

Notebook

August 10, 2024

1 TRABAJO PRÁCTICO 2

1.0.1 Algoritmos Evolutivos

Alumno: Leandro Bello

URL: https://github.com/manco92/Algoritmos_gen

```
[16]: # Importo librerías
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

1.0.2 EJERCICIO 1

Escribir un algoritmo PSO para la maximización de la función:

$$y = 2 * \sin(x) - \frac{x^2}{2}$$

En el intervalo de $0 \leq x \leq 4$ y que cumpla con las siguientes consignas:: * Transcribir el algoritmo en Python con los siguientes parámetros: número de partículas = 2, máximo número de iteraciones 80, coeficientes de aceleración $c1 = c2 = 2$, peso de inercia $w = 0.7$. * Transcribir la solución óptima encontrada (dominio) y el valor objetivo óptimo (imagen). * Indicar la URL del repositorio en donde se encuentra el algoritmo PSO. * Graficar usando matplotlib la función objetivo y agregar un punto verde en donde el algoritmo haya encontrado el valor máximo. El gráfico debe contener etiquetas en los ejes, leyenda y un título. * Realizar un gráfico de línea que muestre gbest en función de las iteraciones realizadas. * Sobre el gráfico anterior superponer (con colores diferentes) 5 gráficos de línea de gbest en función de las iteraciones realizadas para ejecuciones con 4, 10, 100, 200 y 400 partículas respectivamente. * Realizar observaciones/comentarios/conclusiones sobre los resultados obtenidos en el ítem anterior.

```
[188]: # funcion objetivo hiperboloide eliptico
def funcion_objetivo(x):
    return 2*np.sin(x)-x**2/2
```

```
[189]: def solve_PSO(funcion_objetivo, num_particulas, cantidad_iteraciones, c1, c2, w,
    ↪ limite_inf, limite_sup):

    # inicializacion
```

```

    particulas = np.random.uniform(limite_inf, limite_sup, num_particulas) #  

    ↪posiciones iniciales de las particulas

    velocidades = np.zeros((num_particulas)) # inicializacion de la matriz de  

    ↪velocidades en cero

    # inicializacion de pbest y gbest
    pbest = particulas.copy() # mejores posiciones personales iniciales

    fitness_pbest = np.empty(num_particulas) # mejores fitness personales  

    ↪iniciales
    for i in range(num_particulas):
        fitness_pbest[i] = funcion_objetivo(particulas[i])

    gbest = pbest[np.argmin(fitness_pbest)] # mejor posicion global inicial
    fitness_gbest = np.min(fitness_pbest) # fitness global inicial

    g_bests = []

    # busqueda
    for iteracion in range(cantidad_iteraciones):
        for i in range(num_particulas): # iteracion sobre cada partícula
            r1, r2 = np.random.rand(), np.random.rand() # generacion dos  

            ↪numeros aleatorios

            # actualizacion de la velocidad de la partícula en cada dimension
            velocidades[i] = (w * velocidades[i] + c1 * r1 * (pbest[i] -  

            ↪particulas[i]) + c2 * r2 * (gbest - particulas[i]))

            particulas[i] = particulas[i] + velocidades[i] # cctualizacion de  

            ↪la posicion de la partícula en cada dimension

            # mantenimiento de las partículas dentro de los limites
            particulas[i] = np.clip(particulas[i], limite_inf, limite_sup)

            fitness = funcion_objetivo(particulas[i]) # Evaluacion de la  

            ↪funcion objetivo para la nueva posicion

            # actualizacion el mejor personal
            if fitness > fitness_pbest[i]:
                fitness_pbest[i] = fitness # actualizacion del mejor fitness  

            ↪personal

            pbest[i] = particulas[i].copy() # actualizacion de la mejor  

            ↪posicion personal

            # actualizacion del mejor global

```

```

        if fitness > fitness_gbest:
            fitness_gbest = fitness # actualizacion del mejor fitness
    ↪ global
            gbest = particulas[i].copy() # actualizacion de la mejor
    ↪ posicion global

    g_bests.append(gbest)

    # imprimir el mejor global en cada iteracion
    print(f"Iteración {iteracion + 1}: Mejor posición global {gbest}, Valor
    ↪ {fitness_gbest}")

    # resultado
    solucion_optima = gbest # mejor posicion global final
    valor_optimo = fitness_gbest # mejor fitness global final

    print("\nSolucion optima (x):", solucion_optima)
    print("Valor optimo:", valor_optimo)

    return solucion_optima, valor_optimo, g_bests

```

```

[190]: # parametros
num_particulas = 2 # numero de particulas
#dim = 2 # dimensiones
cantidad_iteraciones = 80 # maximo numero de iteraciones
c1 = 2.0 # componente cognitivo
c2 = 2.0 # componente social
w = 0.7 # factor de inercia
limite_inf = 0 # limite inferior de busqueda
limite_sup = 4 # limite superior de busqueda

solucion_optima, valor_optimo, g_bests = solve_PSO(funcion_objetivo,
    ↪ num_particulas, cantidad_iteraciones, c1, c2, w, limite_inf, limite_sup)

```

```

Iteración 1: Mejor posición global 3.8330755316580993, Valor -8.621594307206712
Iteración 2: Mejor posición global 3.8330755316580993, Valor -8.621594307206712
Iteración 3: Mejor posición global 2.266558307579877, Valor -1.0335122458941703
Iteración 4: Mejor posición global 1.3877351936118207, Valor 1.0036776176217792
Iteración 5: Mejor posición global 1.3877351936118207, Valor 1.0036776176217792
Iteración 6: Mejor posición global 1.2958824757057341, Valor 1.0852414796387584
Iteración 7: Mejor posición global 1.1008750521993347, Valor 1.177244937899439
Iteración 8: Mejor posición global 0.964369855744855, Valor 1.1783752675649404
Iteración 9: Mejor posición global 0.964369855744855, Valor 1.1783752675649404
Iteración 10: Mejor posición global 0.964369855744855, Valor 1.1783752675649404
Iteración 11: Mejor posición global 0.964369855744855, Valor 1.1783752675649404
Iteración 12: Mejor posición global 0.964369855744855, Valor 1.1783752675649404
Iteración 13: Mejor posición global 0.9972633409067857, Valor 1.1827113392846866

```

[illegible]

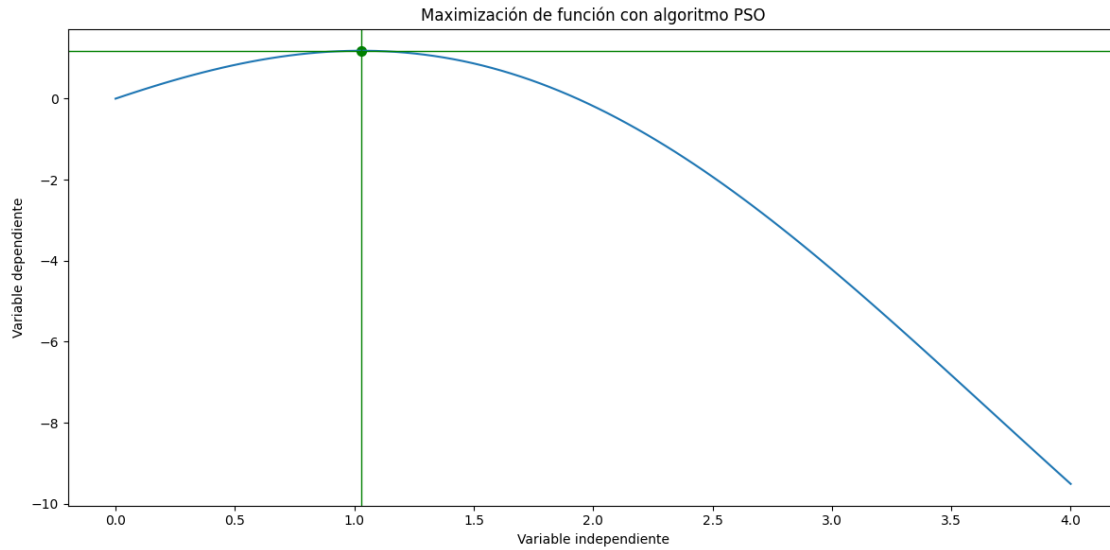
Iteración 62: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 63: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 64: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 65: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 66: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 67: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 68: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 69: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 70: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 71: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 72: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 73: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 74: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 75: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 76: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 77: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 78: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 79: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573
 Iteración 80: Mejor posición global 1.029959365213446, Valor 1.1841479908584573

Solucion optima (x): 1.029959365213446
 Valor optimo: 1.1841479908584573

```
[191]: fig, ax = plt.subplots(figsize=(12,6))

x = np.linspace(limite_inf, limite_sup, 100)
y = funcion_objetivo(x)

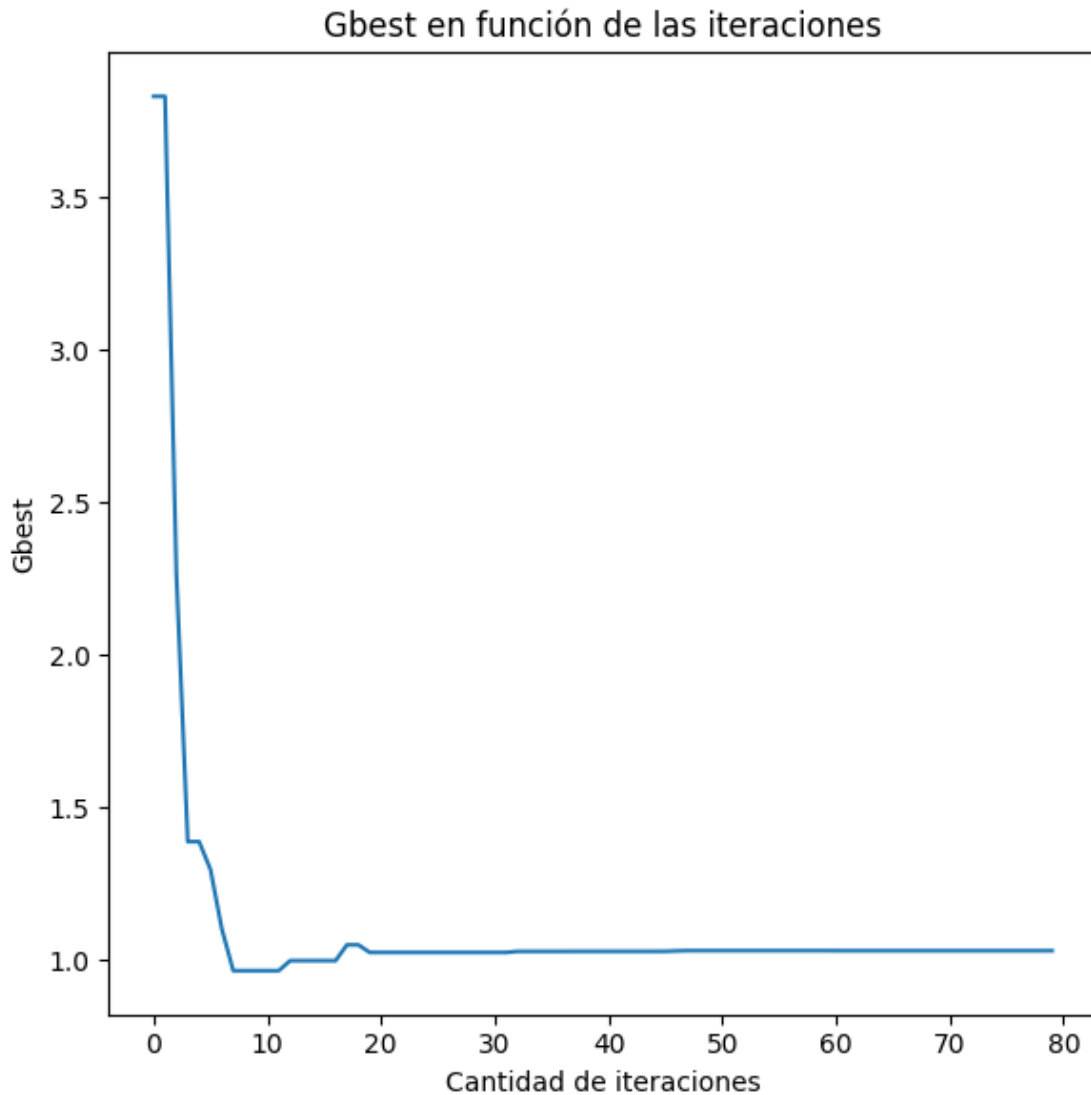
ax.plot(x, y)
ax.scatter(solucion_optima, valor_optimo, s=50, c='green')
ax.axvline(x=solucion_optima, c='green', linewidth=1)
ax.axhline(y=valor_optimo, c='green', linewidth=1)
ax.set_title('Maximización de función con algoritmo PSO')
ax.set_xlabel('Variable independiente')
ax.set_ylabel('Variable dependiente')
plt.tight_layout()
plt.show()
```



```
[193]: fig, ax = plt.subplots(figsize=(6,6))

x = np.arange(cantidad_iteraciones)
y = g_bests

ax.plot(x, y)
ax.set_title('Gbest en función de las iteraciones')
ax.set_xlabel('Cantidad de iteraciones')
ax.set_ylabel('Gbest')
plt.tight_layout()
plt.show()
```



Con más partículas

```
[194]: all_gbests = []

for num_particulas in [2, 4, 10, 100, 200, 400]:

    solucion_optima, valor_optimo, g_best = solve_PSO(funcion_objetivo,
    ↪ num_particulas, cantidad_iteraciones, c1, c2, w, limite_inf, limite_sup)
    all_gbests.append(g_best)
```

Iteración 1: Mejor posición global 2.5914079476183636, Valor -2.3120082027224047
Iteración 2: Mejor posición global 2.5914079476183636, Valor -2.3120082027224047
Iteración 3: Mejor posición global 2.5914079476183636, Valor -2.3120082027224047
Iteración 4: Mejor posición global 0.6586852457222347, Valor 1.0072222269270763

[illegible]

Iteración 53: Mejor posición global 1.0314657977691246, Valor 1.1841445305212852
 Iteración 54: Mejor posición global 1.0314657977691246, Valor 1.1841445305212852
 Iteración 55: Mejor posición global 1.0314657977691246, Valor 1.1841445305212852
 Iteración 56: Mejor posición global 1.0314657977691246, Valor 1.1841445305212852
 Iteración 57: Mejor posición global 1.0314657977691246, Valor 1.1841445305212852
 Iteración 58: Mejor posición global 1.0295063352109344, Valor 1.1841478264771292
 Iteración 59: Mejor posición global 1.0295063352109344, Valor 1.1841478264771292
 Iteración 60: Mejor posición global 1.0295063352109344, Valor 1.1841478264771292
 Iteración 61: Mejor posición global 1.0295063352109344, Valor 1.1841478264771292
 Iteración 62: Mejor posición global 1.0295063352109344, Valor 1.1841478264771292
 Iteración 63: Mejor posición global 1.0295063352109344, Valor 1.1841478264771292
 Iteración 64: Mejor posición global 1.0295063352109344, Valor 1.1841478264771292
 Iteración 65: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 66: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 67: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 68: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 69: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 70: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 71: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 72: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 73: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 74: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 75: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 76: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 77: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 78: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 79: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075
 Iteración 80: Mejor posición global 1.029835916942036, Valor 1.1841480012840075

Solucion optima (x): 1.029835916942036

Valor optimo: 1.1841480012840075

Iteración 1: Mejor posición global 2.03248525696129, Valor -0.2748953147946527
 Iteración 2: Mejor posición global 2.03248525696129, Valor -0.2748953147946527
 Iteración 3: Mejor posición global 1.0868826700830374, Valor 1.1797048093570015
 Iteración 4: Mejor posición global 1.0242088440551604, Valor 1.1841045895836304
 Iteración 5: Mejor posición global 1.0242088440551604, Valor 1.1841045895836304
 Iteración 6: Mejor posición global 1.0242088440551604, Valor 1.1841045895836304
 Iteración 7: Mejor posición global 1.0242088440551604, Valor 1.1841045895836304
 Iteración 8: Mejor posición global 1.0242088440551604, Valor 1.1841045895836304
 Iteración 9: Mejor posición global 1.0242088440551604, Valor 1.1841045895836304
 Iteración 10: Mejor posición global 1.0242088440551604, Valor 1.1841045895836304
 Iteración 11: Mejor posición global 1.0242088440551604, Valor 1.1841045895836304
 Iteración 12: Mejor posición global 1.0242088440551604, Valor 1.1841045895836304
 Iteración 13: Mejor posición global 1.0242088440551604, Valor 1.1841045895836304
 Iteración 14: Mejor posición global 1.0242088440551604, Valor 1.1841045895836304
 Iteración 15: Mejor posición global 1.0242088440551604, Valor 1.1841045895836304
 Iteración 16: Mejor posición global 1.0242088440551604, Valor 1.1841045895836304
 Iteración 17: Mejor posición global 1.0242088440551604, Valor 1.1841045895836304

[illegible]

Iteración 66: Mejor posición global 1.029828991276631, Valor 1.1841480006434166
 Iteración 67: Mejor posición global 1.029828991276631, Valor 1.1841480006434166
 Iteración 68: Mejor posición global 1.0298997329778243, Valor 1.1841480010595582
 Iteración 69: Mejor posición global 1.0298997329778243, Valor 1.1841480010595582
 Iteración 70: Mejor posición global 1.0298997329778243, Valor 1.1841480010595582
 Iteración 71: Mejor posición global 1.0298997329778243, Valor 1.1841480010595582
 Iteración 72: Mejor posición global 1.0298894651868784, Valor 1.184148001841909
 Iteración 73: Mejor posición global 1.0298593909440599, Valor 1.1841480024867277
 Iteración 74: Mejor posición global 1.0298593909440599, Valor 1.1841480024867277
 Iteración 75: Mejor posición global 1.0298593909440599, Valor 1.1841480024867277
 Iteración 76: Mejor posición global 1.0298593909440599, Valor 1.1841480024867277
 Iteración 77: Mejor posición global 1.0298593909440599, Valor 1.1841480024867277
 Iteración 78: Mejor posición global 1.0298593909440599, Valor 1.1841480024867277
 Iteración 79: Mejor posición global 1.0298619006621812, Valor 1.1841480025268094
 Iteración 80: Mejor posición global 1.0298619006621812, Valor 1.1841480025268094

Solucion optima (x): 1.0298619006621812

Valor optimo: 1.1841480025268094

Iteración 1: Mejor posición global 3.594745540728019, Valor -7.3367025024254025
 Iteración 2: Mejor posición global 3.594745540728019, Valor -7.3367025024254025
 Iteración 3: Mejor posición global 1.6334933284519961, Valor 0.6619201464396571
 Iteración 4: Mejor posición global 1.2417248283931606, Valor 1.1217453455883981
 Iteración 5: Mejor posición global 0.957338294447447, Valor 1.1770759488325964
 Iteración 6: Mejor posición global 1.0793490015245162, Valor 1.1808044384013598
 Iteración 7: Mejor posición global 1.0793490015245162, Valor 1.1808044384013598
 Iteración 8: Mejor posición global 1.0793490015245162, Valor 1.1808044384013598
 Iteración 9: Mejor posición global 1.0171219673051672, Valor 1.1839279131646705
 Iteración 10: Mejor posición global 1.0212920526183549, Valor 1.1840483253381655
 Iteración 11: Mejor posición global 1.0212920526183549, Valor 1.1840483253381655
 Iteración 12: Mejor posición global 1.0212920526183549, Valor 1.1840483253381655
 Iteración 13: Mejor posición global 1.0212920526183549, Valor 1.1840483253381655
 Iteración 14: Mejor posición global 1.0212920526183549, Valor 1.1840483253381655
 Iteración 15: Mejor posición global 1.0212920526183549, Valor 1.1840483253381655
 Iteración 16: Mejor posición global 1.0212920526183549, Valor 1.1840483253381655
 Iteración 17: Mejor posición global 1.0212920526183549, Valor 1.1840483253381655
 Iteración 18: Mejor posición global 1.0212920526183549, Valor 1.1840483253381655
 Iteración 19: Mejor posición global 1.0212920526183549, Valor 1.1840483253381655
 Iteración 20: Mejor posición global 1.0212920526183549, Valor 1.1840483253381655
 Iteración 21: Mejor posición global 1.0267471665127337, Valor 1.1841348013460897
 Iteración 22: Mejor posición global 1.0267471665127337, Valor 1.1841348013460897
 Iteración 23: Mejor posición global 1.0267471665127337, Valor 1.1841348013460897
 Iteración 24: Mejor posición global 1.0267471665127337, Valor 1.1841348013460897
 Iteración 25: Mejor posición global 1.0267471665127337, Valor 1.1841348013460897
 Iteración 26: Mejor posición global 1.032059683728376, Valor 1.1841414725693853
 Iteración 27: Mejor posición global 1.032059683728376, Valor 1.1841414725693853
 Iteración 28: Mejor posición global 1.032059683728376, Valor 1.1841414725693853
 Iteración 29: Mejor posición global 1.032059683728376, Valor 1.1841414725693853
 Iteración 30: Mejor posición global 1.032059683728376, Valor 1.1841414725693853

Iteración 79: Mejor posición global 1.0298643533841243, Valor 1.1841480025494613
Iteración 80: Mejor posición global 1.0298643533841243, Valor 1.1841480025494613

Solucion optima (x): 1.0298643533841243

Valor optimo: 1.1841480025494613

Iteración 1: Mejor posición global 1.050376222440061, Valor 1.1835756188549929
Iteración 2: Mejor posición global 1.0313536068920024, Valor 1.184145000613174
Iteración 3: Mejor posición global 1.0313536068920024, Valor 1.184145000613174
Iteración 4: Mejor posición global 1.0313536068920024, Valor 1.184145000613174
Iteración 5: Mejor posición global 1.0310485669142755, Valor 1.1841461059329492
Iteración 6: Mejor posición global 1.0310485669142755, Valor 1.1841461059329492
Iteración 7: Mejor posición global 1.0310485669142755, Valor 1.1841461059329492
Iteración 8: Mejor posición global 1.0310485669142755, Valor 1.1841461059329492
Iteración 9: Mejor posición global 1.028827002868953, Valor 1.184146536105062
Iteración 10: Mejor posición global 1.030519787057337, Valor 1.1841474233159122
Iteración 11: Mejor posición global 1.030519787057337, Valor 1.1841474233159122
Iteración 12: Mejor posición global 1.030440029938787, Valor 1.1841475561264696
Iteración 13: Mejor posición global 1.0297404306987696, Valor 1.1841479809750992
Iteración 14: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 15: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 16: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 17: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 18: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 19: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 20: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 21: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 22: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 23: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 24: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 25: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 26: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 27: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 28: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 29: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 30: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 31: Mejor posición global 1.029851371600405, Valor 1.1841480022440554
Iteración 32: Mejor posición global 1.029856450287396, Valor 1.1841480024180107
Iteración 33: Mejor posición global 1.029856450287396, Valor 1.1841480024180107
Iteración 34: Mejor posición global 1.029856450287396, Valor 1.1841480024180107
Iteración 35: Mejor posición global 1.029856450287396, Valor 1.1841480024180107
Iteración 36: Mejor posición global 1.029856450287396, Valor 1.1841480024180107
Iteración 37: Mejor posición global 1.029856450287396, Valor 1.1841480024180107
Iteración 38: Mejor posición global 1.029856450287396, Valor 1.1841480024180107
Iteración 39: Mejor posición global 1.029856450287396, Valor 1.1841480024180107
Iteración 40: Mejor posición global 1.029856450287396, Valor 1.1841480024180107
Iteración 41: Mejor posición global 1.029856450287396, Valor 1.1841480024180107
Iteración 42: Mejor posición global 1.029856450287396, Valor 1.1841480024180107
Iteración 43: Mejor posición global 1.029856450287396, Valor 1.1841480024180107

[illegible]

Iteración 57: Mejor posición global 1.029867944837525, Valor 1.1841480025531679
 Iteración 58: Mejor posición global 1.029867944837525, Valor 1.1841480025531679
 Iteración 59: Mejor posición global 1.029867944837525, Valor 1.1841480025531679
 Iteración 60: Mejor posición global 1.029867944837525, Valor 1.1841480025531679
 Iteración 61: Mejor posición global 1.029867944837525, Valor 1.1841480025531679
 Iteración 62: Mejor posición global 1.029867944837525, Valor 1.1841480025531679
 Iteración 63: Mejor posición global 1.029867944837525, Valor 1.1841480025531679
 Iteración 64: Mejor posición global 1.0298676948690089, Valor 1.1841480025540436
 Iteración 65: Mejor posición global 1.0298676948690089, Valor 1.1841480025540436
 Iteración 66: Mejor posición global 1.0298676948690089, Valor 1.1841480025540436
 Iteración 67: Mejor posición global 1.0298676948690089, Valor 1.1841480025540436
 Iteración 68: Mejor posición global 1.0298672193855816, Valor 1.184148002555241
 Iteración 69: Mejor posición global 1.0298672193855816, Valor 1.184148002555241
 Iteración 70: Mejor posición global 1.0298672193855816, Valor 1.184148002555241
 Iteración 71: Mejor posición global 1.0298672193855816, Valor 1.184148002555241
 Iteración 72: Mejor posición global 1.0298672193855816, Valor 1.184148002555241
 Iteración 73: Mejor posición global 1.0298672193855816, Valor 1.184148002555241
 Iteración 74: Mejor posición global 1.0298672193855816, Valor 1.184148002555241
 Iteración 75: Mejor posición global 1.029866094343978, Valor 1.1841480025556304
 Iteración 76: Mejor posición global 1.029866455614057, Valor 1.184148002555588
 Iteración 77: Mejor posición global 1.029866455614057, Valor 1.184148002555588
 Iteración 78: Mejor posición global 1.029866455614057, Valor 1.184148002555588
 Iteración 79: Mejor posición global 1.029866455614057, Valor 1.184148002555588
 Iteración 80: Mejor posición global 1.029866455614057, Valor 1.184148002555588

Solucion optima (x): 1.029866455614057

Valor optimo: 1.184148002555588

Iteración 1: Mejor posición global 1.0300361763966641, Valor 1.184147963493786
 Iteración 2: Mejor posición global 1.0300361763966641, Valor 1.184147963493786
 Iteración 3: Mejor posición global 1.0300361763966641, Valor 1.184147963493786
 Iteración 4: Mejor posición global 1.0300361763966641, Valor 1.184147963493786
 Iteración 5: Mejor posición global 1.0300361763966641, Valor 1.184147963493786
 Iteración 6: Mejor posición global 1.0300361763966641, Valor 1.184147963493786
 Iteración 7: Mejor posición global 1.0300361763966641, Valor 1.184147963493786
 Iteración 8: Mejor posición global 1.0300361763966641, Valor 1.184147963493786
 Iteración 9: Mejor posición global 1.0298985507768301, Valor 1.1841480011642136
 Iteración 10: Mejor posición global 1.0298985507768301, Valor 1.1841480011642136
 Iteración 11: Mejor posición global 1.0298985507768301, Valor 1.1841480011642136
 Iteración 12: Mejor posición global 1.0298985507768301, Valor 1.1841480011642136
 Iteración 13: Mejor posición global 1.0298827381050362, Valor 1.1841480021993087
 Iteración 14: Mejor posición global 1.0298827381050362, Valor 1.1841480021993087
 Iteración 15: Mejor posición global 1.0298827381050362, Valor 1.1841480021993087
 Iteración 16: Mejor posición global 1.0298827381050362, Valor 1.1841480021993087
 Iteración 17: Mejor posición global 1.0298657754207932, Valor 1.184148002555116
 Iteración 18: Mejor posición global 1.0298657754207932, Valor 1.184148002555116
 Iteración 19: Mejor posición global 1.0298657754207932, Valor 1.184148002555116
 Iteración 20: Mejor posición global 1.0298657754207932, Valor 1.184148002555116
 Iteración 21: Mejor posición global 1.0298657754207932, Valor 1.184148002555116

Iteración 70: Mejor posición global 1.029866530090117, Valor 1.1841480025558875
Iteración 71: Mejor posición global 1.029866530090117, Valor 1.1841480025558875
Iteración 72: Mejor posición global 1.029866530090117, Valor 1.1841480025558875
Iteración 73: Mejor posición global 1.029866530090117, Valor 1.1841480025558875
Iteración 74: Mejor posición global 1.029866530090117, Valor 1.1841480025558875
Iteración 75: Mejor posición global 1.029866530090117, Valor 1.1841480025558875
Iteración 76: Mejor posición global 1.029866530090117, Valor 1.1841480025558875
Iteración 77: Mejor posición global 1.029866530090117, Valor 1.1841480025558875
Iteración 78: Mejor posición global 1.029866530090117, Valor 1.1841480025558875
Iteración 79: Mejor posición global 1.029866530090117, Valor 1.1841480025558875
Iteración 80: Mejor posición global 1.029866530090117, Valor 1.1841480025558875

Solucion optima (x): 1.029866530090117

Valor optimo: 1.1841480025558875

