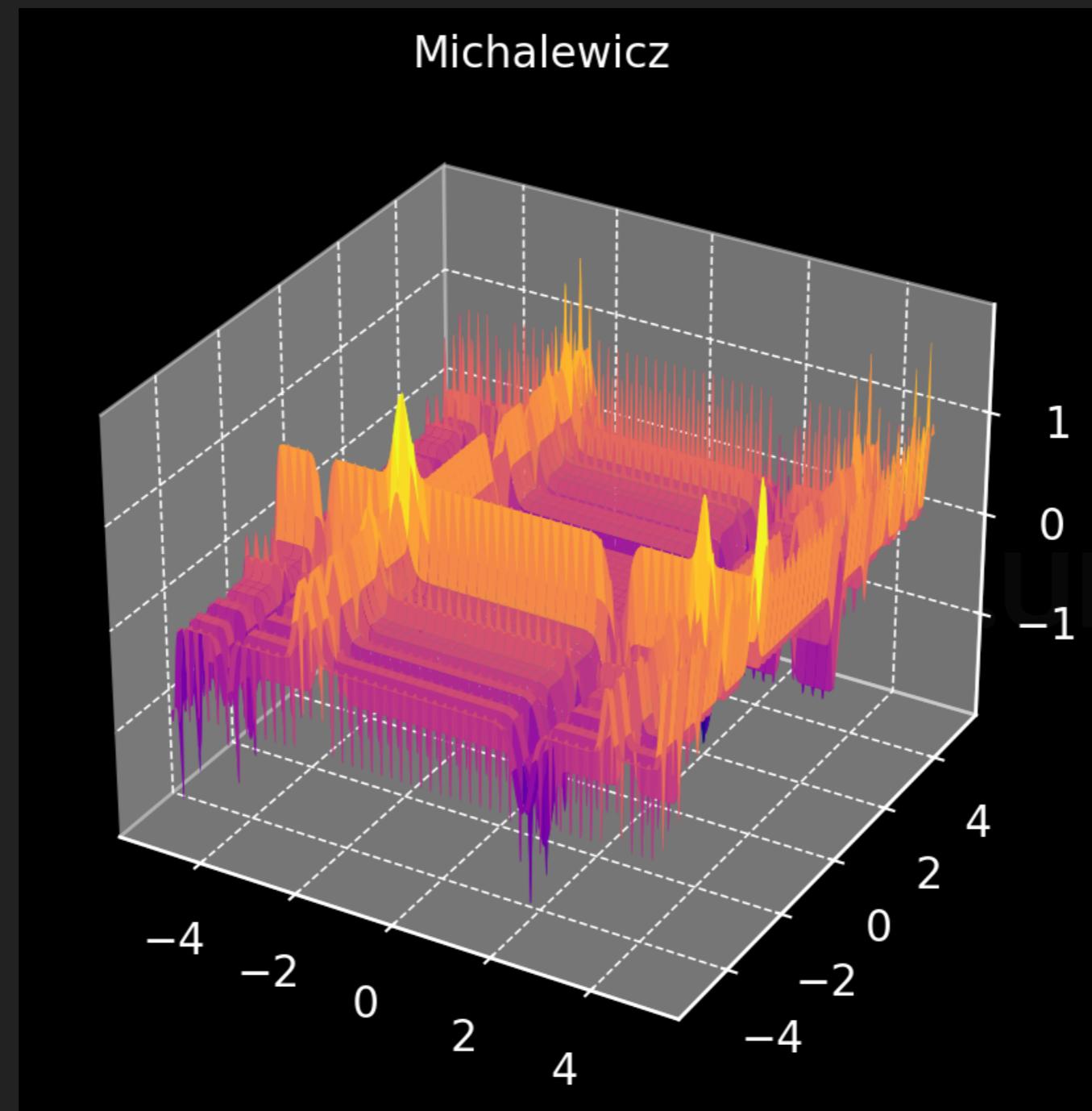
# ALGUNOS EJEMPLOS DE FUNCIONES DE REFERENCIA



# ALGUNOS EJEMPLOS DE FUNCIONES DE REFERENCIA



# ALGUNOS EJEMPLOS DE FUNCIONES DE REFERENCIA



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y WEB (I)



- ▶ López, J. (2013). Optimización multiobjetivo: aplicaciones a problemas del mundo real. Buenos Aires, Argentina, Universidad Nacional de la Plata.
- ▶ Yucra López, Carlos Enrique (2021). Biblioteca para la comparación estadística de algoritmos evolutivos. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, Madrid, España.
- ▶ <https://github.com/P-N-Suganthan/CEC2013>