```
[195]: color = ['red', 'blue', 'green', 'orange', 'black', 'brown']

fig, ax = plt.subplots(figsize=(6,6))

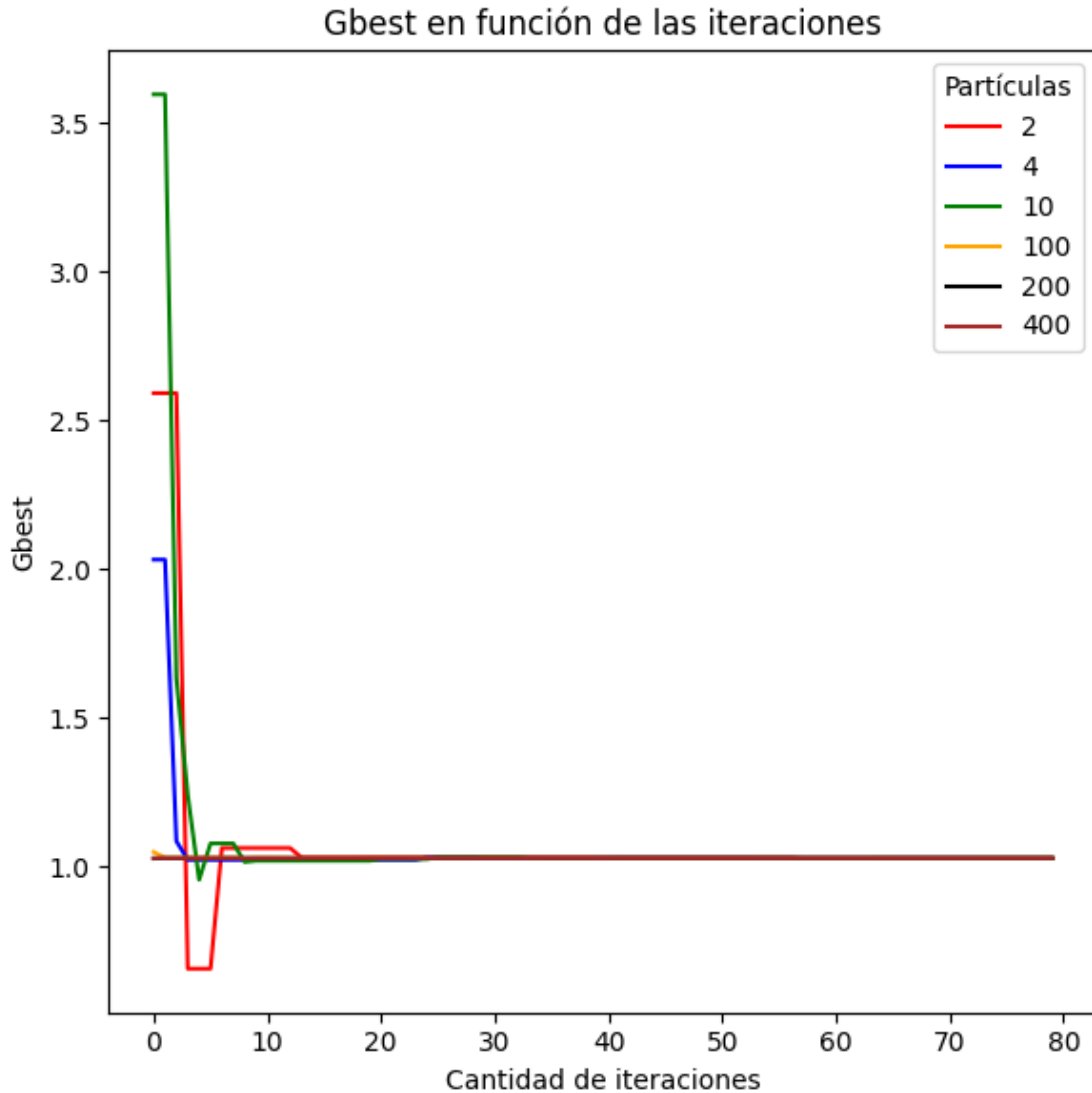
for i,particulas in enumerate([2, 4, 10, 100, 200, 400]):

    x = np.arange(cantidad_iteraciones)
    y = all_gbests[i]

    ax.plot(x, y, color=color[i], label=particulas)

ax.set_title('Gbest en función de las iteraciones')
ax.set_xlabel('Cantidad de iteraciones')
ax.set_ylabel('Gbest')

plt.tight_layout()
plt.legend(title='Partículas')
plt.show()
```



Lo que se puede ver es que, si bien todos convergieron al valor máximo, a medida que se fueron agregando más partículas, el valor objetivo convergía con mayor rapidez. El que más iteraciones requirió para alcanzar el valor máximo fue el de 2 partículas (5 iteraciones), seguido del de 4 partículas (3 iteraciones), luego el de 10 (1 iteración) y para los 100, 200 y 400 partículas, solo necesitaron de 1 iteración.

1.0.3 EJERCICIO 2

Escribir un algoritmo PSO para la maximización de la función:

$$y = \sin(x) + \sin(x^2)$$

En el intervalo de $0 \leq x \leq 10$ y que cumpla con las siguientes consignas: * Transcribir el algoritmo

en Python con los siguientes parámetros: número de partículas = 2, máximo número de iteraciones = 30, coeficientes de aceleración $c1 = c2 = 1.49$, peso de inercia $w = 0.5$. * Indicar la URL del repositorio en donde se encuentra el algoritmo PSO. * Graficar usando matplotlib la función objetivo y agregar un punto negro en donde el algoritmo haya encontrado el valor máximo. El gráfico debe contener etiquetas en los ejes, leyenda y un título. * Realizar un gráfico de línea que muestre gbest en función de las iteraciones realizadas. * Transcribir la solución óptima encontrada (dominio) y el valor objetivo óptimo (imagen). * Incrementar el número de partículas a 4, ejecutar la rutina, transcribir la solución óptima encontrada, transcribir el valor objetivo óptimo y realizar nuevamente los gráficos solicitados en C y D. * Incrementar el número de partículas a 6, ejecutar la rutina, transcribir la solución óptima encontrada, transcribir el valor objetivo óptimo y realizar nuevamente los gráficos solicitados en C y D. * Incrementar el número de partículas a 10, ejecutar la rutina, transcribir la solución óptima encontrada, transcribir el valor objetivo óptimo y realizar nuevamente los gráficos solicitados en C y D. * Realizar observaciones/comentarios/conclusiones sobre los resultados obtenidos.

[196]: *# función objetivo hiperboloide eliptico*

```
def funcion_objetivo(x):
    return np.sin(x)+np.sin(x**2)
```

[197]: `def solve_PSO(funcion_objetivo, num_particulas, cantidad_iteraciones, c1, c2, w, limite_inf, limite_sup):`

```
    # inicializacion
    particulas = np.random.uniform(limite_inf, limite_sup, num_particulas) # posiciones iniciales de las particulas

    velocidades = np.zeros((num_particulas)) # inicializacion de la matriz de velocidades en cero

    # inicializacion de pbest y gbest
    pbest = particulas.copy() # mejores posiciones personales iniciales

    fitness_pbest = np.empty(num_particulas) # mejores fitness personales iniciales
    for i in range(num_particulas):
        fitness_pbest[i] = funcion_objetivo(particulas[i])

    gbest = pbest[np.argmin(fitness_pbest)] # mejor posicion global inicial
    fitness_gbest = np.min(fitness_pbest) # fitness global inicial

    g_bests = []

    # busqueda
    for iteracion in range(cantidad_iteraciones):
        for i in range(num_particulas): # iteracion sobre cada partícula
            r1, r2 = np.random.rand(), np.random.rand() # generacion dos numeros aleatorios
```

```

        # actualizacion de la velocidad de la partícula en cada dimension
        velocidades[i] = (w * velocidades[i] + c1 * r1 * (pbest[i] -
        ↪particulas[i]) + c2 * r2 * (gbest - particulas[i]))

        particulas[i] = particulas[i] + velocidades[i] # cctualizacion de
        ↪la posicion de la partícula en cada dimension

        # mantenimiento de las partículas dentro de los limites
        particulas[i] = np.clip(particulas[i], limite_inf, limite_sup)

        fitness = funcion_objetivo(particulas[i]) # Evaluacion de la
        ↪funcion objetivo para la nueva posicion

        # actualizacion el mejor personal
        if fitness > fitness_pbest[i]:
            fitness_pbest[i] = fitness # actualizacion del mejor fitness
        ↪personal

            pbest[i] = particulas[i].copy() # actualizacion de la mejor
        ↪posicion personal

        # actualizacion del mejor global
        if fitness > fitness_gbest:
            fitness_gbest = fitness # actualizacion del mejor fitness
        ↪global

            gbest = particulas[i].copy() # actualizacion de la mejor
        ↪posicion global

        g_bests.append(gbest)

        # imprimir el mejor global en cada iteracion
        print(f"Iteración {iteracion + 1}: Mejor posición global {gbest}, Valor
        ↪{fitness_gbest}")

        # resultado
        solucion_optima = gbest # mejor posicion global final
        valor_optimo = fitness_gbest # mejor fitness global final

        print("\nSolucion optima (x):", solucion_optima)
        print("Valor optimo:", valor_optimo)

        return solucion_optima, valor_optimo, g_bests

```

Con 2 partículas

```

[198]: # parametros
        num_particulas = 2 # numero de particulas

```

```

cantidad_iteraciones = 30 # maximo numero de iteraciones
c1 = 1.49 # componente cognitivo
c2 = 1.49 # componente social
w = 0.5 # factor de inercia
limite_inf = 0 # limite inferior de busqueda
limite_sup = 10 # limite superior de busqueda

solucion_optima, valor_optimo, g_best = solve_PSO(funcion_objetivo,
↪ num_particulas, cantidad_iteraciones, c1, c2, w, limite_inf, limite_sup)

```

```

Iteración 1: Mejor posición global 6.961410219608979, Valor -0.3454614064139958
Iteración 2: Mejor posición global 8.177472338851212, Valor 0.16629371966522566
Iteración 3: Mejor posición global 8.177472338851212, Valor 0.16629371966522566
Iteración 4: Mejor posición global 8.795415505330933, Valor 1.5134191584332162
Iteración 5: Mejor posición global 8.795415505330933, Valor 1.5134191584332162
Iteración 6: Mejor posición global 8.795415505330933, Valor 1.5134191584332162
Iteración 7: Mejor posición global 8.795415505330933, Valor 1.5134191584332162
Iteración 8: Mejor posición global 8.795415505330933, Valor 1.5134191584332162
Iteración 9: Mejor posición global 8.79081980003885, Valor 1.5448266275136744
Iteración 10: Mejor posición global 8.79081980003885, Valor 1.5448266275136744
Iteración 11: Mejor posición global 8.760993607971255, Valor 1.5932889778287824
Iteración 12: Mejor posición global 8.411214842993102, Valor 1.8467565193785158
Iteración 13: Mejor posición global 8.411214842993102, Valor 1.8467565193785158
Iteración 14: Mejor posición global 8.411214842993102, Valor 1.8467565193785158
Iteración 15: Mejor posición global 8.411214842993102, Valor 1.8467565193785158
Iteración 16: Mejor posición global 8.411214842993102, Valor 1.8467565193785158
Iteración 17: Mejor posición global 8.411214842993102, Valor 1.8467565193785158
Iteración 18: Mejor posición global 8.411214842993102, Valor 1.8467565193785158
Iteración 19: Mejor posición global 8.411214842993102, Valor 1.8467565193785158
Iteración 20: Mejor posición global 8.400968834028914, Valor 1.8480999959152005
Iteración 21: Mejor posición global 8.401502839415134, Valor 1.8487631539318063
Iteración 22: Mejor posición global 8.401769842108244, Valor 1.8490646290297832
Iteración 23: Mejor posición global 8.4019033434548, Valor 1.8492078358249457
Iteración 24: Mejor posición global 8.408503736497368, Valor 1.8500059601304488
Iteración 25: Mejor posición global 8.403084100510718, Valor 1.850255647252983
Iteración 26: Mejor posición global 8.403641103702038, Valor 1.8506133214559357
Iteración 27: Mejor posición global 8.403919605297698, Valor 1.850759282013258
Iteración 28: Mejor posición global 8.404058856095528, Valor 1.85082403933707
Iteración 29: Mejor posición global 8.404128481494443, Valor 1.8508543618074096
Iteración 30: Mejor posición global 8.4041632941939, Valor 1.850869008939613

```

```

Solucion optima (x): 8.4041632941939
Valor optimo: 1.850869008939613

```

```

[201]: fig, ax = plt.subplots(figsize=(10,6))

x = np.linspace(limite_inf, limite_sup, 100)

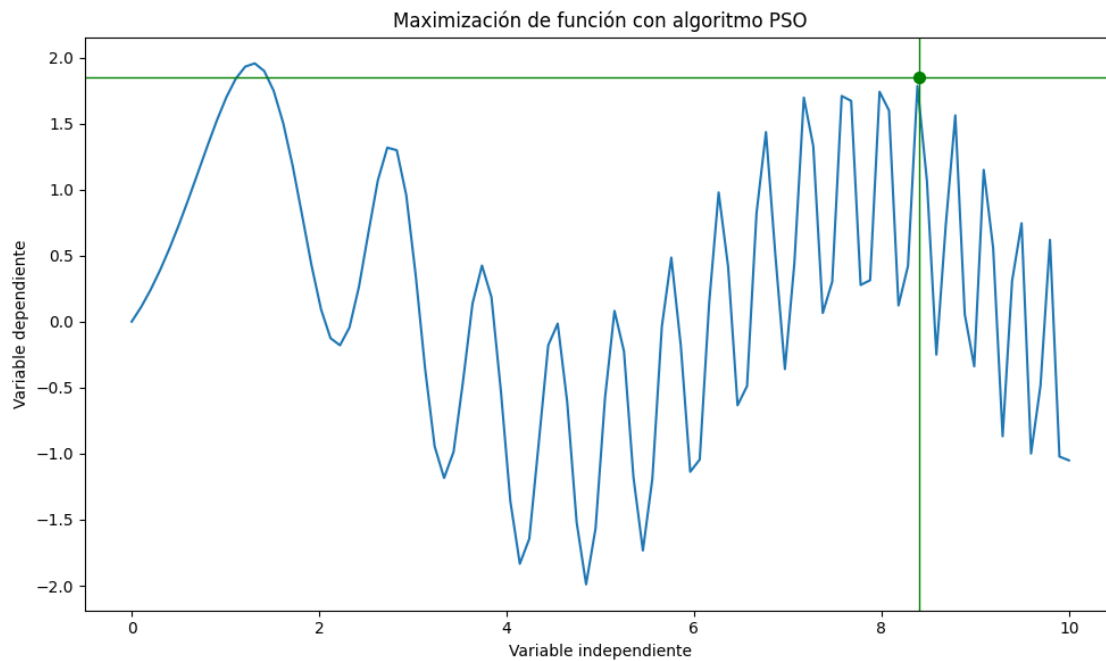
```

```

y = funcion_objetivo(x)

ax.plot(x, y)
ax.scatter(solucion_optima, valor_optimo, s=50, c='green')
ax.axvline(x=solucion_optima, c='green', linewidth=1)
ax.axhline(y=valor_optimo, c='green', linewidth=1)
ax.set_title('Maximización de función con algoritmo PSO')
ax.set_xlabel('Variable independiente')
ax.set_ylabel('Variable dependiente')
plt.tight_layout()
plt.show()

```



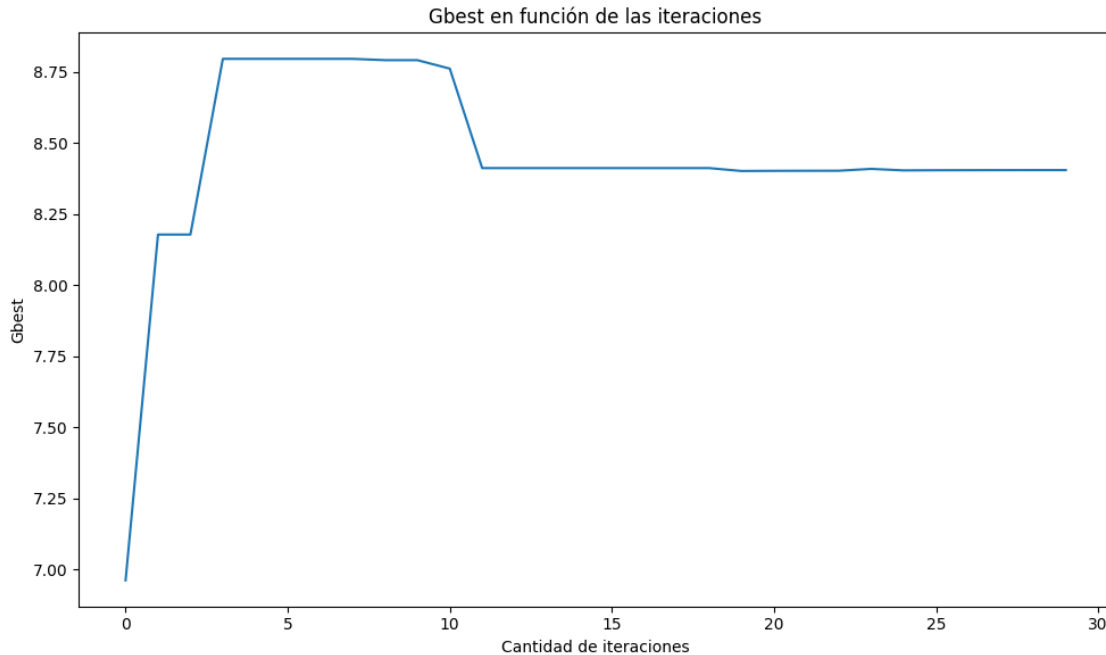
```

[202]: fig, ax = plt.subplots(figsize=(10,6))

x = np.arange(cantidad_iteraciones)
y = g_bests

ax.plot(x, y)
ax.set_title('Gbest en función de las iteraciones')
ax.set_xlabel('Cantidad de iteraciones')
ax.set_ylabel('Gbest')
plt.tight_layout()
plt.show()

```



Con 4 partículas

```
[203]: # parametros
num_particulas = 4 # numero de particulas
cantidad_iteraciones = 30 # maximo numero de iteraciones
c1 = 1.49 # componente cognitivo
c2 = 1.49 # componente social
w = 0.5 # factor de inercia
limite_inf = 0 # limite inferior de busqueda
limite_sup = 10 # limite superior de busqueda

solucion_optima, valor_optimo, g_bests = solve_PSO(funcion_objetivo,
↪ num_particulas, cantidad_iteraciones, c1, c2, w, limite_inf, limite_sup)
```

```
Iteración 1: Mejor posición global 4.31972012035248, Valor -1.112331644769265
Iteración 2: Mejor posición global 6.778127804465926, Valor 1.3999193599971966
Iteración 3: Mejor posición global 7.6054385696421, Valor 1.9312153739808202
Iteración 4: Mejor posición global 7.6054385696421, Valor 1.9312153739808202
Iteración 5: Mejor posición global 7.6054385696421, Valor 1.9312153739808202
Iteración 6: Mejor posición global 7.6054385696421, Valor 1.9312153739808202
Iteración 7: Mejor posición global 7.6054385696421, Valor 1.9312153739808202
Iteración 8: Mejor posición global 7.6054385696421, Valor 1.9312153739808202
Iteración 9: Mejor posición global 7.6054385696421, Valor 1.9312153739808202
Iteración 10: Mejor posición global 7.614459510627948, Valor 1.9617412085625374
Iteración 11: Mejor posición global 7.614459510627948, Valor 1.9617412085625374
Iteración 12: Mejor posición global 7.614459510627948, Valor 1.9617412085625374
Iteración 13: Mejor posición global 7.614459510627948, Valor 1.9617412085625374
```



```

Iteración 14: Mejor posición global 7.614459510627948, Valor 1.9617412085625374
Iteración 15: Mejor posición global 7.614459510627948, Valor 1.9617412085625374
Iteración 16: Mejor posición global 7.618509399830682, Valor 1.9693810444808326
Iteración 17: Mejor posición global 7.618509399830682, Valor 1.9693810444808326
Iteración 18: Mejor posición global 7.618509399830682, Valor 1.9693810444808326
Iteración 19: Mejor posición global 7.618509399830682, Valor 1.9693810444808326
Iteración 20: Mejor posición global 7.618509399830682, Valor 1.9693810444808326
Iteración 21: Mejor posición global 7.618509399830682, Valor 1.9693810444808326
Iteración 22: Mejor posición global 7.618509399830682, Valor 1.9693810444808326
Iteración 23: Mejor posición global 7.6231884517002575, Valor 1.9734643828678067
Iteración 24: Mejor posición global 7.6231884517002575, Valor 1.9734643828678067
Iteración 25: Mejor posición global 7.6231884517002575, Valor 1.9734643828678067
Iteración 26: Mejor posición global 7.6231884517002575, Valor 1.9734643828678067
Iteración 27: Mejor posición global 7.6243690969186435, Valor 1.9736880692978107
Iteración 28: Mejor posición global 7.6243690969186435, Valor 1.9736880692978107
Iteración 29: Mejor posición global 7.6243690969186435, Valor 1.9736880692978107
Iteración 30: Mejor posición global 7.6243690969186435, Valor 1.9736880692978107

```

Solucion optima (x): 7.6243690969186435

Valor optimo: 1.9736880692978107

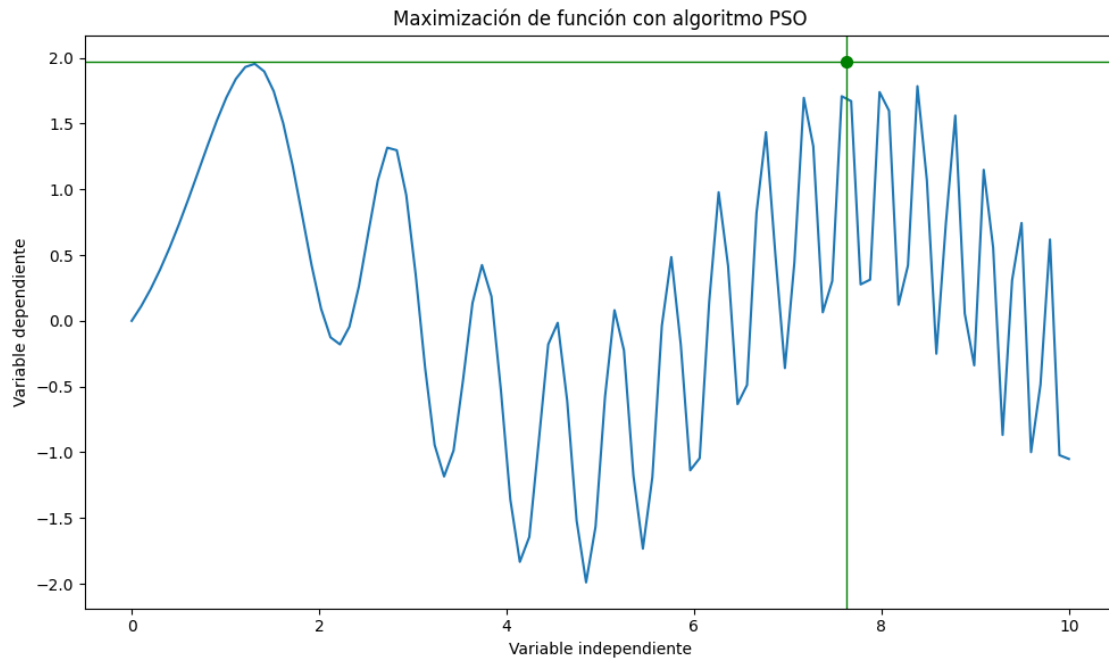
```

[204]: fig, ax = plt.subplots(figsize=(10,6))

x = np.linspace(limite_inf, limite_sup, 100)
y = funcion_objetivo(x)

ax.plot(x, y)
ax.scatter(solucion_optima, valor_optimo, s=50, c='green')
ax.axvline(x=solucion_optima, c='green', linewidth=1)
ax.axhline(y=valor_optimo, c='green', linewidth=1)
ax.set_title('Maximización de función con algoritmo PSO')
ax.set_xlabel('Variable independiente')
ax.set_ylabel('Variable dependiente')
plt.tight_layout()
plt.show()

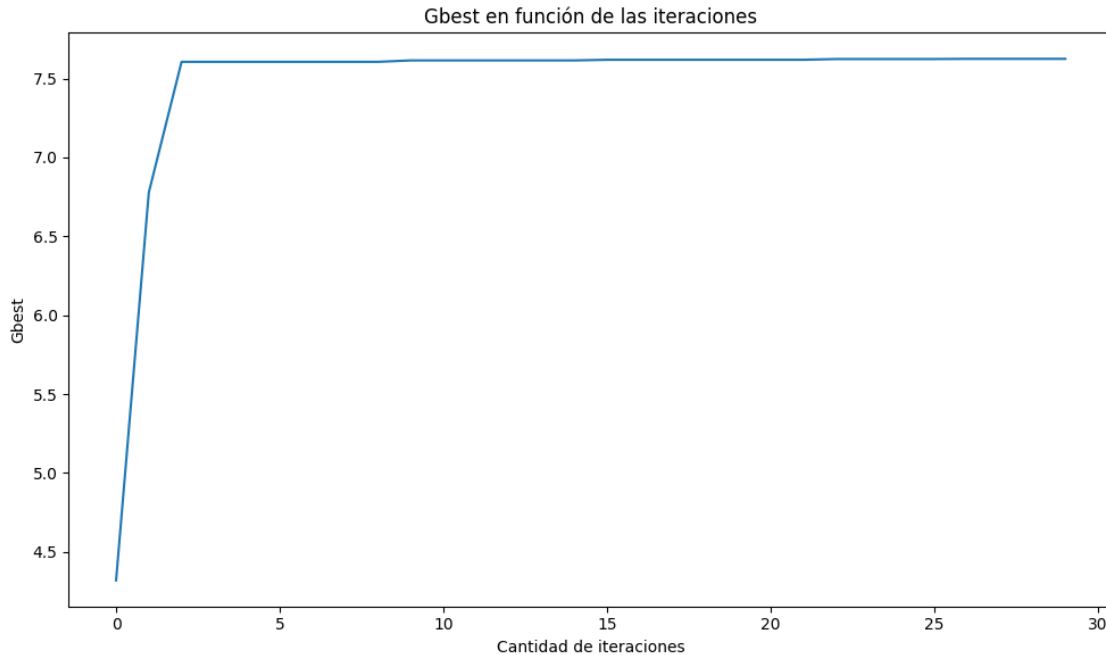
```



```
[205]: fig, ax = plt.subplots(figsize=(10,6))

x = np.arange(cantidad_iteraciones)
y = g_bests

ax.plot(x, y)
ax.set_title('Gbest en función de las iteraciones')
ax.set_xlabel('Cantidad de iteraciones')
ax.set_ylabel('Gbest')
plt.tight_layout()
plt.show()
```



Con 6 partículas

```
[206]: # parametros
num_particulas = 6 # numero de particulas
cantidad_iteraciones = 30 # maximo numero de iteraciones
c1 = 1.49 # componente cognitivo
c2 = 1.49 # componente social
w = 0.5 # factor de inercia
limite_inf = 0 # limite inferior de busqueda
limite_sup = 10 # limite superior de busqueda

solucion_optima, valor_optimo, g_bests = solve_PSO(funcion_objetivo,
↪ num_particulas, cantidad_iteraciones, c1, c2, w, limite_inf, limite_sup)
```

```
Iteración 1: Mejor posición global 8.768283779042566, Valor 1.6066289143530827
Iteración 2: Mejor posición global 8.768283779042566, Valor 1.6066289143530827
Iteración 3: Mejor posición global 8.768283779042566, Valor 1.6066289143530827
Iteración 4: Mejor posición global 8.768283779042566, Valor 1.6066289143530827
Iteración 5: Mejor posición global 8.768283779042566, Valor 1.6066289143530827
Iteración 6: Mejor posición global 8.768283779042566, Valor 1.6066289143530827
Iteración 7: Mejor posición global 1.1567765122588205, Valor 1.888566591768988
Iteración 8: Mejor posición global 1.3074892348568585, Valor 1.9559266782863847
Iteración 9: Mejor posición global 1.2866761799667996, Valor 1.9563204348492316
Iteración 10: Mejor posición global 1.2866761799667996, Valor 1.9563204348492316
Iteración 11: Mejor posición global 1.2866761799667996, Valor 1.9563204348492316
Iteración 12: Mejor posición global 1.2866761799667996, Valor 1.9563204348492316
Iteración 13: Mejor posición global 1.2866761799667996, Valor 1.9563204348492316
```

```

Iteración 14: Mejor posición global 1.2866761799667996, Valor 1.9563204348492316
Iteración 15: Mejor posición global 1.2866761799667996, Valor 1.9563204348492316
Iteración 16: Mejor posición global 1.2866761799667996, Valor 1.9563204348492316
Iteración 17: Mejor posición global 1.2866761799667996, Valor 1.9563204348492316
Iteración 18: Mejor posición global 1.2874575339706018, Valor 1.9563669171674198
Iteración 19: Mejor posición global 1.2874575339706018, Valor 1.9563669171674198
Iteración 20: Mejor posición global 1.2874575339706018, Valor 1.9563669171674198
Iteración 21: Mejor posición global 1.2874575339706018, Valor 1.9563669171674198
Iteración 22: Mejor posición global 1.2874575339706018, Valor 1.9563669171674198
Iteración 23: Mejor posición global 1.2973303507380998, Valor 1.9565449973640163
Iteración 24: Mejor posición global 1.2973303507380998, Valor 1.9565449973640163
Iteración 25: Mejor posición global 1.2958673614970955, Valor 1.9565667419234516
Iteración 26: Mejor posición global 1.2958673614970955, Valor 1.9565667419234516
Iteración 27: Mejor posición global 1.2958673614970955, Valor 1.9565667419234516
Iteración 28: Mejor posición global 1.2958673614970955, Valor 1.9565667419234516
Iteración 29: Mejor posición global 1.2958673614970955, Valor 1.9565667419234516
Iteración 30: Mejor posición global 1.2943228056608937, Valor 1.9565714515426753

```

Solucion optima (x): 1.2943228056608937

Valor optimo: 1.9565714515426753

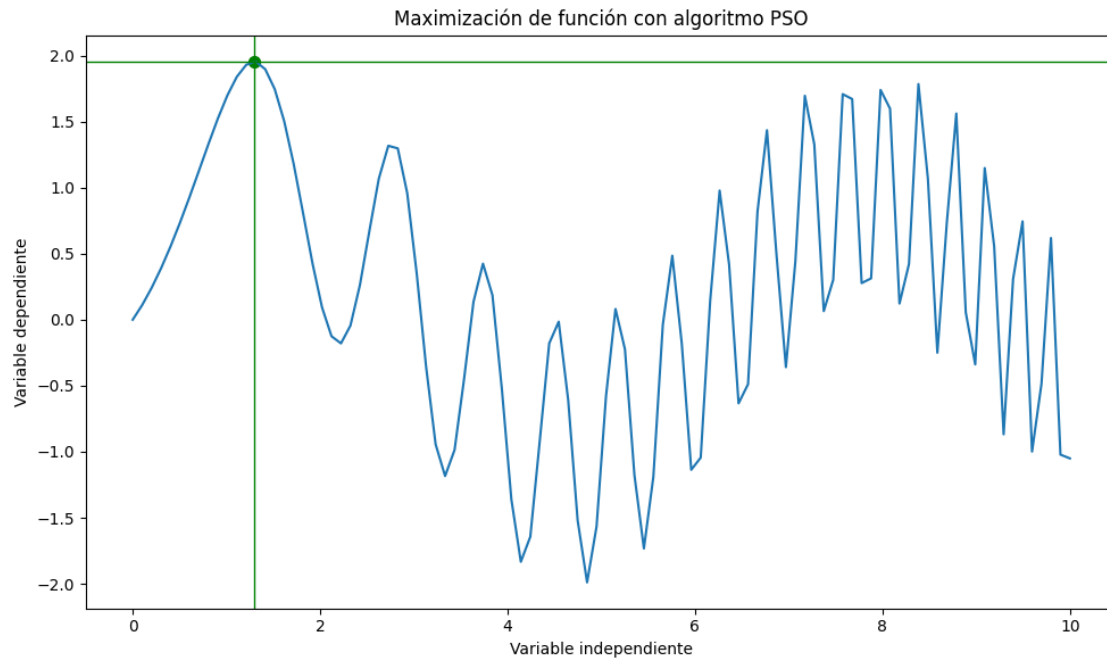
```

[207]: fig, ax = plt.subplots(figsize=(10,6))

x = np.linspace(limite_inf, limite_sup, 100)
y = funcion_objetivo(x)

ax.plot(x, y)
ax.scatter(solucion_optima, valor_optimo, s=50, c='green')
ax.axvline(x=solucion_optima, c='green', linewidth=1)
ax.axhline(y=valor_optimo, c='green', linewidth=1)
ax.set_title('Maximización de función con algoritmo PSO')
ax.set_xlabel('Variable independiente')
ax.set_ylabel('Variable dependiente')
plt.tight_layout()
plt.show()

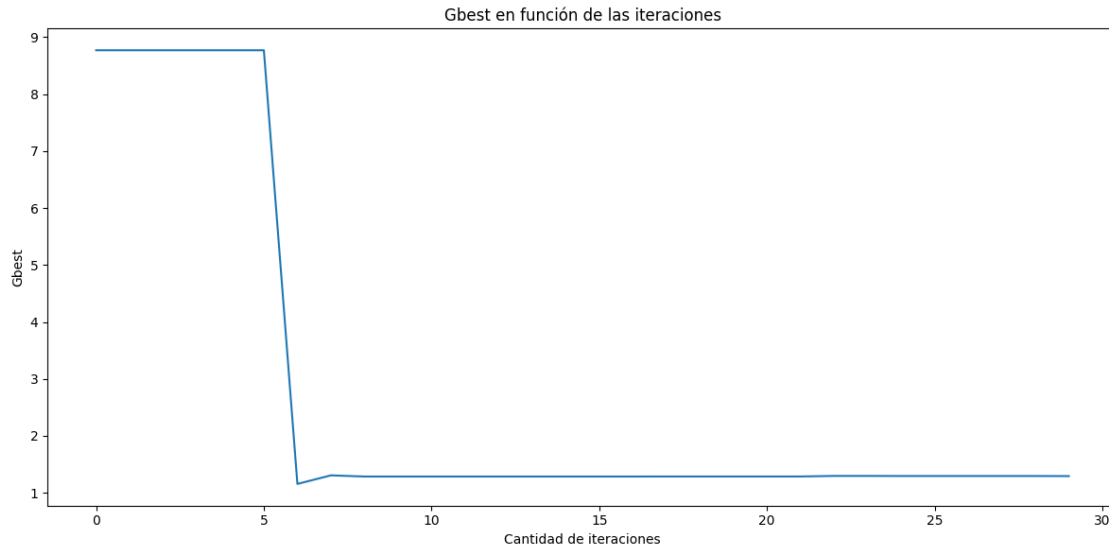
```



```
[208]: fig, ax = plt.subplots(figsize=(12,6))

x = np.arange(cantidad_iteraciones)
y = g_bests

ax.plot(x, y)
ax.set_title('Gbest en función de las iteraciones')
ax.set_xlabel('Cantidad de iteraciones')
ax.set_ylabel('Gbest')
plt.tight_layout()
plt.show()
```



Con 10 partículas

```
[209]: # parametros
num_particulas = 10 # numero de particulas
cantidad_iteraciones = 30 # maximo numero de iteraciones
c1 = 1.49 # componente cognitivo
c2 = 1.49 # componente social
w = 0.5 # factor de inercia
limite_inf = 0 # limite inferior de busqueda
limite_sup = 10 # limite superior de busqueda

solucion_optima, valor_optimo, g_bests = solve_PSO(funcion_objetivo,
↪ num_particulas, cantidad_iteraciones, c1, c2, w, limite_inf, limite_sup)
```

```
Iteración 1: Mejor posición global 0.9800756897330141, Valor 1.6500454681685963
Iteración 2: Mejor posición global 1.235783364315889, Valor 1.943454157280411
Iteración 3: Mejor posición global 1.3506431242390944, Valor 1.9439194945069138
Iteración 4: Mejor posición global 1.3506431242390944, Valor 1.9439194945069138
Iteración 5: Mejor posición global 1.2972537484857216, Valor 1.9565465537940727
Iteración 6: Mejor posición global 1.293580580563387, Valor 1.9565670622460398
Iteración 7: Mejor posición global 1.293580580563387, Valor 1.9565670622460398
Iteración 8: Mejor posición global 1.293580580563387, Valor 1.9565670622460398
Iteración 9: Mejor posición global 1.293580580563387, Valor 1.9565670622460398
Iteración 10: Mejor posición global 1.293580580563387, Valor 1.9565670622460398
Iteración 11: Mejor posición global 1.293580580563387, Valor 1.9565670622460398
Iteración 12: Mejor posición global 1.293580580563387, Valor 1.9565670622460398
Iteración 13: Mejor posición global 1.2938421717753712, Valor 1.9565691014159607
Iteración 14: Mejor posición global 1.2938421717753712, Valor 1.9565691014159607
Iteración 15: Mejor posición global 1.2953308765041147, Valor 1.9565704996362636
Iteración 16: Mejor posición global 1.2953308765041147, Valor 1.9565704996362636
```

```

Iteración 17: Mejor posición global 1.2953308765041147, Valor 1.9565704996362636
Iteración 18: Mejor posición global 1.2953308765041147, Valor 1.9565704996362636
Iteración 19: Mejor posición global 1.2949933607206423, Valor 1.9565717058635625
Iteración 20: Mejor posición global 1.2949933607206423, Valor 1.9565717058635625
Iteración 21: Mejor posición global 1.2946724355405996, Valor 1.9565720239829711
Iteración 22: Mejor posición global 1.2946724355405996, Valor 1.9565720239829711
Iteración 23: Mejor posición global 1.2946724355405996, Valor 1.9565720239829711
Iteración 24: Mejor posición global 1.2946724355405996, Valor 1.9565720239829711
Iteración 25: Mejor posición global 1.2947027048775257, Valor 1.956572028473444
Iteración 26: Mejor posición global 1.2947027048775257, Valor 1.956572028473444
Iteración 27: Mejor posición global 1.2947027048775257, Valor 1.956572028473444
Iteración 28: Mejor posición global 1.2947027048775257, Valor 1.956572028473444
Iteración 29: Mejor posición global 1.2947027048775257, Valor 1.956572028473444
Iteración 30: Mejor posición global 1.2947029694587484, Valor 1.956572028481025

```

Solucion optima (x): 1.2947029694587484

Valor optimo: 1.956572028481025

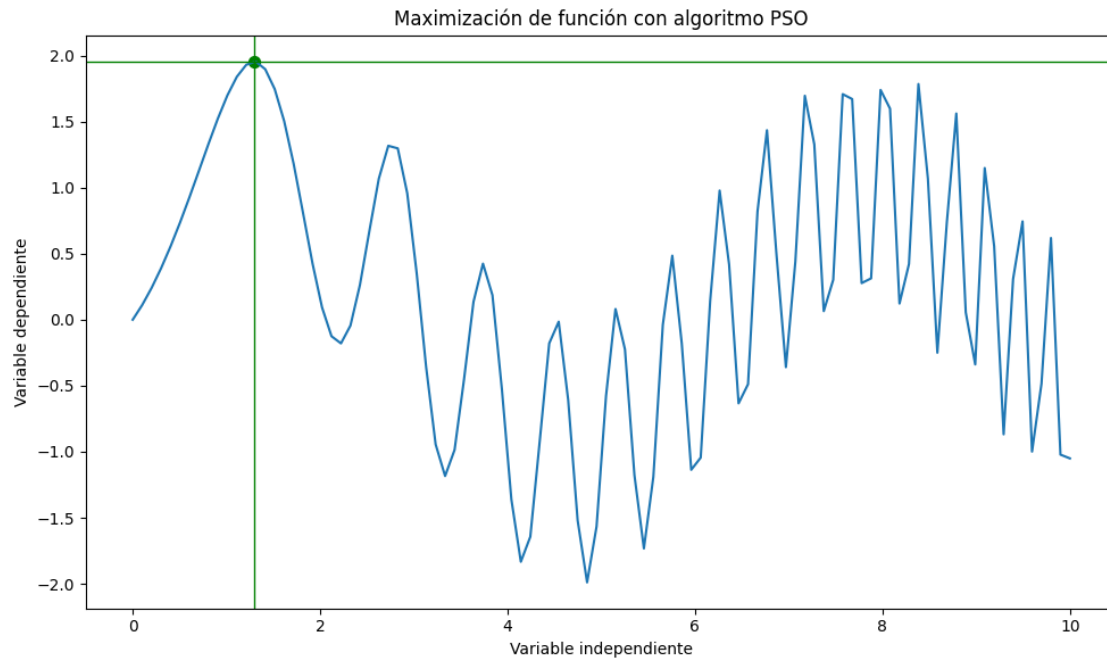
```

[210]: fig, ax = plt.subplots(figsize=(10,6))

x = np.linspace(limite_inf, limite_sup, 100)
y = funcion_objetivo(x)

ax.plot(x, y)
ax.scatter(solucion_optima, valor_optimo, s=50, c='green')
ax.axvline(x=solucion_optima, c='green', linewidth=1)
ax.axhline(y=valor_optimo, c='green', linewidth=1)
ax.set_title('Maximización de función con algoritmo PSO')
ax.set_xlabel('Variable independiente')
ax.set_ylabel('Variable dependiente')
plt.tight_layout()
plt.show()

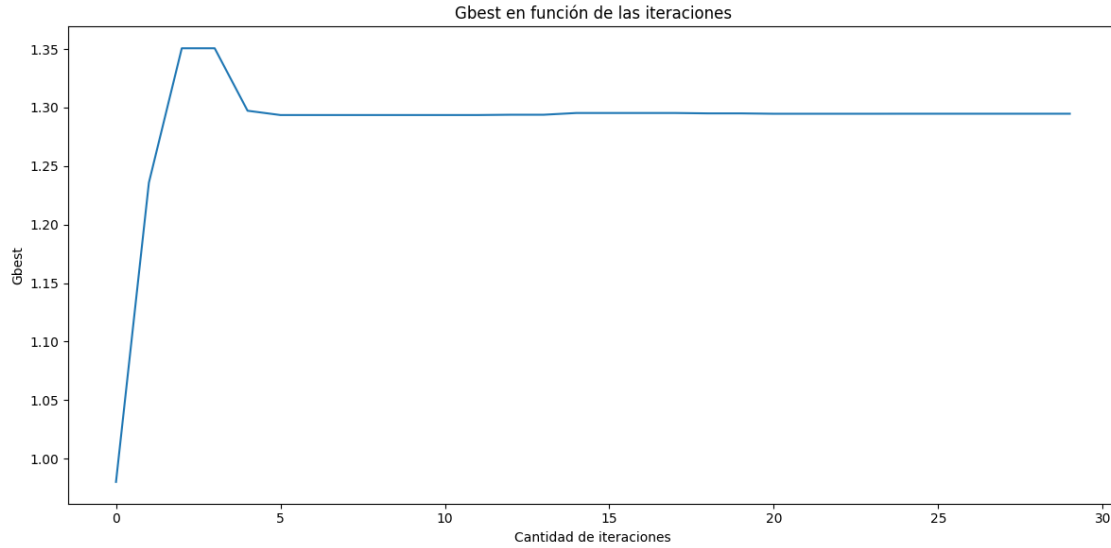
```



```
[211]: fig, ax = plt.subplots(figsize=(12,6))

x = np.arange(cantidad_iteraciones)
y = g_bests

ax.plot(x, y)
ax.set_title('Gbest en función de las iteraciones')
ax.set_xlabel('Cantidad de iteraciones')
ax.set_ylabel('Gbest')
plt.tight_layout()
plt.show()
```

Cuando se varía el número de partículas, se está permitiendo una exploración más amplia de posibles soluciones. Cuando se optó hasta 4 partículas, el algoritmo eligió un máximo local. Sin embargo, cuando se aumentó el número de partículas, el algoritmo halló el máximo global.

1.0.4 EJERCICIO 3

Dada la siguiente función perteneciente a un paraboloide elíptico de la forma:

$$f(x, y) = (x - a)^2 + (y + b)^2$$

donde, las constantes a y b son valores reales ingresados por el usuario a través de la consola, con intervalos de:

$$-100 \leq x \leq 100 - 100 \leq y \leq 100 - 50 \leq a \leq 50 - 50 \leq b \leq 50$$

escribir en Python un algoritmo PSO para la minimización de la función $f(x, y)$ que cumpla con las siguientes consignas: * Transcribir el algoritmo utilizando los siguientes parámetros: número de partículas = 20, máximo número de iteraciones = 10, coeficientes de aceleración $c1 = c2 = 2$, peso de inercia $w = 0.7$. * Indicar la URL del repositorio en donde se encuentra el algoritmo PSO. * Graficar usando matplotlib la función objetivo $f(x, y)$ y agregar un punto rojo en donde el algoritmo haya encontrado el valor mínimo. El gráfico debe contener etiquetas en los ejes, leyenda y un título. * Realizar un gráfico de línea que muestre gbest en función de las iteraciones realizadas. * Transcribir la solución óptima encontrada (dominio) y el valor objetivo óptimo (imagen). * Establecer el coeficiente de inercia w en 0, ejecutar el algoritmo y realizar observaciones/comentarios/conclusiones sobre los resultados observados. * Reescribir el algoritmo PSO para que cumpla nuevamente con los ítems A hasta F pero usando la biblioteca pswarm (from pswarm import pso). * Realizar observaciones/comentarios/conclusiones comparando los resultados obtenidos sin pswarm y con pswarm.

```

[246]: # funcion objetivo hiperboloide eliptico
def funcion_objetivo(a, b, x, y):
    return (x-a)**2+(y+b)**2

[247]: def solve_PSO(funcion_objetivo, num_particulas, dim, cantidad_iteraciones, c1,
    ↪c2, w, limite_inf, limite_sup, input_a, input_b):

    # inicializacion
    particulas = np.random.uniform(limite_inf, limite_sup, (num_particulas,
    ↪dim)) # posiciones iniciales de las particulas

    velocidades = np.zeros((num_particulas, dim)) # inicializacion de la
    ↪matriz de velocidades en cero

    # inicializacion de pbest y gbest
    pbest = particulas.copy() # mejores posiciones personales iniciales

    fitness_pbest = np.empty(num_particulas) # mejores fitness personales
    ↪iniciales
    for i in range(num_particulas):
        fitness_pbest[i] = funcion_objetivo(input_a, input_b, particulas[i][0],
    ↪particulas[i][1])

    gbest = pbest[np.argmin(fitness_pbest)] # mejor posicion global inicial
    fitness_gbest = np.min(fitness_pbest) # fitness global inicial

    g_best = []

    # busqueda
    for iteracion in range(cantidad_iteraciones):
        for i in range(num_particulas): # iteracion sobre cada partícula
            r1, r2 = np.random.rand(), np.random.rand() # generacion dos
            ↪numeros aleatorios

            # actualizacion de la velocidad de la partícula en cada dimension
            for d in range(dim):
                velocidades[i][d] = (w * velocidades[i][d] + c1 * r1 *
    ↪(pbest[i][d] - particulas[i][d]) + c2 * r2 * (gbest[d] - particulas[i][d]))

            for d in range(dim):
                particulas[i][d] = particulas[i][d] + velocidades[i][d] #
    ↪actualizacion de la posicion de la partícula en cada dimension

            # mantenimiento de las partículas dentro de los limites
            particulas[i][d] = np.clip(particulas[i][d], limite_inf,
    ↪limite_sup)

```

```

        fitness = funcion_objetivo(input_a, input_b, particulas[i][0],
↪particulas[i][1]) # Evaluacion de la funcion objetivo para la nueva posicion

        # actualizacion el mejor personal
        if fitness < fitness_pbest[i]:
            fitness_pbest[i] = fitness # actualizacion del mejor fitness
↪personal
            pbest[i] = particulas[i].copy() # actualizacion de la mejor
↪posicion personal

        # actualizacion del mejor global
        if fitness < fitness_gbest:
            fitness_gbest = fitness # actualizacion del mejor fitness
↪global
            gbest = particulas[i].copy() # actualizacion de la mejor
↪posicion global

        g_bests.append(gbest)

        # imprimir el mejor global en cada iteracion
        print(f"Iteración {iteracion + 1}: Mejor posición global {gbest}, Valor
↪{fitness_gbest}")

        # resultado
        solucion_optima = gbest # mejor posicion global final
        valor_optimo = fitness_gbest # mejor fitness global final

        print("\nSolucion optima (x, y):", solucion_optima)
        print("Valor optimo:", valor_optimo)

        return solucion_optima, valor_optimo, g_bests

```

```

[262]: from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

def plot_3d(funcion_objetivo, limite_inf, limite_sup, min_x, min_y):
    # Crear una malla de puntos para x y y
    x = np.linspace(limite_inf, limite_sup, 400)
    y = np.linspace(limite_inf, limite_sup, 400)
    X, Y = np.meshgrid(x, y)
    Z = funcion_objetivo(input_a, input_b, X, Y)

    # Mínimo teórico de la función
    min_z = funcion_objetivo(input_a, input_b, min_x, min_y)

    # Configurar la gráfica 3D
    fig = plt.figure()

```

```

ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')

# Graficar la superficie
ax.plot_surface(X, Y, Z, cmap='viridis', alpha=0.7)

# Graficar las líneas que indican el mínimo
ax.plot([min_x, min_x], [min_y, min_y], [-100, min_z], color='r',
↪linestyle='--') # Línea vertical desde el mínimo hasta el plano XY
ax.plot([min_x, min_x], [-100, min_y], [min_z, min_z], color='r',
↪linestyle='--') # Línea en el plano XY desde el eje Y al mínimo
ax.plot([-100, min_x], [min_y, min_y], [min_z, min_z], color='r',
↪linestyle='--') # Línea en el plano XY desde el eje X al mínimo

# Graficar el punto que indica el mínimo
ax.scatter(min_x, min_y, min_z, color='red', s=50, label='Mínimo')

# Etiquetas de los ejes
ax.set_xlabel('X')
ax.set_ylabel('Y')
ax.set_zlabel('Z')

# Título de la gráfica
ax.set_title('Gráfico 3D con el Mínimo de la Función')

# Mostrar la leyenda
ax.legend()

# Mostrar la gráfica
plt.show()

```

```

[248]: # parametros
num_particulas = 20 # numero de particulas
dim = 2 # dimensiones
cantidad_iteraciones = 10 # maximo numero de iteraciones
c1 = 2.0 # componente cognitivo
c2 = 2.0 # componente social
w = 0.7 # factor de inercia
limite_inf = -100 # limite inferior de busqueda
limite_sup = 100 # limite superior de busqueda

input_a = input("Introduzca el valor del parámetro a")
input_a = max(min(float(input_a), 60), -60)
print("a: ", input_a)

input_b = input("Introduzca el valor del parámetro b")
input_b = max(min(float(input_b), 60), -60)
print("b: ", input_b)

```

```

solucion_optima, valor_optimo, g_bests = solve_PSO(funcion_objetivo,
↳ num_particulas, dim, cantidad_iteraciones, c1, c2, w, limite_inf,
↳ limite_sup, input_a, input_b)

```

```

Iteración 1: Mejor posición global [-29.94042584 -27.12250645], Valor
149.54216395411748
Iteración 2: Mejor posición global [-22.56411851 -16.03082675], Valor
22.329040051519982
Iteración 3: Mejor posición global [-22.56411851 -16.03082675], Valor
22.329040051519982
Iteración 4: Mejor posición global [-22.8150579 -18.11111371], Valor
11.492442426343
Iteración 5: Mejor posición global [-22.69101173 -20.06815469], Valor
7.246189186700847
Iteración 6: Mejor posición global [-22.69101173 -20.06815469], Valor
7.246189186700847
Iteración 7: Mejor posición global [-21.27589996 -17.97667974], Valor
5.721745586090749
Iteración 8: Mejor posición global [-21.27589996 -17.97667974], Valor
5.721745586090749
Iteración 9: Mejor posición global [-21.27589996 -17.97667974], Valor
5.721745586090749
Iteración 10: Mejor posición global [-21.27589996 -17.97667974], Valor
5.721745586090749

```

```

Solucion optima (x, y): [-21.27589996 -17.97667974]
Valor optimo: 5.721745586090749

```

```

[250]: fig, ax = plt.subplots(1,2,figsize=(12,6))

x1 = np.linspace(limite_inf, limite_sup, 100)
x2 = np.linspace(limite_inf, limite_sup, 100)
y = funcion_objetivo(input_a, input_b, x1, x2)

# Variable X
ax[0].plot(x1, y)
ax[0].scatter(solucion_optima[0], valor_optimo, s=50, c='green')
ax[0].axvline(x=solucion_optima[0], c='green', linewidth=1)
ax[0].axhline(y=valor_optimo, c='green', linewidth=1)
ax[0].set_title('Minimización de función con algoritmo PSO (Variable X)')
ax[0].set_xlabel('Variable independiente X')
ax[0].set_ylabel('Variable dependiente')

# Variable Y
ax[1].plot(x2, y)
ax[1].scatter(solucion_optima[1], valor_optimo, s=50, c='green')

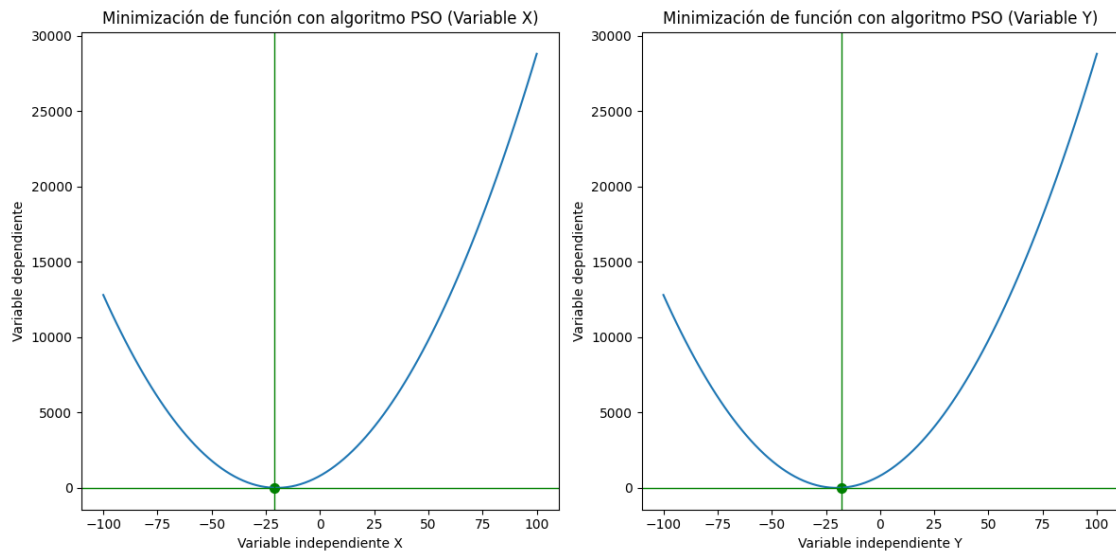
```

```

ax[1].axvline(x=solucion_optima[1], c='green', linewidth=1)
ax[1].axhline(y=valor_optimo, c='green', linewidth=1)
ax[1].set_title('Minimización de función con algoritmo PSO (Variable Y)')
ax[1].set_xlabel('Variable independiente Y')
ax[1].set_ylabel('Variable dependiente')

plt.tight_layout()
plt.show()

```

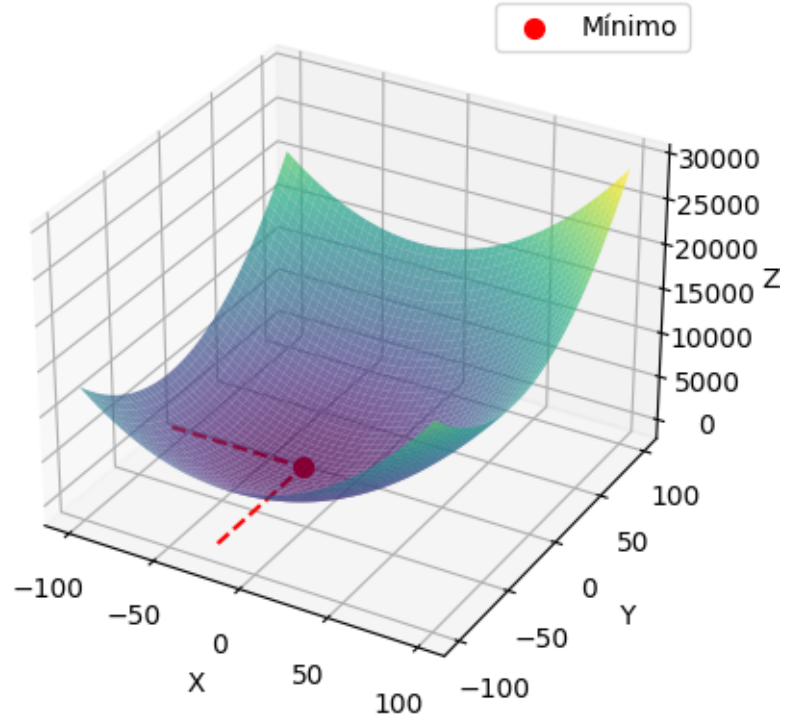


```

[263]: plot_3d(funcion_objetivo, limite_inf, limite_sup, solucion_optima[0],
↳solucion_optima[1])

```

Gráfico 3D con el Mínimo de la Función



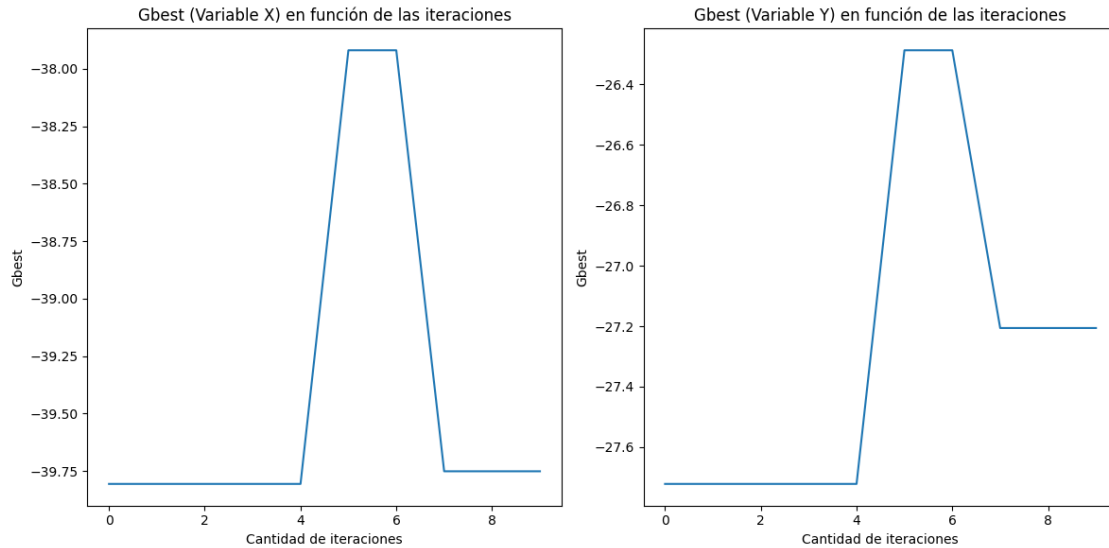
```
[220]: fig, ax = plt.subplots(1,2,figsize=(12,6))

x = np.arange(cantidad_iteraciones)
y1 = np.array(g_bests)[: , 0]
y2 = np.array(g_bests)[: , 1]

# Variable X
ax[0].plot(x, y1)
ax[0].set_title('Gbest (Variable X) en función de las iteraciones')
ax[0].set_xlabel('Cantidad de iteraciones')
ax[0].set_ylabel('Gbest')

# Variable Y
ax[1].plot(x, y2)
ax[1].set_title('Gbest (Variable Y) en función de las iteraciones')
ax[1].set_xlabel('Cantidad de iteraciones')
ax[1].set_ylabel('Gbest')

plt.tight_layout()
plt.show()
```



Con coeficiente de inercia $w = 0$

```
[264]: # parametros
num_particulas = 20 # numero de particulas
dim = 2 # dimensiones
cantidad_iteraciones = 10 # maximo numero de iteraciones
c1 = 2.0 # componente cognitivo
c2 = 2.0 # componente social
w = 0 # factor de inercia
limite_inf = -100 # limite inferior de busqueda
limite_sup = 100 # limite superior de busqueda

solucion_optima, valor_optimo, g_best = solve_PSO(funcion_objetivo,
↪ num_particulas, dim, cantidad_iteraciones, c1, c2, w, limite_inf,
↪ limite_sup, input_a, input_b)
```

Iteración 1: Mejor posición global [-25.07295378 -23.3621512], Valor 37.03892070333109
 Iteración 2: Mejor posición global [-19.81301421 -20.67533301], Valor 0.49103836566414527
 Iteración 3: Mejor posición global [-19.74396173 -20.59693813], Valor 0.4218907222171764
 Iteración 4: Mejor posición global [-20.03918028 -20.16570197], Valor 0.028992237100104745
 Iteración 5: Mejor posición global [-20.08320338 -20.02331107], Valor 0.007466209228216243
 Iteración 6: Mejor posición global [-20.02097002 -19.9558482], Valor 0.0023891233616686143
 Iteración 7: Mejor posición global [-20.01085475 -19.99418823], Valor 0.0001516022470502709

Iteración 8: Mejor posición global [-20.00318061 -19.99819883], Valor
1.33604437717331e-05
Iteración 9: Mejor posición global [-20.00318061 -19.99819883], Valor
1.33604437717331e-05
Iteración 10: Mejor posición global [-20.00041224 -20.00110021], Valor
1.3804006232743012e-06

Solucion optima (x, y): [-20.00041224 -20.00110021]
Valor optimo: 1.3804006232743012e-06

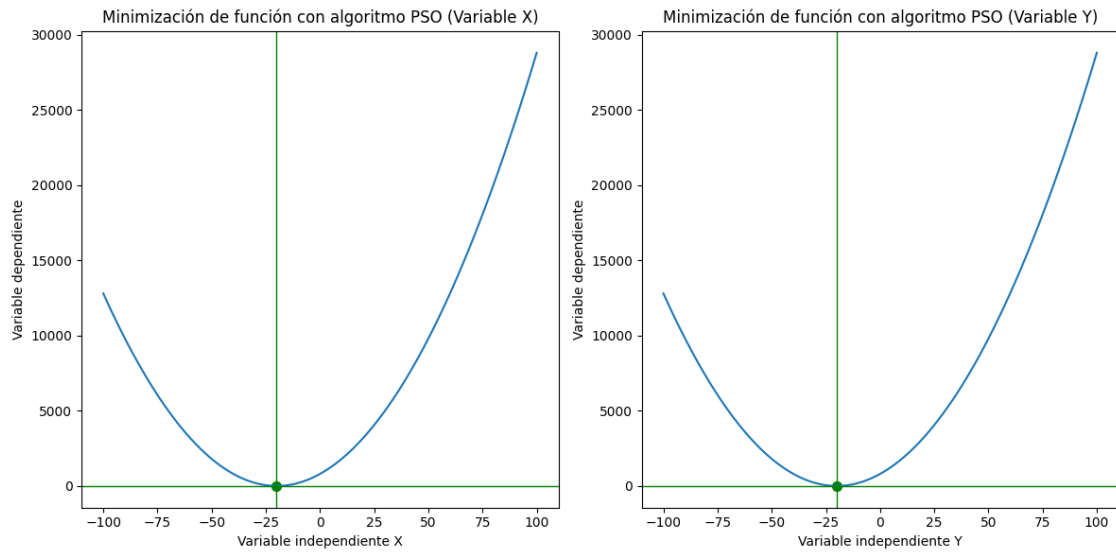
```
[265]: fig, ax = plt.subplots(1,2,figsize=(12,6))

x1 = np.linspace(limite_inf, limite_sup, 100)
x2 = np.linspace(limite_inf, limite_sup, 100)
y = funcion_objetivo(x1, x2, input_a, input_b)

# Variable X
ax[0].plot(x1, y)
ax[0].scatter(solucion_optima[0], valor_optimo, s=50, c='green')
ax[0].axvline(x=solucion_optima[0], c='green', linewidth=1)
ax[0].axhline(y=valor_optimo, c='green', linewidth=1)
ax[0].set_title('Minimización de función con algoritmo PSO (Variable X)')
ax[0].set_xlabel('Variable independiente X')
ax[0].set_ylabel('Variable dependiente')

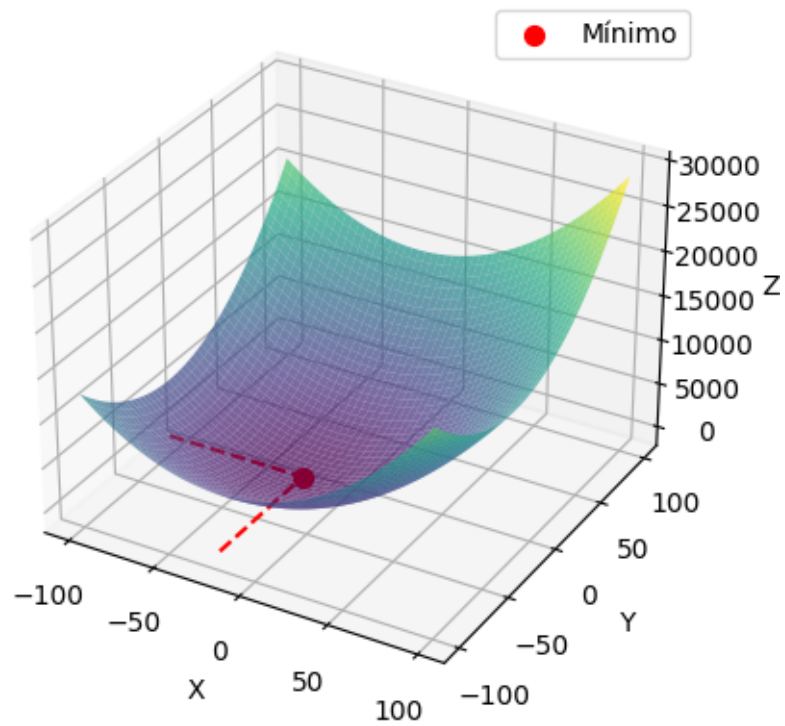
# Variable Y
ax[1].plot(x2, y)
ax[1].scatter(solucion_optima[1], valor_optimo, s=50, c='green')
ax[1].axvline(x=solucion_optima[1], c='green', linewidth=1)
ax[1].axhline(y=valor_optimo, c='green', linewidth=1)
ax[1].set_title('Minimización de función con algoritmo PSO (Variable Y)')
ax[1].set_xlabel('Variable independiente Y')
ax[1].set_ylabel('Variable dependiente')

plt.tight_layout()
plt.show()
```



```
[266]: plot_3d(funcion_objetivo, limite_inf, limite_sup, solucion_optima[0],
↪solucion_optima[1])
```

Gráfico 3D con el Mínimo de la Función



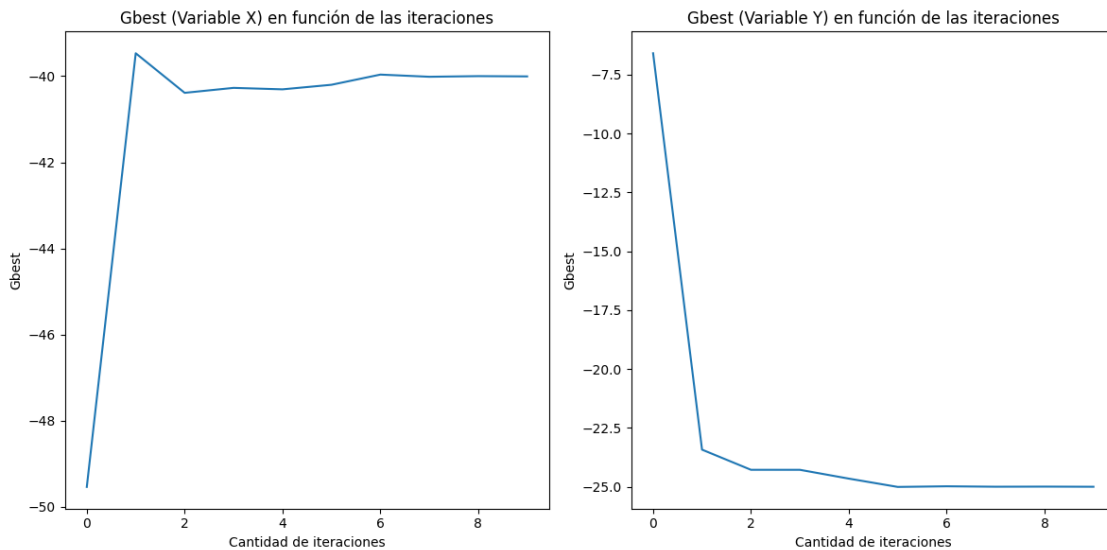
```
[224]: fig, ax = plt.subplots(1,2,figsize=(12,6))

x = np.arange(cantidad_iteraciones)
y1 = np.array(g_bests)[: , 0]
y2 = np.array(g_bests)[: , 1]

# Variable X
ax[0].plot(x, y1)
ax[0].set_title('Gbest (Variable X) en función de las iteraciones')
ax[0].set_xlabel('Cantidad de iteraciones')
ax[0].set_ylabel('Gbest')

# Variable Y
ax[1].plot(x, y2)
ax[1].set_title('Gbest (Variable Y) en función de las iteraciones')
ax[1].set_xlabel('Cantidad de iteraciones')
ax[1].set_ylabel('Gbest')

plt.tight_layout()
plt.show()
```



Los valores halados fueron muy similares, tanto con $w = 0.7$ como con $w = 0$. Teóricamente, el valor de coeficiente de inercia favorece una exploración más local cuanto menor sea su valor, mientras que favorecerá una exploración más global cuanto mayor sea.

Con PySwarm

```
[228]: from pyswarm import pso
```

```
# funcion objetivo hiperboloide eliptico
def funcion_objetivo(x):
    return (x[0] - input_a) ** 2 + (x[1] + input_b) ** 2
```

```
[229]: # parametros
num_particulas = 20 # numero de particulas
dim = 2 # dimensiones
cantidad_iteraciones = 10 # maximo numero de iteraciones
c1 = 2.0 # componente cognitivo
c2 = 2.0 # componente social
w = 0.7 # factor de inercia

lb = [-100, -100] # limite inf
ub = [100, 100] # limite sup

# Llamada a la función pso
solucion_optima, valor_optimo = pso(
    funcion_objetivo,
    lb,
    ub,
    swarmsize=num_particulas,
    maxiter=cantidad_iteraciones,
    omega=w,
    phip=c1,
    phig=c2,
    debug=False)

# Resultados
print("\nSolución óptima (x, y):", solucion_optima)
print("Valor óptimo:", valor_optimo)
```

Stopping search: maximum iterations reached --> 10

Solución óptima (x, y): [-38.24571333 -27.36277281]

Valor óptimo: 8.660217051128843

```
[243]: fig, ax = plt.subplots(1,2,figsize=(12,6))

x1 = np.linspace(limite_inf, limite_sup, 100)
x2 = np.linspace(limite_inf, limite_sup, 100)
y = [funcion_objetivo(x) for x in np.hstack((x1.reshape(-1,1), x2.
    ↪ reshape(-1,1)))]

# Variable X
ax[0].plot(x1, y)
ax[0].scatter(solucion_optima[0], valor_optimo, s=50, c='green')
ax[0].axvline(x=solucion_optima[0], c='green', linewidth=1)
```

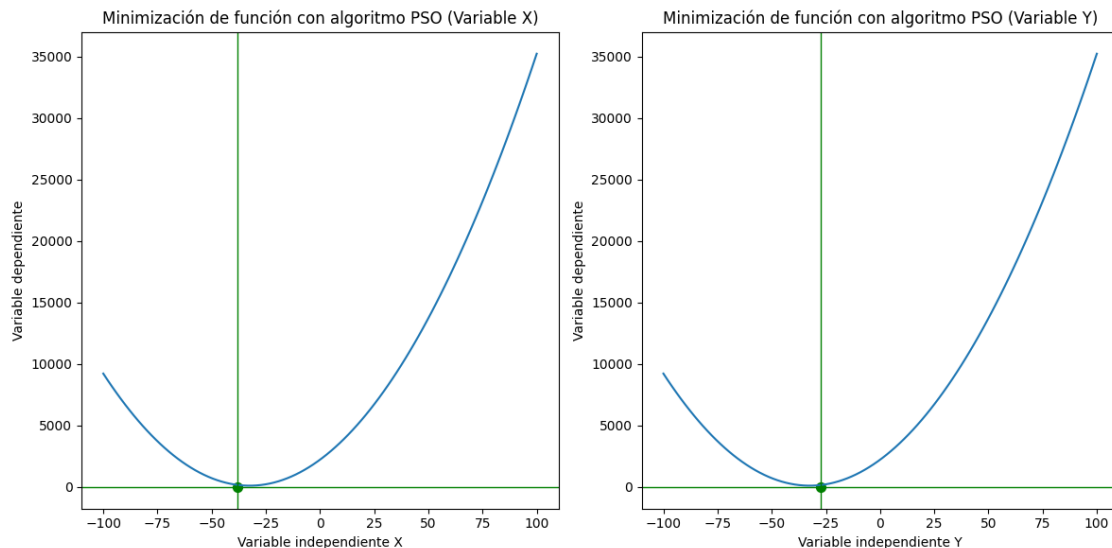
```

ax[0].axhline(y=valor_optimo, c='green', linewidth=1)
ax[0].set_title('Minimización de función con algoritmo PSO (Variable X)')
ax[0].set_xlabel('Variable independiente X')
ax[0].set_ylabel('Variable dependiente')

# Variable Y
ax[1].plot(x2, y)
ax[1].scatter(solucion_optima[1], valor_optimo, s=50, c='green')
ax[1].axvline(x=solucion_optima[1], c='green', linewidth=1)
ax[1].axhline(y=valor_optimo, c='green', linewidth=1)
ax[1].set_title('Minimización de función con algoritmo PSO (Variable Y)')
ax[1].set_xlabel('Variable independiente Y')
ax[1].set_ylabel('Variable dependiente')

plt.tight_layout()
plt.show()

```

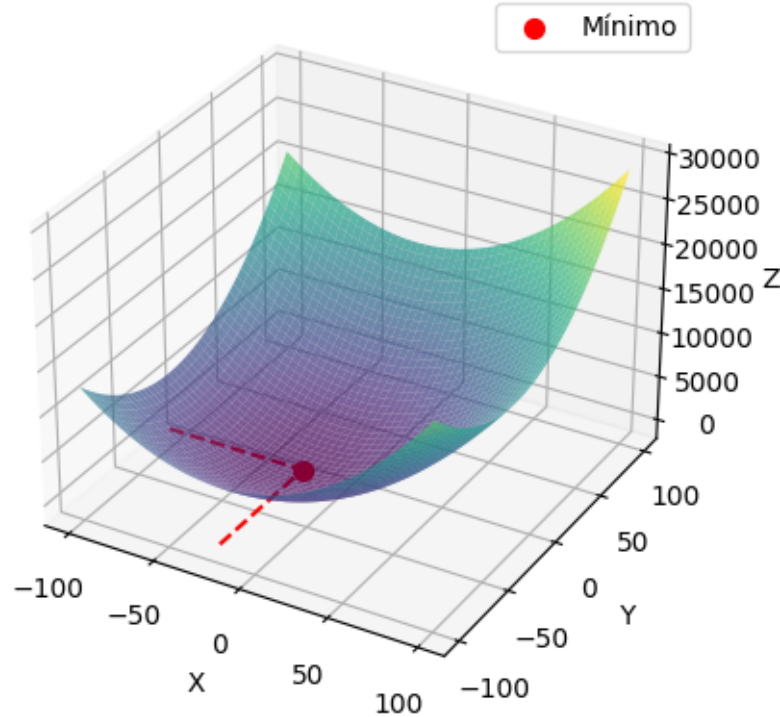


```

[267]: plot_3d(funcion_objetivo, limite_inf, limite_sup, solucion_optima[0],
↳solucion_optima[1])

```

Gráfico 3D con el Mínimo de la Función



El algoritmo PSO de PySwarm es mucho más eficiente. La velocidad de cómputo fue notoria. Además, tiene más hiperparámetros y configuraciones para ajustar. En términos de soluciones halladas, ambos dieron similar. De todas maneras, el ejercicio de optimización fue muy sencillo para que PSO de PySwarm se luzca más.

1.0.5 EJERCICIO 4

Mediante PSO es posible resolver en forma aproximada un sistema de n ecuaciones con n incógnitas clásico del tipo:

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ \vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \end{cases}$$

Por ejemplo, el siguiente es un sistema de 2 ecuaciones con 2 incógnitas x_1 y x_2 que puede ser resuelto con PSO:

$$\begin{cases} 3x_1 + 2x_2 = 9 \\ x_1 - 5x_2 = 4 \end{cases}$$

Utilizando la biblioteca pyswarm: * Escribir un algoritmo PSO con parámetros a elección (c_1 , c_2 , w , número de partículas, máximo número de iteraciones) que encuentre x_1 y x_2 para el sistema de ecuaciones anterior (3). Transcribir el código fuente. * Transcribir los valores de x_1 y x_2 encontrados por el algoritmo. * Indicar la URL del repositorio en donde se encuentra el algoritmo PSO. * Realizar observaciones/comentarios/conclusiones sobre: * (i) ¿Cómo eligió los límites superior e inferior de x_1 y x_2 ? * (ii) ¿PSO puede resolver un sistema de n ecuaciones con n incógnitas no lineal?. Demostrar. * (iii) ¿Cómo logró resolver el ejercicio?. * (iv) ¿Los resultados obtenidos guardan relación directa con los valores de los parámetros elegidos?. Demostrar.

Lo que se va a hacer es utilizar la librería Optuna para realizar una búsqueda de hiperparámetros bayesiana. El objetivo será minimizar la función de suma de errores cuadráticos medios y quedarme con esos hiperparámetros.

```
[302]: import optuna
import contextlib # Esto es para evitar los prints excesivos
import os
```

```
[274]: # Función objetivo
def funcion_objetivo(x):
    x1, x2 = x
    eq1 = (3 * x1 + 2 * x2 - 9) ** 2 # error cuadrático de la primera ecuación
    eq2 = (x1 - 5 * x2 - 4) ** 2 # error cuadrático de la segunda ecuación
    return eq1 + eq2
```

```
[278]: # Definir la función que será optimizada por Optuna
def optimizacion(trial):
    # Sugerir valores para los hiperparámetros
    num_particulas = trial.suggest_int('num_particulas', 10, 100)
    cant_iteraciones = trial.suggest_int('cant_iteraciones', 50, 300)
    w = trial.suggest_uniform('w', 0.1, 0.9)
    c1 = trial.suggest_uniform('c1', 0.5, 3.0)
    c2 = trial.suggest_uniform('c2', 0.5, 3.0)
    lb = trial.suggest_uniform('lb', -100, 0)
    ub = trial.suggest_uniform('ub', 0, 100)

    # Límites para x1 y x2
    lb_ = [lb, lb]
    ub_ = [ub, ub]

    # Ejecutar PSO
    with open(os.devnull, 'w') as fnull:
        with contextlib.redirect_stdout(fnull):
            best_position, best_value = pso(
                funcion_objetivo,
                lb=lb_,
                ub=ub_,
                swarmsize=num_particulas,
                maxiter=cant_iteraciones,
```

```

        omega=w,
        phip=c1,
        phig=c2
    )

    # El objetivo de la optimización es minimizar el valor de la función
    ↪objetivo
    return best_value

# Crear un estudio de Optuna y optimizar
study = optuna.create_study(direction='minimize')
study.optimize(optimizacion, n_trials=200)

# Imprimir los resultados
print("Mejor valor objetivo:", study.best_value)
print("Mejores hiperparámetros:", study.best_params)

```

```

[I 2024-08-10 11:36:36,630] A new study created in memory with name:
no-name-cd179b7b-c600-43c5-9e8e-5dee678e06a1
C:\Users\Leandro\AppData\Local\Temp\ipykernel_12904\2942538057.py:6:
FutureWarning: suggest_uniform has been deprecated in v3.0.0. This feature will
be removed in v6.0.0. See https://github.com/optuna/optuna/releases/tag/v3.0.0.
Use :func:`~optuna.trial.Trial.suggest_float` instead.
    w = trial.suggest_uniform('w', 0.1, 0.9)
C:\Users\Leandro\AppData\Local\Temp\ipykernel_12904\2942538057.py:7:
FutureWarning: suggest_uniform has been deprecated in v3.0.0. This feature will
be removed in v6.0.0. See https://github.com/optuna/optuna/releases/tag/v3.0.0.
Use :func:`~optuna.trial.Trial.suggest_float` instead.
    c1 = trial.suggest_uniform('c1', 0.5, 3.0)
C:\Users\Leandro\AppData\Local\Temp\ipykernel_12904\2942538057.py:8:
FutureWarning: suggest_uniform has been deprecated in v3.0.0. This feature will
be removed in v6.0.0. See https://github.com/optuna/optuna/releases/tag/v3.0.0.
Use :func:`~optuna.trial.Trial.suggest_float` instead.
    c2 = trial.suggest_uniform('c2', 0.5, 3.0)
C:\Users\Leandro\AppData\Local\Temp\ipykernel_12904\2942538057.py:9:
FutureWarning: suggest_uniform has been deprecated in v3.0.0. This feature will
be removed in v6.0.0. See https://github.com/optuna/optuna/releases/tag/v3.0.0.
Use :func:`~optuna.trial.Trial.suggest_float` instead.
    lb = trial.suggest_uniform('lb', -100, 0)
C:\Users\Leandro\AppData\Local\Temp\ipykernel_12904\2942538057.py:10:
FutureWarning: suggest_uniform has been deprecated in v3.0.0. This feature will
be removed in v6.0.0. See https://github.com/optuna/optuna/releases/tag/v3.0.0.
Use :func:`~optuna.trial.Trial.suggest_float` instead.
    ub = trial.suggest_uniform('ub', 0, 100)
[I 2024-08-10 11:36:36,849] Trial 0 finished with value:
4.775344826800397e-10 and parameters: {'num_particulas': 66, 'cant_iteraciones':
294, 'w': 0.725035520804117, 'c1': 2.568545372441815, 'c2': 0.8281679970370216,
'lb': -36.51680190560918, 'ub': 73.87500910828189}. Best is trial 0 with value:

```


4.775344826800397e-10.

[I 2024-08-10 11:36:36,936] Trial 1 finished with value: 0.02273273241308225 and parameters: {'num_particulas': 82, 'cant_iteraciones': 57, 'w': 0.7501463789713081, 'c1': 2.823426443488575, 'c2': 1.8520575178711771, 'lb': -35.75166310820241, 'ub': 30.53461468046461}. Best is trial 0 with value: 4.775344826800397e-10.

[I 2024-08-10 11:36:37,073] Trial 2 finished with value: 65.07652539109993 and parameters: {'num_particulas': 71, 'cant_iteraciones': 70, 'w': 0.12651067317779782, 'c1': 2.8902869157218616, 'c2': 0.5750642095980802, 'lb': -31.41924272802332, 'ub': 1.3242692494896624}. Best is trial 0 with value: 4.775344826800397e-10.

[I 2024-08-10 11:36:37,129] Trial 3 finished with value: 2.1770987778731394e-09 and parameters: {'num_particulas': 26, 'cant_iteraciones': 180, 'w': 0.548367470161689, 'c1': 2.9734949607692926, 'c2': 1.5366194192598113, 'lb': -4.939244634348228, 'ub': 72.61318073583858}. Best is trial 0 with value: 4.775344826800397e-10.

[I 2024-08-10 11:36:37,167] Trial 4 finished with value: 1.0430731727998694e-06 and parameters: {'num_particulas': 61, 'cant_iteraciones': 189, 'w': 0.2285368727970453, 'c1': 2.670052100812479, 'c2': 2.30504404968077, 'lb': -45.02023270677128, 'ub': 96.84267786641595}. Best is trial 0 with value: 4.775344826800397e-10.

[I 2024-08-10 11:36:37,296] Trial 5 finished with value: 1.5414362716396972e-05 and parameters: {'num_particulas': 75, 'cant_iteraciones': 94, 'w': 0.7941346539525084, 'c1': 1.9729257109973424, 'c2': 1.7140501622352609, 'lb': -6.927780630589737, 'ub': 18.21504946540864}. Best is trial 0 with value: 4.775344826800397e-10.

[I 2024-08-10 11:36:37,330] Trial 6 finished with value: 2.474757243249255e-08 and parameters: {'num_particulas': 78, 'cant_iteraciones': 182, 'w': 0.16091246225738223, 'c1': 1.528925950248242, 'c2': 1.429648397848073, 'lb': -5.53860178378342, 'ub': 11.333965206663843}. Best is trial 0 with value: 4.775344826800397e-10.

[I 2024-08-10 11:36:37,343] Trial 7 finished with value: 4.705985194390345e-09 and parameters: {'num_particulas': 14, 'cant_iteraciones': 182, 'w': 0.11234168910698994, 'c1': 1.6163322747598916, 'c2': 1.2447244908548059, 'lb': -99.45690212558974, 'ub': 85.18033581972017}. Best is trial 0 with value: 4.775344826800397e-10.

[I 2024-08-10 11:36:37,426] Trial 8 finished with value: 1.9667535942595418e-10 and parameters: {'num_particulas': 25, 'cant_iteraciones': 293, 'w': 0.6330699433340052, 'c1': 2.3078071702600957, 'c2': 2.0140636919129613, 'lb': -87.03287728425313, 'ub': 41.27529628755852}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:37,517] Trial 9 finished with value: 2.644543680358318e-09 and parameters: {'num_particulas': 71, 'cant_iteraciones': 195, 'w': 0.663095155823998, 'c1': 0.9484790299652954, 'c2': 1.2981805313913715, 'lb': -90.39466163388738, 'ub': 29.85699543137913}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:37,621] Trial 10 finished with value: 6.011265333939536e-07 and parameters: {'num_particulas': 40, 'cant_iteraciones':

300, 'w': 0.38758927156918077, 'c1': 2.207757314327684, 'c2': 2.9922420144092534, 'lb': -73.8847605332108, 'ub': 50.833285746687494}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:38,133] Trial 11 finished with value: 1.0339621576772416e-06 and parameters: {'num_particulas': 97, 'cant_iteraciones': 293, 'w': 0.8646366033764319, 'c1': 2.383130410847945, 'c2': 0.7477154765007137, 'lb': -64.60332110621741, 'ub': 58.58816691073261}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:38,222] Trial 12 finished with value: 8.14904339848863e-09 and parameters: {'num_particulas': 45, 'cant_iteraciones': 250, 'w': 0.6186134415136512, 'c1': 2.280192951954647, 'c2': 0.8505383201699135, 'lb': -61.51245038363048, 'ub': 66.21464995534461}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:38,453] Trial 13 finished with value: 2.0791647432768454e-07 and parameters: {'num_particulas': 47, 'cant_iteraciones': 244, 'w': 0.6953960107663646, 'c1': 2.422916065354979, 'c2': 2.0594053843262965, 'lb': -87.59825245623871, 'ub': 44.72374899576719}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:38,618] Trial 14 finished with value: 2.9310693327857236e-05 and parameters: {'num_particulas': 29, 'cant_iteraciones': 250, 'w': 0.8894799279585721, 'c1': 1.894043353048614, 'c2': 1.0941725068635955, 'lb': -52.418845271414796, 'ub': 76.485131315127}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:38,664] Trial 15 finished with value: 4.3614562978682934e-08 and parameters: {'num_particulas': 10, 'cant_iteraciones': 130, 'w': 0.5431532736579825, 'c1': 2.5997244542085673, 'c2': 0.9640593648497984, 'lb': -77.9570947731977, 'ub': 45.8876290543396}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:38,741] Trial 16 finished with value: 9.001385234996921e-09 and parameters: {'num_particulas': 58, 'cant_iteraciones': 274, 'w': 0.4425055411732024, 'c1': 2.5994066684110653, 'c2': 0.6395482175312684, 'lb': -27.558656952958223, 'ub': 58.632447844046524}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:38,851] Trial 17 finished with value: 1.0733940414181214e-08 and parameters: {'num_particulas': 34, 'cant_iteraciones': 218, 'w': 0.7505579615832276, 'c1': 2.1115535884903442, 'c2': 1.1880041933828163, 'lb': -50.69736531128696, 'ub': 85.1834991697995}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:38,980] Trial 18 finished with value: 2.164753977578252e-08 and parameters: {'num_particulas': 89, 'cant_iteraciones': 129, 'w': 0.6208228987247775, 'c1': 1.77356779349791, 'c2': 0.528380709765411, 'lb': -72.84065621787317, 'ub': 36.93331108927052}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:39,073] Trial 19 finished with value: 2.656570818307498e-09 and parameters: {'num_particulas': 20, 'cant_iteraciones': 270, 'w': 0.8071505939114615, 'c1': 2.4908448182547565, 'c2': 0.8575030116537677, 'lb': -19.05648110148309, 'ub': 58.95504544167835}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:39,252] Trial 20 finished with value: 9.686744917493405e-10 and parameters: {'num_particulas': 63, 'cant_iteraciones': 224, 'w': 0.7020266786466698, 'c1': 2.0744472423246987, 'c2': 1.5378995005543645, 'lb': -41.990838248843254, 'ub': 99.9259337369743}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:39,398] Trial 21 finished with value: 5.651162950450308e-10 and parameters: {'num_particulas': 64, 'cant_iteraciones': 272, 'w': 0.6873257703611877, 'c1': 2.0964849073111105, 'c2': 1.4830544963869206, 'lb': -41.959077500941184, 'ub': 97.72859707088985}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:39,502] Trial 22 finished with value: 6.997668490244369e-09 and parameters: {'num_particulas': 51, 'cant_iteraciones': 281, 'w': 0.6151327844398382, 'c1': 2.339717060520509, 'c2': 0.9838541575298353, 'lb': -57.88714125528292, 'ub': 89.26470366022232}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:39,841] Trial 23 finished with value: 3.4977670117243907e-06 and parameters: {'num_particulas': 65, 'cant_iteraciones': 269, 'w': 0.718574855918453, 'c1': 2.7077929160724583, 'c2': 1.7837172398159158, 'lb': -41.72112516766521, 'ub': 90.35574723039036}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:40,136] Trial 24 finished with value: 6.361681602300307e-09 and parameters: {'num_particulas': 54, 'cant_iteraciones': 300, 'w': 0.8261784417890246, 'c1': 2.2395976054814812, 'c2': 1.1297519519483048, 'lb': -54.103107053246305, 'ub': 80.39105409680964}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:40,257] Trial 25 finished with value: 0.00023109848242392985 and parameters: {'num_particulas': 40, 'cant_iteraciones': 228, 'w': 0.7812017378182046, 'c1': 2.4861674068562434, 'c2': 1.3716530597241114, 'lb': -22.93758218229347, 'ub': 75.5700801122754}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:40,418] Trial 26 finished with value: 6.198219156403513e-08 and parameters: {'num_particulas': 66, 'cant_iteraciones': 152, 'w': 0.659642919753656, 'c1': 2.0210801903088145, 'c2': 2.092126699843788, 'lb': -37.02914641813069, 'ub': 67.55792995412986}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:40,558] Trial 27 finished with value: 4.858990478050954e-09 and parameters: {'num_particulas': 81, 'cant_iteraciones': 262, 'w': 0.5532111151485681, 'c1': 2.780616884085863, 'c2': 0.7003254038315041, 'lb': -46.516191383433686, 'ub': 94.04575360325929}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:40,830] Trial 28 finished with value: 8.985437945084956e-10 and parameters: {'num_particulas': 88, 'cant_iteraciones': 206, 'w': 0.7422473902313449, 'c1': 2.211729779348369, 'c2': 1.0663281917265472, 'lb': -63.79246696249637, 'ub': 99.4377906385044}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:41,158] Trial 29 finished with value: 0.2550247667587315 and parameters: {'num_particulas': 53, 'cant_iteraciones': 283, 'w': 0.8444463367233925, 'c1': 2.8200348363579257, 'c2':

1.6385299107207865, 'lb': -34.745817860690934, 'ub': 83.54525104728023}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:41,476] Trial 30 finished with value:

1.4228025797863025e-08 and parameters: {'num_particulas': 85, 'cant_iteraciones': 239, 'w': 0.7573869737355339, 'c1': 2.545250028182954, 'c2': 1.3767268003815576, 'lb': -38.51190615263387, 'ub': 91.80748307344011}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:41,720] Trial 31 finished with value:

1.6362042378515335e-08 and parameters: {'num_particulas': 100, 'cant_iteraciones': 208, 'w': 0.7206715701813677, 'c1': 2.334884988455184, 'c2': 1.0390479173187381, 'lb': -62.68752164861665, 'ub': 88.77972143132538}. Best is trial 8 with value: 1.9667535942595418e-10.

[I 2024-08-10 11:36:41,931] Trial 32 finished with value:

2.2946891086899965e-12 and parameters: {'num_particulas': 73, 'cant_iteraciones': 259, 'w': 0.7341422454712551, 'c1': 2.1893688520984975, 'c2': 0.8316278450545331, 'lb': -47.45909408335797, 'ub': 98.8649226849993}.

Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:42,087] Trial 33 finished with value:

1.5135727531833194e-08 and parameters: {'num_particulas': 71, 'cant_iteraciones': 263, 'w': 0.6722843161526307, 'c1': 2.843072613369389, 'c2': 0.5769509392707171, 'lb': -47.18010239009286, 'ub': 80.3888423208571}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:42,246] Trial 34 finished with value:

1.2162526146410354e-08 and parameters: {'num_particulas': 70, 'cant_iteraciones': 286, 'w': 0.7782190892316685, 'c1': 1.8929394679417568, 'c2': 0.5009706795243263, 'lb': -29.97011156122683, 'ub': 94.62729579508286}.

Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:42,523] Trial 35 finished with value:

0.001930368582769054 and parameters: {'num_particulas': 57, 'cant_iteraciones': 257, 'w': 0.8240919064452615, 'c1': 2.963662256748045, 'c2': 0.8127225093846138, 'lb': -42.638564640246834, 'ub': 99.83224467632445}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:42,630] Trial 36 finished with value:

0.9893135699612727 and parameters: {'num_particulas': 76, 'cant_iteraciones': 56, 'w': 0.8947632728455935, 'c1': 2.1116225891111724, 'c2': 0.9198967854204686, 'lb': -54.42762462662939, 'ub': 93.95518735859922}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:42,789] Trial 37 finished with value:

1.5208279048815563e-09 and parameters: {'num_particulas': 60, 'cant_iteraciones': 233, 'w': 0.7384704912333981, 'c1': 2.6749624115704016, 'c2': 0.7140239636312687, 'lb': -35.33599727359882, 'ub': 70.69787150202401}.

Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:43,082] Trial 38 finished with value:

2.3591152669965004e-07 and parameters: {'num_particulas': 68, 'cant_iteraciones': 286, 'w': 0.7937384737039559, 'c1': 2.472672683669291, 'c2': 1.2212006944656302, 'lb': -48.09362817166645, 'ub': 77.7729946662607}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:43,221] Trial 39 finished with value:

2.6710929920380548e-09 and parameters: {'num_particulas': 79, 'cant_iteraciones': 169, 'w': 0.6487708963608957, 'c1': 1.9299195338324362, 'c2': 1.5266695320920225, 'lb': -30.391670477732085, 'ub': 81.9430531932395}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:43,354] Trial 40 finished with value: 2.8971963756421827e-05 and parameters: {'num_particulas': 74, 'cant_iteraciones': 80, 'w': 0.6991649199393694, 'c1': 2.3642819125315926, 'c2': 1.294446111105978, 'lb': -46.70723963591062, 'ub': 84.3051722507983}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:43,505] Trial 41 finished with value: 3.006207522239984e-05 and parameters: {'num_particulas': 91, 'cant_iteraciones': 210, 'w': 0.7535447885190019, 'c1': 2.2287592937480323, 'c2': 1.0201901282723749, 'lb': -58.166640815184266, 'ub': 99.94270319991732}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:43,724] Trial 42 finished with value: 1.7281212777138463e-10 and parameters: {'num_particulas': 86, 'cant_iteraciones': 300, 'w': 0.7298317645020471, 'c1': 2.253138655326507, 'c2': 0.8241462814628395, 'lb': -67.20234351851259, 'ub': 94.55810253010786}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:43,850] Trial 43 finished with value: 9.17052555923459e-09 and parameters: {'num_particulas': 84, 'cant_iteraciones': 298, 'w': 0.5938532657921418, 'c1': 2.155125743469228, 'c2': 0.7975040209942617, 'lb': -40.44235314484324, 'ub': 87.609444896529}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:44,016] Trial 44 finished with value: 4.0929633928515395e-08 and parameters: {'num_particulas': 95, 'cant_iteraciones': 275, 'w': 0.6907138994875164, 'c1': 2.0280473741217415, 'c2': 0.6739875475125204, 'lb': -68.73269424236194, 'ub': 94.96427980548768}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:44,161] Trial 45 finished with value: 5.158459022699351e-10 and parameters: {'num_particulas': 76, 'cant_iteraciones': 290, 'w': 0.6498189035947446, 'c1': 2.342992673122743, 'c2': 0.8902842567631181, 'lb': -89.04957103687617, 'ub': 90.43934238113835}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:44,327] Trial 46 finished with value: 2.0394042833328218e-09 and parameters: {'num_particulas': 75, 'cant_iteraciones': 293, 'w': 0.6378265223901323, 'c1': 2.442519359307462, 'c2': 0.8191163244050519, 'lb': -82.00094302373425, 'ub': 89.91203739713906}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:44,387] Trial 47 finished with value: 4.983324147481016e-10 and parameters: {'num_particulas': 21, 'cant_iteraciones': 255, 'w': 0.5860181776315468, 'c1': 2.5892338305700955, 'c2': 0.9214277907437171, 'lb': -92.06672268670373, 'ub': 73.44471796664106}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:44,445] Trial 48 finished with value: 4.226240644521931e-09 and parameters: {'num_particulas': 18, 'cant_iteraciones': 255, 'w': 0.5594706315406359, 'c1': 2.6587209469254884, 'c2': 0.6185538173427179, 'lb': -95.94610966153256, 'ub': 71.26790779270719}. Best is

trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:44,504] Trial 49 finished with value: 5.264043667959651e-08 and parameters: {'num_particulas': 25, 'cant_iteraciones': 246, 'w': 0.5032397110395741, 'c1': 2.5673771873429545, 'c2': 1.1588127906151524, 'lb': -80.50727370993042, 'ub': 63.6608797039958}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:44,579] Trial 50 finished with value: 1.4951222963795624e-09 and parameters: {'num_particulas': 31, 'cant_iteraciones': 278, 'w': 0.5746861404885798, 'c1': 2.729888919035455, 'c2': 0.9324710470535511, 'lb': -85.19010152449772, 'ub': 75.62116316232053}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:44,635] Trial 51 finished with value: 1.5358375390794745e-10 and parameters: {'num_particulas': 11, 'cant_iteraciones': 288, 'w': 0.6617666110571478, 'c1': 2.3079379276135095, 'c2': 0.8982633833155695, 'lb': -90.97143370530006, 'ub': 87.18179769958641}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:44,683] Trial 52 finished with value: 2.5947692121863406e-10 and parameters: {'num_particulas': 10, 'cant_iteraciones': 264, 'w': 0.60417149728447, 'c1': 2.428499065863074, 'c2': 0.724662889220095, 'lb': -96.05328154613838, 'ub': 85.99313161596206}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:44,730] Trial 53 finished with value: 4.745721245158399e-09 and parameters: {'num_particulas': 10, 'cant_iteraciones': 299, 'w': 0.6129450330483842, 'c1': 2.296272266963043, 'c2': 0.7768902587971072, 'lb': -98.62701407573728, 'ub': 86.22693061063276}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:44,789] Trial 54 finished with value: 7.623868886300356e-09 and parameters: {'num_particulas': 15, 'cant_iteraciones': 265, 'w': 0.6707052023586954, 'c1': 2.4129076535797562, 'c2': 0.6156634914230206, 'lb': -93.18883421855391, 'ub': 79.95367627007599}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:44,854] Trial 55 finished with value: 4.195152476628826e-08 and parameters: {'num_particulas': 15, 'cant_iteraciones': 288, 'w': 0.7207715151910582, 'c1': 2.195134419217174, 'c2': 0.7563842308011159, 'lb': -86.46387391560883, 'ub': 85.14932553204866}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:44,906] Trial 56 finished with value: 1.5094395682153207e-07 and parameters: {'num_particulas': 13, 'cant_iteraciones': 241, 'w': 0.6448009406187247, 'c1': 2.264450804627741, 'c2': 1.094336096085606, 'lb': -94.52301614237082, 'ub': 95.52547738166808}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:44,971] Trial 57 finished with value: 3.6141212930187463e-10 and parameters: {'num_particulas': 20, 'cant_iteraciones': 277, 'w': 0.6820385196778322, 'c1': 2.4133778811279614, 'c2': 0.5568219564120191, 'lb': -97.8806950508431, 'ub': 92.59841544832025}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:45,038] Trial 58 finished with value: 1.6925502046381204e-09 and parameters: {'num_particulas': 25,

'cant_iteraciones': 278, 'w': 0.607055605686407, 'c1': 2.4066819727768, 'c2': 0.5305166364081639, 'lb': -99.9838814494797, 'ub': 96.0191706839252}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:45,113] Trial 59 finished with value: 7.10512021556707e-10 and parameters: {'num_particulas': 18, 'cant_iteraciones': 269, 'w': 0.6784114973398621, 'c1': 2.509258039776975, 'c2': 0.6968509000753345, 'lb': -89.94102726357302, 'ub': 91.87860937028653}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:45,186] Trial 60 finished with value: 2.23553253634258e-08 and parameters: {'num_particulas': 23, 'cant_iteraciones': 281, 'w': 0.7120840639135978, 'c1': 2.162505469532781, 'c2': 0.602196520655009, 'lb': -96.1921182486717, 'ub': 85.68476705918584}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:45,304] Trial 61 finished with value: 7.042969617968431e-10 and parameters: {'num_particulas': 29, 'cant_iteraciones': 290, 'w': 0.7718464735651296, 'c1': 2.2813206582570635, 'c2': 0.8345449933790091, 'lb': -91.7223640921925, 'ub': 92.6008654558695}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:45,353] Trial 62 finished with value: 4.090096164190102e-08 and parameters: {'num_particulas': 11, 'cant_iteraciones': 300, 'w': 0.6322477850510927, 'c1': 2.4306673304330957, 'c2': 0.9942686284302807, 'lb': -84.58178387996506, 'ub': 87.83091742724933}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:45,432] Trial 63 finished with value: 1.3834232825049666e-07 and parameters: {'num_particulas': 17, 'cant_iteraciones': 262, 'w': 0.7327105914931101, 'c1': 2.597587873605992, 'c2': 0.712966933262386, 'lb': -74.71724817711066, 'ub': 96.89021447921786}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:45,518] Trial 64 finished with value: 1.5573111407430235e-08 and parameters: {'num_particulas': 35, 'cant_iteraciones': 272, 'w': 0.6861810753869018, 'c1': 2.521578788356098, 'c2': 0.6359107722254937, 'lb': -88.43905691735164, 'ub': 78.98564100860787}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:45,684] Trial 65 finished with value: 5.299021908355349e-08 and parameters: {'num_particulas': 49, 'cant_iteraciones': 293, 'w': 0.7993329335368609, 'c1': 2.3674842211754488, 'c2': 0.523922355574244, 'lb': -96.5768880883261, 'ub': 81.88867243805824}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:45,750] Trial 66 finished with value: 4.3054198459834205e-07 and parameters: {'num_particulas': 21, 'cant_iteraciones': 117, 'w': 0.6656711561760471, 'c1': 2.288844425129445, 'c2': 0.8711875170994536, 'lb': -81.96731736786364, 'ub': 91.62038087113169}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:45,810] Trial 67 finished with value: 1.7050610033887008e-06 and parameters: {'num_particulas': 13, 'cant_iteraciones': 252, 'w': 0.759739630558828, 'c1': 2.122154654349029, 'c2': 0.9943394265485235, 'lb': -93.03877380283706, 'ub': 87.55315572804223}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:45,918] Trial 68 finished with value: 6.372576574503138e-08 and parameters: {'num_particulas': 61, 'cant_iteraciones': 278, 'w': 0.6274429641280834, 'c1': 2.003306901903354, 'c2': 0.7672268979374934, 'lb': -99.56636638314038, 'ub': 83.28222354613482}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:46,085] Trial 69 finished with value: 7.930788004245358e-09 and parameters: {'num_particulas': 44, 'cant_iteraciones': 282, 'w': 0.7068443809853947, 'c1': 2.6268910660326616, 'c2': 1.1179208822007236, 'lb': -77.0213717960867, 'ub': 96.36086741253817}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:46,306] Trial 70 finished with value: 6.683446027261768e-10 and parameters: {'num_particulas': 80, 'cant_iteraciones': 234, 'w': 0.7294857152883653, 'c1': 2.7474421058609493, 'c2': 0.6511846771607083, 'lb': -90.74358028352219, 'ub': 50.93766011354026}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:46,380] Trial 71 finished with value: 1.2785500110177257e-08 and parameters: {'num_particulas': 28, 'cant_iteraciones': 256, 'w': 0.5879177189001084, 'c1': 2.551291388853713, 'c2': 0.9114899285227933, 'lb': -93.49214654178475, 'ub': 92.84946632403015}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:46,453] Trial 72 finished with value: 1.0903724068990883e-07 and parameters: {'num_particulas': 18, 'cant_iteraciones': 265, 'w': 0.5293911969328116, 'c1': 2.4778056294142865, 'c2': 0.9428970183265765, 'lb': -87.63838497221637, 'ub': 77.03508719820371}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:46,528] Trial 73 finished with value: 1.414860811556817e-07 and parameters: {'num_particulas': 21, 'cant_iteraciones': 248, 'w': 0.5866525066442716, 'c1': 2.657466184486676, 'c2': 0.852241451539734, 'lb': -96.87809432850625, 'ub': 73.34606936719821}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:46,613] Trial 74 finished with value: 2.0015089118445403e-07 and parameters: {'num_particulas': 33, 'cant_iteraciones': 292, 'w': 0.6586086692694789, 'c1': 2.384547779038386, 'c2': 0.7604585291548709, 'lb': -91.39565402559559, 'ub': 74.02424143983082}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:46,673] Trial 75 finished with value: 1.7133464789986866e-09 and parameters: {'num_particulas': 12, 'cant_iteraciones': 195, 'w': 0.6047923718289312, 'c1': 2.20883339656835, 'c2': 0.5807215506187531, 'lb': -84.30696268882838, 'ub': 89.7344720521968}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:46,766] Trial 76 finished with value: 9.457760014157501e-08 and parameters: {'num_particulas': 22, 'cant_iteraciones': 270, 'w': 0.7012952229641941, 'c1': 2.5878795466636353, 'c2': 1.0175675439357674, 'lb': -94.47296548184626, 'ub': 98.06988930510781}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:46,859] Trial 77 finished with value: 9.926615936581897e-09 and parameters: {'num_particulas': 39, 'cant_iteraciones': 286, 'w': 0.6732496637242851, 'c1': 2.3090447170363477, 'c2':

0.6872654895496523, 'lb': -89.72946430615045, 'ub': 81.47012269572812}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:46,929] Trial 78 finished with value: 3.732405147589706e-08 and parameters: {'num_particulas': 16, 'cant_iteraciones': 258, 'w': 0.6264117920983291, 'c1': 2.4649989117342153, 'c2': 0.8899873332329815, 'lb': -67.10482025906057, 'ub': 84.10206510373403}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:46,993] Trial 79 finished with value: 8.497360820314473e-09 and parameters: {'num_particulas': 27, 'cant_iteraciones': 295, 'w': 0.5665365320412074, 'c1': 2.065399443502948, 'c2': 1.0668609853781081, 'lb': -79.03070337333124, 'ub': 78.3653086368218}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:47,356] Trial 80 finished with value: 2.604841164461371e-06 and parameters: {'num_particulas': 72, 'cant_iteraciones': 275, 'w': 0.7585486456586124, 'c1': 2.888884606285049, 'c2': 1.236690961649248, 'lb': -87.15760045792813, 'ub': 88.38055525811122}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:47,510] Trial 81 finished with value: 2.6616476512972114e-09 and parameters: {'num_particulas': 83, 'cant_iteraciones': 288, 'w': 0.6408458560887125, 'c1': 2.3179470469274794, 'c2': 0.9323264547187974, 'lb': -89.08206006307456, 'ub': 90.09624793066658}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:47,669] Trial 82 finished with value: 2.9189786000185468e-09 and parameters: {'num_particulas': 87, 'cant_iteraciones': 284, 'w': 0.6533807666853106, 'c1': 2.36641023879396, 'c2': 0.8252865156551785, 'lb': -84.10517763481127, 'ub': 92.1422200868053}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:47,832] Trial 83 finished with value: 2.859530372181951e-09 and parameters: {'num_particulas': 77, 'cant_iteraciones': 170, 'w': 0.6999603688071547, 'c1': 2.2341742647012963, 'c2': 0.7389683930196856, 'lb': -97.32001709011476, 'ub': 97.45070752539125}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:48,014] Trial 84 finished with value: 1.1744630129833756e-09 and parameters: {'num_particulas': 68, 'cant_iteraciones': 221, 'w': 0.7406272630513997, 'c1': 2.5127697240040034, 'c2': 0.9026052852229735, 'lb': -93.92586951436516, 'ub': 94.19713734537338}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:48,172] Trial 85 finished with value: 1.5845356291853465e-10 and parameters: {'num_particulas': 74, 'cant_iteraciones': 294, 'w': 0.6586127596559088, 'c1': 2.430407947099808, 'c2': 0.9808401948898526, 'lb': -91.1777067788446, 'ub': 88.17615700351531}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:48,371] Trial 86 finished with value: 1.350937631186935e-07 and parameters: {'num_particulas': 73, 'cant_iteraciones': 299, 'w': 0.6776035226076436, 'c1': 2.719619568017591, 'c2': 1.169525414846218, 'lb': -97.96708436951785, 'ub': 86.27274261632736}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:48,492] Trial 87 finished with value:

2.0091733437101276e-07 and parameters: {'num_particulas': 68, 'cant_iteraciones': 266, 'w': 0.6075466446540696, 'c1': 2.4252286381554553, 'c2': 0.964321360562341, 'lb': -86.28058301627881, 'ub': 82.1171379121607}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:48,711] Trial 88 finished with value: 8.035268496820257e-09 and parameters: {'num_particulas': 92, 'cant_iteraciones': 274, 'w': 0.7165163986976067, 'c1': 2.56945704938013, 'c2': 0.7881433567307696, 'lb': -92.28322601917716, 'ub': 68.75737937779216}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:48,811] Trial 89 finished with value: 3.691687849044169e-09 and parameters: {'num_particulas': 57, 'cant_iteraciones': 294, 'w': 0.5388049654861873, 'c1': 2.176648963779389, 'c2': 0.6615662168399007, 'lb': -96.01043920963299, 'ub': 93.77523607035589}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:48,942] Trial 90 finished with value: 1.66719605992975e-08 and parameters: {'num_particulas': 62, 'cant_iteraciones': 283, 'w': 0.6298748931932816, 'c1': 2.4578663563632275, 'c2': 0.5635296503154317, 'lb': -91.2309609234084, 'ub': 99.95908164716681}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:49,076] Trial 91 finished with value: 4.622861666681727e-08 and parameters: {'num_particulas': 78, 'cant_iteraciones': 288, 'w': 0.6503797515596972, 'c1': 2.316726175043587, 'c2': 0.8576195202253263, 'lb': -88.15284116050745, 'ub': 90.18664995240792}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:49,243] Trial 92 finished with value: 1.192654636274055e-08 and parameters: {'num_particulas': 66, 'cant_iteraciones': 293, 'w': 0.6889310897159722, 'c1': 2.373423554613753, 'c2': 1.03554494818177, 'lb': -82.72835178125796, 'ub': 86.92978583296735}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:49,371] Trial 93 finished with value: 4.084733207193402e-08 and parameters: {'num_particulas': 70, 'cant_iteraciones': 277, 'w': 0.6578748127057323, 'c1': 2.2479352165968502, 'c2': 0.7126332090763939, 'lb': -94.89936536148329, 'ub': 84.70153613886136}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:49,425] Trial 94 finished with value: 7.578011462717524e-09 and parameters: {'num_particulas': 10, 'cant_iteraciones': 260, 'w': 0.5757312709367839, 'c1': 2.6356859961375507, 'c2': 0.8136870172278808, 'lb': -89.60488129739957, 'ub': 95.2554332529077}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:49,530] Trial 95 finished with value: 5.1120071894293644e-08 and parameters: {'num_particulas': 23, 'cant_iteraciones': 299, 'w': 0.731712966372857, 'c1': 2.503562770477869, 'c2': 0.9788011530240628, 'lb': -99.7174751463989, 'ub': 90.96122683400606}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:49,683] Trial 96 finished with value: 6.532848510573619e-09 and parameters: {'num_particulas': 76, 'cant_iteraciones': 269, 'w': 0.6173754794986174, 'c1': 2.420545618302051, 'c2': 0.8750142679365209, 'lb': -86.09343589074751, 'ub': 87.88323392709096}. Best is trial 32 with value:

2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:49,765] Trial 97 finished with value:
2.026022410673565e-08 and parameters: {'num_particulas': 20, 'cant_iteraciones':
282, 'w': 0.6829103238642578, 'c1': 2.144792650485895, 'c2': 1.0775046707039875,
'lb': -91.9764024953968, 'ub': 97.53588938072512}. Best is trial 32 with value:
2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:49,921] Trial 98 finished with value:
3.823718993716836e-09 and parameters: {'num_particulas': 86, 'cant_iteraciones':
288, 'w': 0.5978634015061136, 'c1': 2.3271093283583837, 'c2':
0.7464091584804238, 'lb': -80.73668441607653, 'ub': 80.50971015977045}. Best is
trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:50,065] Trial 99 finished with value:
3.2903595645722545e-08 and parameters: {'num_particulas': 83,
'cant_iteraciones': 251, 'w': 0.6422362113510194, 'c1': 2.536024442422629, 'c2':
0.6228332509356995, 'lb': -50.382819321490075, 'ub': 76.69898575938366}. Best is
trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:50,134] Trial 100 finished with value:
2.3094431318353076e-07 and parameters: {'num_particulas': 14,
'cant_iteraciones': 243, 'w': 0.7143557845633631, 'c1': 2.262212808113762, 'c2':
1.1419713291476192, 'lb': -95.44179477658021, 'ub': 93.38955986512164}. Best is
trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:50,322] Trial 101 finished with value:
4.940106688627679e-09 and parameters: {'num_particulas': 65, 'cant_iteraciones':
272, 'w': 0.6950220532244321, 'c1': 2.0932100935419315, 'c2':
1.9422425705216457, 'lb': -38.71100117132885, 'ub': 98.29619737278003}. Best is
trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:50,457] Trial 102 finished with value:
1.6641115051267034e-10 and parameters: {'num_particulas': 59,
'cant_iteraciones': 294, 'w': 0.6629422455834022, 'c1': 2.1930649904254804,
'c2': 0.9583067625987773, 'lb': -43.249480999408064, 'ub': 96.23197536239604}.
Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:50,623] Trial 103 finished with value:
1.866287644925005e-09 and parameters: {'num_particulas': 81, 'cant_iteraciones':
155, 'w': 0.6719372420425231, 'c1': 2.341466167025982, 'c2': 0.9516575662287496,
'lb': -42.939020538374294, 'ub': 96.26821776016402}. Best is trial 32 with
value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:50,733] Trial 104 finished with value:
3.6320677564070194e-08 and parameters: {'num_particulas': 54,
'cant_iteraciones': 294, 'w': 0.6586092527544356, 'c1': 2.181206182979272, 'c2':
0.7924311276944066, 'lb': -44.69562360123832, 'ub': 91.76254944888198}. Best is
trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:50,868] Trial 105 finished with value:
3.290605927373466e-08 and parameters: {'num_particulas': 59, 'cant_iteraciones':
279, 'w': 0.6342509795481649, 'c1': 2.395326309606936, 'c2': 0.8946259945722553,
'lb': -93.06535919754626, 'ub': 83.52529039801183}. Best is trial 32 with value:
2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:50,979] Trial 106 finished with value:
5.75675352333189e-09 and parameters: {'num_particulas': 63, 'cant_iteraciones':

300, 'w': 0.6183029716039401, 'c1': 2.2464730834350886, 'c2': 0.7191831717330599, 'lb': -97.87166060557674, 'ub': 89.85435052994143}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:51,170] Trial 107 finished with value: 1.0700938794492267e-07 and parameters: {'num_particulas': 73, 'cant_iteraciones': 289, 'w': 0.7482201380843152, 'c1': 2.4497438372155926, 'c2': 0.504464657996125, 'lb': -88.74442570027688, 'ub': 94.72417406019702}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:51,348] Trial 108 finished with value: 3.371516354998288e-08 and parameters: {'num_particulas': 70, 'cant_iteraciones': 283, 'w': 0.723992828282022, 'c1': 2.6073028983572355, 'c2': 0.8268255603604995, 'lb': -91.0809022453924, 'ub': 86.00731212560164}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:51,427] Trial 109 finished with value: 2.692706373003247e-09 and parameters: {'num_particulas': 19, 'cant_iteraciones': 295, 'w': 0.7061636416760642, 'c1': 2.2836817257457103, 'c2': 1.0054712289052707, 'lb': -52.4249974614319, 'ub': 88.83639686454778}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:51,510] Trial 110 finished with value: 3.0830185568042756e-08 and parameters: {'num_particulas': 16, 'cant_iteraciones': 277, 'w': 0.7757465309094635, 'c1': 2.2137082636974896, 'c2': 0.6825954950975517, 'lb': -85.53932564724381, 'ub': 93.04392517517499}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:51,652] Trial 111 finished with value: 1.9780936957709586e-09 and parameters: {'num_particulas': 57, 'cant_iteraciones': 265, 'w': 0.679565526184323, 'c1': 2.1618825776230626, 'c2': 1.1943501151043465, 'lb': -44.11646609455192, 'ub': 98.05949921291253}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:51,803] Trial 112 finished with value: 6.779042358931183e-10 and parameters: {'num_particulas': 64, 'cant_iteraciones': 291, 'w': 0.6891125523489197, 'c1': 2.102502646769855, 'c2': 1.0401333926930794, 'lb': -46.218326780792694, 'ub': 99.95806673279367}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:51,860] Trial 113 finished with value: 1.4222795091577536e-07 and parameters: {'num_particulas': 12, 'cant_iteraciones': 270, 'w': 0.6659883559562123, 'c1': 2.0542238299939735, 'c2': 0.933434137915883, 'lb': -48.29998869707436, 'ub': 96.31527220708877}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:51,981] Trial 114 finished with value: 1.750777096573519e-08 and parameters: {'num_particulas': 60, 'cant_iteraciones': 286, 'w': 0.6485012347611571, 'c1': 2.348190096841644, 'c2': 0.8425767470666519, 'lb': -40.58799774557944, 'ub': 94.60396131666273}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:52,085] Trial 115 finished with value: 2.315332835471417e-09 and parameters: {'num_particulas': 51, 'cant_iteraciones': 280, 'w': 0.5991506058710694, 'c1': 2.3977277770608336, 'c2': 0.7619796100351495, 'lb': -34.2159684051952, 'ub': 78.97449370004105}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:52,162] Trial 116 finished with value:
2.9666442801083177e-09 and parameters: {'num_particulas': 24,
'cant_iteraciones': 235, 'w': 0.5840667225318884, 'c1': 2.4852264265260664,
'c2': 1.0839219866589545, 'lb': -72.45577429350297, 'ub': 89.30275910055234}.
Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:52,309] Trial 117 finished with value:
1.1612259851005889e-07 and parameters: {'num_particulas': 67,
'cant_iteraciones': 254, 'w': 0.7424217199367108, 'c1': 1.985625899512446, 'c2':
0.8781919091097404, 'lb': -94.88674469792575, 'ub': 91.28392651061384}. Best is
trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:52,469] Trial 118 finished with value:
1.091318362693232e-06 and parameters: {'num_particulas': 90, 'cant_iteraciones':
261, 'w': 0.7097756992828121, 'c1': 2.2743411499808794, 'c2':
0.6533127454073111, 'lb': -59.37647728830366, 'ub': 86.70030399044974}. Best is
trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:52,621] Trial 119 finished with value:
2.5956224033141586e-08 and parameters: {'num_particulas': 75,
'cant_iteraciones': 95, 'w': 0.6308193670322858, 'c1': 2.5492711971506306, 'c2':
0.9737963102404951, 'lb': -98.0972486173192, 'ub': 92.85879068578828}. Best is
trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:52,828] Trial 120 finished with value:
2.6226272631380592e-09 and parameters: {'num_particulas': 100,
'cant_iteraciones': 294, 'w': 0.6660003549498744, 'c1': 1.934450193511295, 'c2':
1.2838458091926648, 'lb': -83.68910794407125, 'ub': 75.14823281968623}. Best is
trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:53,021] Trial 121 finished with value:
6.368562011347702e-09 and parameters: {'num_particulas': 82, 'cant_iteraciones':
214, 'w': 0.7363038692374467, 'c1': 2.6695464466319847, 'c2': 0.604415594064242,
'lb': -91.469013262795, 'ub': 53.025885512326944}. Best is trial 32 with value:
2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:53,203] Trial 122 finished with value:
4.3155697419100526e-07 and parameters: {'num_particulas': 79,
'cant_iteraciones': 238, 'w': 0.7276235990528863, 'c1': 2.732498769297899, 'c2':
0.5720729254102681, 'lb': -87.52186875249316, 'ub': 39.6063250472206}. Best is
trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:53,379] Trial 123 finished with value:
4.1511928999913414e-11 and parameters: {'num_particulas': 78,
'cant_iteraciones': 275, 'w': 0.6900741639881594, 'c1': 2.12707583495598, 'c2':
0.7718506766033898, 'lb': -93.67757229432881, 'ub': 82.8390656124667}. Best is
trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:53,526] Trial 124 finished with value:
8.52912379709563e-08 and parameters: {'num_particulas': 72, 'cant_iteraciones':
274, 'w': 0.6910250463171866, 'c1': 2.1279355827285875, 'c2':
0.7903365185002413, 'lb': -93.69172155744516, 'ub': 81.85469440451854}. Best is
trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:53,689] Trial 125 finished with value:
5.682256036220186e-09 and parameters: {'num_particulas': 94, 'cant_iteraciones':
285, 'w': 0.6454240016894504, 'c1': 2.192123679023001, 'c2': 0.9143812853841069,

'lb': -89.583032107145, 'ub': 84.72362628864991}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:53,812] Trial 126 finished with value: 7.805871980242112e-09 and parameters: {'num_particulas': 69, 'cant_iteraciones': 268, 'w': 0.6168055878801442, 'c1': 2.3212860122976355, 'c2': 0.7353009120810489, 'lb': -99.776194238766, 'ub': 96.74828778239983}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:54,006] Trial 127 finished with value: 9.639562884188997e-08 and parameters: {'num_particulas': 77, 'cant_iteraciones': 300, 'w': 0.7042551675627137, 'c1': 2.0376011244737158, 'c2': 1.6281159574048214, 'lb': -96.01281176259059, 'ub': 71.4819123182931}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:54,098] Trial 128 finished with value: 1.1264746901798761e-08 and parameters: {'num_particulas': 14, 'cant_iteraciones': 289, 'w': 0.7673794318864102, 'c1': 2.442995682923745, 'c2': 1.1236667848902266, 'lb': -37.9846757746015, 'ub': 88.10752257126077}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:54,254] Trial 129 finished with value: 4.9386295703268514e-08 and parameters: {'num_particulas': 75, 'cant_iteraciones': 274, 'w': 0.6690799570392685, 'c1': 2.2288373752828683, 'c2': 1.3865771686942716, 'lb': -48.943360994570845, 'ub': 83.2790070979031}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:54,380] Trial 130 finished with value: 2.434340073311407e-06 and parameters: {'num_particulas': 71, 'cant_iteraciones': 281, 'w': 0.6559491161973187, 'c1': 2.3671250131693045, 'c2': 0.8426316753906353, 'lb': -55.64136841962259, 'ub': 91.69608749628365}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:54,639] Trial 131 finished with value: 1.8045353398368367e-10 and parameters: {'num_particulas': 80, 'cant_iteraciones': 260, 'w': 0.7244958482236616, 'c1': 2.7781274945893952, 'c2': 0.680836526167031, 'lb': -90.98262021875712, 'ub': 62.932942650776965}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:54,859] Trial 132 finished with value: 1.8108563954393467e-09 and parameters: {'num_particulas': 80, 'cant_iteraciones': 247, 'w': 0.7885071051138519, 'c1': 2.2883155226667604, 'c2': 0.6774462009835448, 'lb': -90.43717254489214, 'ub': 68.96365775128842}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:55,112] Trial 133 finished with value: 6.847856257663632e-09 and parameters: {'num_particulas': 78, 'cant_iteraciones': 258, 'w': 0.7553095325919486, 'c1': 2.5045181786861295, 'c2': 0.789353106542526, 'lb': -93.37728546246716, 'ub': 72.42374573080231}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:55,282] Trial 134 finished with value: 2.9927237166724036e-08 and parameters: {'num_particulas': 85, 'cant_iteraciones': 263, 'w': 0.7200660592537618, 'c1': 2.0983492527470013, 'c2': 0.8713865275064683, 'lb': -87.10551870260743, 'ub': 63.98364892139466}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:55,450] Trial 135 finished with value:

5.062981677061741e-10 and parameters: {'num_particulas': 74, 'cant_iteraciones': 295, 'w': 0.6953888450251579, 'c1': 2.778430308517753, 'c2': 0.7246898373544628, 'lb': -97.38237510793337, 'ub': 79.06980078858984}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:55,629] Trial 136 finished with value:

3.8353302924523115e-07 and parameters: {'num_particulas': 75, 'cant_iteraciones': 296, 'w': 0.6890559420756835, 'c1': 2.8177722443594795, 'c2': 0.7198190427572841, 'lb': -96.05787138184242, 'ub': 78.03372719110322}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:55,804] Trial 137 finished with value:

2.201573808015762e-08 and parameters: {'num_particulas': 73, 'cant_iteraciones': 291, 'w': 0.6758087786375374, 'c1': 2.7693853700983317, 'c2': 0.6400429516256758, 'lb': -98.34391255379705, 'ub': 74.68833146297955}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:56,004] Trial 138 finished with value:

3.0180096346290957e-09 and parameters: {'num_particulas': 81, 'cant_iteraciones': 285, 'w': 0.698564705528855, 'c1': 2.6780801000821595, 'c2': 0.7719927778353822, 'lb': -92.94936534028464, 'ub': 80.10951655637908}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:56,179] Trial 139 finished with value:

5.635932725300652e-11 and parameters: {'num_particulas': 88, 'cant_iteraciones': 300, 'w': 0.6351732518218638, 'c1': 2.590824734939188, 'c2': 0.5349701437544635, 'lb': -94.8186174640925, 'ub': 73.32400924533735}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:56,314] Trial 140 finished with value:

4.308926571908682e-09 and parameters: {'num_particulas': 85, 'cant_iteraciones': 300, 'w': 0.564774637414502, 'c1': 2.583806822710094, 'c2': 0.5503966105489879, 'lb': -97.20262308585991, 'ub': 77.10861583355171}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:56,472] Trial 141 finished with value:

2.5323060737606098e-08 and parameters: {'num_particulas': 92, 'cant_iteraciones': 292, 'w': 0.6351483055181696, 'c1': 2.6173733690067564, 'c2': 0.611100202844101, 'lb': -95.11973950409623, 'ub': 73.529424949104}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:56,634] Trial 142 finished with value:

4.042252484667679e-09 and parameters: {'num_particulas': 88, 'cant_iteraciones': 296, 'w': 0.6052467273303507, 'c1': 2.6977278699458007, 'c2': 0.5094483490060193, 'lb': -90.11990654097781, 'ub': 69.5609828910464}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:56,790] Trial 143 finished with value:

1.2288851003597756e-08 and parameters: {'num_particulas': 77, 'cant_iteraciones': 279, 'w': 0.6217267765453, 'c1': 2.77763532292589, 'c2': 0.5751517852527324, 'lb': -92.08314730821142, 'ub': 67.17333785066636}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:56,864] Trial 144 finished with value:

1.7174013877732216e-06 and parameters: {'num_particulas': 10, 'cant_iteraciones': 288, 'w': 0.6544657728609323, 'c1': 2.907421350988634, 'c2': 0.7241531370021707, 'lb': -94.7131693302781, 'ub': 71.25866762009052}. Best is

trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:57,124] Trial 145 finished with value: 2.588519201643503e-09 and parameters: {'num_particulas': 83, 'cant_iteraciones': 296, 'w': 0.6445156707808333, 'c1': 2.4133056071731134, 'c2': 0.6652004200483688, 'lb': -86.14500399050657, 'ub': 76.06894128397524}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:57,406] Trial 146 finished with value: 7.547848803712515e-09 and parameters: {'num_particulas': 80, 'cant_iteraciones': 285, 'w': 0.7199497172195528, 'c1': 2.514076021417684, 'c2': 0.8267939500964026, 'lb': -88.30663029187889, 'ub': 81.38299450061028}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:57,613] Trial 147 finished with value: 7.051443054328353e-09 and parameters: {'num_particulas': 87, 'cant_iteraciones': 290, 'w': 0.6775252682472097, 'c1': 2.6341564091276743, 'c2': 0.9322670331447569, 'lb': -97.36406300909442, 'ub': 65.67603520212157}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:57,719] Trial 148 finished with value: 1.5604256399364715e-09 and parameters: {'num_particulas': 30, 'cant_iteraciones': 275, 'w': 0.7019181092908765, 'c1': 2.4563279709022083, 'c2': 0.9766009036588825, 'lb': -99.7286809149635, 'ub': 85.5782138450758}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:57,787] Trial 149 finished with value: 2.9554410265002136e-07 and parameters: {'num_particulas': 26, 'cant_iteraciones': 281, 'w': 0.5814084557410197, 'c1': 2.56794800931524, 'c2': 0.6873928608548336, 'lb': -83.95517681447438, 'ub': 78.24552582370075}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:57,994] Trial 150 finished with value: 1.576523128362859e-08 and parameters: {'num_particulas': 74, 'cant_iteraciones': 300, 'w': 0.7519587041466412, 'c1': 2.3519962835390786, 'c2': 0.8898080577672424, 'lb': -81.84356979593622, 'ub': 73.5494917347067}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:58,134] Trial 151 finished with value: 1.1176333853250364e-07 and parameters: {'num_particulas': 66, 'cant_iteraciones': 253, 'w': 0.6814095871309285, 'c1': 2.195424479359294, 'c2': 1.7901322680321954, 'lb': -40.847652325303436, 'ub': 94.19526716035237}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:58,242] Trial 152 finished with value: 2.0090274014170528e-08 and parameters: {'num_particulas': 37, 'cant_iteraciones': 268, 'w': 0.6621945951050169, 'c1': 2.2516318499380867, 'c2': 1.4545911710378698, 'lb': -43.10318762774741, 'ub': 89.26836718120128}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:58,413] Trial 153 finished with value: 3.8430983810566326e-09 and parameters: {'num_particulas': 61, 'cant_iteraciones': 272, 'w': 0.7338564251837733, 'c1': 2.3050871297603575, 'c2': 0.8011147038437839, 'lb': -92.36817374189411, 'ub': 98.20402533725684}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:58,569] Trial 154 finished with value: 2.4150945774726252e-08 and parameters: {'num_particulas': 64,

'cant_iteraciones': 293, 'w': 0.711689471599004, 'c1': 2.1474450640072313, 'c2': 1.0443342978338988, 'lb': -89.52678325911246, 'ub': 61.69047866825188}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:58,635] Trial 155 finished with value: 0.01323792632410039 and parameters: {'num_particulas': 17, 'cant_iteraciones': 279, 'w': 0.6912035154232744, 'c1': 2.3980959216246087, 'c2': 2.144088587077934, 'lb': -45.9110094602511, 'ub': 95.64467996332556}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:58,740] Trial 156 finished with value: 6.055616999276066e-07 and parameters: {'num_particulas': 55, 'cant_iteraciones': 285, 'w': 0.633444067005703, 'c1': 2.5416563769211873, 'c2': 0.7588309234972408, 'lb': -94.05326315960939, 'ub': 79.76744691968668}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:58,937] Trial 157 finished with value: 7.05285940826974e-11 and parameters: {'num_particulas': 89, 'cant_iteraciones': 263, 'w': 0.6090805348148315, 'c1': 2.855858489276248, 'c2': 0.8490764813839922, 'lb': -66.09936849577379, 'ub': 83.30291270514579}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:59,082] Trial 158 finished with value: 5.756269572421644e-09 and parameters: {'num_particulas': 96, 'cant_iteraciones': 290, 'w': 0.5900681429164042, 'c1': 2.8282324039766866, 'c2': 0.8403662351579437, 'lb': -76.80485391701734, 'ub': 83.26634081580956}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:59,235] Trial 159 finished with value: 5.829455551471931e-09 and parameters: {'num_particulas': 84, 'cant_iteraciones': 266, 'w': 0.6193251123461598, 'c1': 2.9962758018286353, 'c2': 0.6213114607463774, 'lb': -96.5707067748921, 'ub': 86.01359941294926}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:59,385] Trial 160 finished with value: 2.3557697647847648e-07 and parameters: {'num_particulas': 88, 'cant_iteraciones': 256, 'w': 0.6421415173374337, 'c1': 2.732261035134384, 'c2': 0.9115775280012614, 'lb': -64.81309876889662, 'ub': 75.58841535262513}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:59,519] Trial 161 finished with value: 1.7255538688149572e-09 and parameters: {'num_particulas': 44, 'cant_iteraciones': 261, 'w': 0.6030050084625058, 'c1': 2.856589832036873, 'c2': 0.9709918150450574, 'lb': -60.9597019261423, 'ub': 88.28013618238748}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:59,707] Trial 162 finished with value: 1.5067440201099048e-09 and parameters: {'num_particulas': 90, 'cant_iteraciones': 228, 'w': 0.6614334016110186, 'c1': 2.9321715106778496, 'c2': 0.8689577916251376, 'lb': -50.66418343236275, 'ub': 91.00609567618928}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:36:59,875] Trial 163 finished with value: 6.212575539272544e-09 and parameters: {'num_particulas': 71, 'cant_iteraciones': 183, 'w': 0.6758141197512061, 'c1': 2.6922931421405982, 'c2': 0.7256077801522747, 'lb': -72.77334704980677, 'ub': 82.52311641634958}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:00,097] Trial 164 finished with value: 1.8708689950961768e-07 and parameters: {'num_particulas': 93, 'cant_iteraciones': 276, 'w': 0.7148172311348523, 'c1': 2.792730727561552, 'c2': 0.8051936623336234, 'lb': -44.72082814506428, 'ub': 70.1722070329549}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:00,164] Trial 165 finished with value: 1.1126603270152575e-07 and parameters: {'num_particulas': 20, 'cant_iteraciones': 295, 'w': 0.6186818977482338, 'c1': 2.8537965512363277, 'c2': 0.5593171918644277, 'lb': -55.97530580593073, 'ub': 87.34746578443878}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:00,381] Trial 166 finished with value: 3.757531644648327e-09 and parameters: {'num_particulas': 77, 'cant_iteraciones': 271, 'w': 0.7364866108421403, 'c1': 2.3442748758882663, 'c2': 0.9531180588840017, 'lb': -67.23794019925136, 'ub': 83.78868605845662}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:00,527] Trial 167 finished with value: 1.0086590001515678e-09 and parameters: {'num_particulas': 69, 'cant_iteraciones': 284, 'w': 0.6519895172176104, 'c1': 2.2436183119890134, 'c2': 1.0073953398402495, 'lb': -47.37128053823943, 'ub': 79.60114512064835}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:00,726] Trial 168 finished with value: 1.958144308761077e-09 and parameters: {'num_particulas': 79, 'cant_iteraciones': 261, 'w': 0.6915899004474957, 'c1': 2.948774769801556, 'c2': 0.7622092551756195, 'lb': -80.09808409849859, 'ub': 54.90183885774151}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:00,827] Trial 169 finished with value: 7.802100928149833e-07 and parameters: {'num_particulas': 58, 'cant_iteraciones': 300, 'w': 0.568327258331683, 'c1': 2.8890037920676583, 'c2': 0.6755890381905729, 'lb': -91.6073549116531, 'ub': 93.22447687291209}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:00,897] Trial 170 finished with value: 1.949412290379961e-09 and parameters: {'num_particulas': 12, 'cant_iteraciones': 290, 'w': 0.7722782924747164, 'c1': 1.8557577429016052, 'c2': 0.8955003547257278, 'lb': -51.978627064445305, 'ub': 98.248443812567}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:01,054] Trial 171 finished with value: 9.508866452653783e-07 and parameters: {'num_particulas': 82, 'cant_iteraciones': 249, 'w': 0.7427723561560522, 'c1': 2.6271975320632572, 'c2': 0.6104188956332215, 'lb': -90.16128756828743, 'ub': 45.82891598509784}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:01,221] Trial 172 finished with value: 5.952831568611556e-09 and parameters: {'num_particulas': 74, 'cant_iteraciones': 265, 'w': 0.7302829254814158, 'c1': 2.45753788799211, 'c2': 0.6644120905621794, 'lb': -94.19893499073481, 'ub': 58.45894018284897}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:01,399] Trial 173 finished with value: 2.097556707737028e-08 and parameters: {'num_particulas': 79, 'cant_iteraciones': 257, 'w': 0.7099442408961469, 'c1': 2.783690001859923, 'c2': 0.5011870141076229,

'lb': -88.66590971778145, 'ub': 43.02560437485677}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:01,617] Trial 174 finished with value: 1.3942890298102735e-09 and parameters: {'num_particulas': 90, 'cant_iteraciones': 294, 'w': 0.665153664507113, 'c1': 2.7561302812627737, 'c2': 0.8401127862513185, 'lb': -86.59053772155305, 'ub': 49.027614998364506}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:01,738] Trial 175 finished with value: 3.59615253087566e-09 and parameters: {'num_particulas': 81, 'cant_iteraciones': 244, 'w': 0.5473586185821054, 'c1': 2.068936527426741, 'c2': 0.7155436201958255, 'lb': -39.419181769975424, 'ub': 67.92297753372236}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:01,810] Trial 176 finished with value: 2.0524271839327597e-08 and parameters: {'num_particulas': 22, 'cant_iteraciones': 282, 'w': 0.6357509295662622, 'c1': 2.681192000554238, 'c2': 0.7874399629756974, 'lb': -91.41780725362618, 'ub': 72.5085001645199}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:01,984] Trial 177 finished with value: 8.189260654690922e-09 and parameters: {'num_particulas': 72, 'cant_iteraciones': 276, 'w': 0.6942326732286279, 'c1': 2.7306334364537275, 'c2': 1.2004864132030724, 'lb': -41.89606870906137, 'ub': 36.40949021401295}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:02,216] Trial 178 finished with value: 6.82539665807321e-08 and parameters: {'num_particulas': 62, 'cant_iteraciones': 288, 'w': 0.7587150062902548, 'c1': 2.1847247887331007, 'c2': 1.6931646856640243, 'lb': -35.37900288120922, 'ub': 95.395556012729}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:02,429] Trial 179 finished with value: 4.7593952982226414e-08 and parameters: {'num_particulas': 76, 'cant_iteraciones': 198, 'w': 0.7213462176194864, 'c1': 2.4897729769823975, 'c2': 0.6401718015254908, 'lb': -97.30289034844571, 'ub': 90.46645224007897}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:02,582] Trial 180 finished with value: 4.093745364350131e-08 and parameters: {'num_particulas': 86, 'cant_iteraciones': 267, 'w': 0.67344102408579, 'c1': 2.302552246698051, 'c2': 0.5849341938865616, 'lb': -85.23517761150919, 'ub': 84.87293137471806}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:02,654] Trial 181 finished with value: 4.790177857646605e-08 and parameters: {'num_particulas': 15, 'cant_iteraciones': 295, 'w': 0.6899604005156461, 'c1': 2.095173132774992, 'c2': 0.9050410608748687, 'lb': -43.7535373291121, 'ub': 98.7548761017545}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:02,787] Trial 182 finished with value: 9.449774728828541e-09 and parameters: {'num_particulas': 65, 'cant_iteraciones': 290, 'w': 0.6490123078850303, 'c1': 2.1551563106464227, 'c2': 1.0338263470618072, 'lb': -48.28068085650023, 'ub': 99.19214144658493}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:02,941] Trial 183 finished with value:

1.582606054582988e-09 and parameters: {'num_particulas': 62, 'cant_iteraciones': 300, 'w': 0.7057169871533082, 'c1': 2.116465582855487, 'c2': 1.0632879109943096, 'lb': -46.78287517111799, 'ub': 99.95741114378953}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:03,073] Trial 184 finished with value:

1.24706318590892e-09 and parameters: {'num_particulas': 68, 'cant_iteraciones': 286, 'w': 0.6806725452429015, 'c1': 2.01503196013558, 'c2': 0.8542082750233349, 'lb': -93.3819963863226, 'ub': 95.88534510360864}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:03,178] Trial 185 finished with value:

4.0807804456494247e-10 and parameters: {'num_particulas': 59, 'cant_iteraciones': 280, 'w': 0.6050167717199034, 'c1': 2.3830790804445643, 'c2': 1.3064589067360663, 'lb': -74.55014199981022, 'ub': 48.17835836319845}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:03,299] Trial 186 finished with value:

1.105575363497909e-08 and parameters: {'num_particulas': 59, 'cant_iteraciones': 271, 'w': 0.6011966278838501, 'c1': 2.3860017466491366, 'c2': 1.4868139712280355, 'lb': -71.2958927100442, 'ub': 48.23705094704928}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:03,412] Trial 187 finished with value:

1.4260450539300204e-07 and parameters: {'num_particulas': 56, 'cant_iteraciones': 279, 'w': 0.6251132239454987, 'c1': 2.4309153839608197, 'c2': 1.317063134243989, 'lb': -75.02514390778296, 'ub': 52.37418220199537}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:03,547] Trial 188 finished with value:

4.0308755693474636e-10 and parameters: {'num_particulas': 76, 'cant_iteraciones': 251, 'w': 0.5826879980681636, 'c1': 2.2656516357421665, 'c2': 1.3342010678778773, 'lb': -77.24702945866856, 'ub': 43.88241696459329}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:03,673] Trial 189 finished with value:

4.556475973965018e-08 and parameters: {'num_particulas': 74, 'cant_iteraciones': 136, 'w': 0.579941205049305, 'c1': 2.365775297271432, 'c2': 1.3222513515683703, 'lb': -78.5347098903497, 'ub': 81.49937216095978}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:03,805] Trial 190 finished with value:

3.014529102197494e-08 and parameters: {'num_particulas': 76, 'cant_iteraciones': 264, 'w': 0.5921481375723128, 'c1': 2.2612214967073276, 'c2': 1.2603828605130922, 'lb': -69.8505272767465, 'ub': 47.54469263256585}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:03,959] Trial 191 finished with value:

2.518198385842074e-09 and parameters: {'num_particulas': 79, 'cant_iteraciones': 253, 'w': 0.6068587041328858, 'c1': 2.2238770407655384, 'c2': 1.4317643539084173, 'lb': -75.76922614681186, 'ub': 42.53170269189441}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:04,152] Trial 192 finished with value:

3.835784395489501e-10 and parameters: {'num_particulas': 84, 'cant_iteraciones': 260, 'w': 0.6166873568495417, 'c1': 2.3222618851286523, 'c2': 1.54148885173168, 'lb': -75.22098409465028, 'ub': 47.1096809101995}. Best is trial 32 with value:

2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:04,290] Trial 193 finished with value: 1.266518474810467e-07 and parameters: {'num_particulas': 85, 'cant_iteraciones': 65, 'w': 0.6153065718872093, 'c1': 2.355186810941955, 'c2': 1.4788060814507307, 'lb': -70.83203025541924, 'ub': 46.54742348403246}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:04,428] Trial 194 finished with value: 1.7569960591077245e-09 and parameters: {'num_particulas': 82, 'cant_iteraciones': 259, 'w': 0.551829455036682, 'c1': 2.3003946791798, 'c2': 1.3414657758315653, 'lb': -80.92479040627575, 'ub': 44.39038357320513}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:04,601] Trial 195 finished with value: 2.2105724804404015e-10 and parameters: {'num_particulas': 53, 'cant_iteraciones': 272, 'w': 0.6337971316078801, 'c1': 2.4095360435050193, 'c2': 1.5415183968319635, 'lb': -74.05807134789194, 'ub': 49.801665116092025}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:04,729] Trial 196 finished with value: 1.4455784924471963e-08 and parameters: {'num_particulas': 50, 'cant_iteraciones': 251, 'w': 0.6302239994822336, 'c1': 2.4084086878911424, 'c2': 1.598697955358593, 'lb': -67.49942859025079, 'ub': 50.79027391553876}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:04,873] Trial 197 finished with value: 4.149287228649225e-07 and parameters: {'num_particulas': 87, 'cant_iteraciones': 272, 'w': 0.5752123318986297, 'c1': 2.316429152950593, 'c2': 1.5448884823455327, 'lb': -77.17038936254346, 'ub': 46.83774218739045}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:04,971] Trial 198 finished with value: 1.9220107010250906e-08 and parameters: {'num_particulas': 10, 'cant_iteraciones': 257, 'w': 0.6026532865456484, 'c1': 2.4810572556277344, 'c2': 1.3930554305845413, 'lb': -75.54823971108804, 'ub': 44.539032031828725}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

[I 2024-08-10 11:37:05,215] Trial 199 finished with value: 8.505740110449647e-09 and parameters: {'num_particulas': 77, 'cant_iteraciones': 295, 'w': 0.6425095719792578, 'c1': 2.5649862970116706, 'c2': 1.2526818817308052, 'lb': -73.8276333775595, 'ub': 74.90646260703774}. Best is trial 32 with value: 2.2946891086899965e-12.

Mejor valor objetivo: 2.2946891086899965e-12

Mejores hiperparámetros: {'num_particulas': 73, 'cant_iteraciones': 259, 'w': 0.7341422454712551, 'c1': 2.1893688520984975, 'c2': 0.8316278450545331, 'lb': -47.45909408335797, 'ub': 98.8649226849993}

```
[298]: # Mejores hiperparámetros
study.best_params
```

```
[298]: {'num_particulas': 73,
      'cant_iteraciones': 259,
      'w': 0.7341422454712551,
```

```
'c1': 2.1893688520984975,
'c2': 0.8316278450545331,
'lb': -47.45909408335797,
'ub': 98.8649226849993}
```

```
[299]: # Con los mejores hiperparámetros hallados, resuelvo con PSO
best_position, best_value = pso(
    funcion_objetivo,
    lb=[study.best_params['lb']]*2,
    ub=[study.best_params['ub']]*2,
    swarmsize=study.best_params['num_particulas'],
    maxiter=study.best_params['cant_iteraciones'],
    omega=study.best_params['w'],
    phip=study.best_params['c1'],
    phig=study.best_params['c2'],
    debug=False)
```

Stopping search: Swarm best objective change less than 1e-08

```
[300]: # Verifico las igualdades de mis dos ecuaciones
x_1 = best_position[0]
x_2 = best_position[1]

print(np.round(3*x_1+2*x_2, 3) == 9)
print(np.round(x_1-5*x_2, 3) == 4)
```

True
True

El algoritmo PSO puede resolver un sistema de n ecuaciones no lineales con n incógnitas. Esto se logra formulando el problema como una minimización de la suma de los errores cuadráticos para cada una de las ecuaciones. La función objetivo suma los cuadrados de las diferencias de cada ecuación con respecto a cero. Al minimizar esta función, se busca encontrar un conjunto de valores para x_1, x_2, \dots, x_n que hagan que todas las ecuaciones se acerquen a cero simultáneamente.

Los resultados obtenidos mediante PSO están fuertemente influenciados por los valores de los hiperparámetros seleccionados, como el número de partículas, el número de iteraciones, el factor de inercia w , el coeficiente $c1$ y el coeficiente $c2$.

- Número de partículas: Un número mayor de partículas puede explorar un espacio de soluciones más amplio, lo que potencialmente puede llevar a una mejor solución. Sin embargo, un número excesivo de partículas aumenta el costo computacional.
- Número de iteraciones: Un mayor número de iteraciones permite que las partículas tengan más tiempo para converger hacia la solución óptima, pero más iteraciones también incrementan el tiempo de cómputo.
- Factor de inercia w : Controla la tendencia de las partículas a mantener su velocidad. Un valor alto de w fomenta la exploración global, mientras que un valor bajo favorece la explotación local.
- Coeficiente $c1$: Representa la confianza en la experiencia propia de la partícula. Un valor alto de $c1$ hace que las partículas se dirijan hacia sus mejores posiciones encontradas, aumentando

la explotación.

- Coeficiente c_2 : Representa la confianza en la experiencia del enjambre. Un valor alto de hace que las partículas tiendan a moverse hacia las mejores posiciones encontradas por el enjambre, promoviendo la explotación.

```
[ ]: # CÓDIGO PARA EXPORTAR NOTEBOOK
from nbconvert import PDFExporter
import nbformat

# NOMBRE DEL NOTEBOOK
notebook_filename = "C:/Users/Leandro/Desktop/IoT/5_Bimestre/Algoritmos_
↳genéticos/TP2/TP2.ipynb"

# LEO EL NOTEBOOK
with open(notebook_filename, 'r', encoding='utf-8') as nb_file:
    notebook = nbformat.read(nb_file, as_version=4)

# CONFIGURO EL EXPORTADOR PDF
pdf_exporter = PDFExporter()

# CONVIERTO A PDF
pdf_data, _ = pdf_exporter.from_notebook_node(notebook)

# GUARDO EL PDF
pdf_filename = "C:/Users/Leandro/Desktop/IoT/5_Bimestre/Algoritmos genéticos/
↳TP2/TP2.pdf"
with open(pdf_filename, 'wb') as pdf_file:
    pdf_file.write(pdf_data)
```