

```
import random

# Función objetivo a minimizar
def f(x, y):
    return (1.5 - x + x*y)**2 + (2.25 - x + x*y**2)**2 + (2.625 - x + x*y**3)**2

# Parámetros del algoritmo genético
pop_size = 100 # Tamaño de la población
num_generations = 100 # Número de generaciones
mutation_rate = 0.1 # Tasa de mutación
elitism_count = 10 # Número de mejores individuos a mantener en cada generación

# Rango de valores permitidos para x e y
x_min, x_max = -4.5, 4.5
y_min, y_max = -4.5, 4.5

# Inicializar la población cerca del valor óptimo
population = [(random.uniform(x_min, x_max), random.uniform(y_min, y_max)) for _ in range(pop_size)]

# Función para evaluar la aptitud de un individuo
def evaluate(individual):
    x, y = individual
    return f(x, y)

# Ejecutar el algoritmo genético
for generation in range(num_generations):
    # Evaluar la aptitud de la población actual
    fitness_scores = [evaluate(individual) for individual in population]

    # Seleccionar a los mejores individuos (elitismo)
    sorted_population = [x for _, x in sorted(zip(fitness_scores, population))]
    elite = sorted_population[:elitism_count]

    # Generar nueva población mediante cruzamiento y mutación
    new_population = elite[:]
    while len(new_population) < pop_size:
        # Seleccionar dos padres de manera aleatoria entre la élite
        parent1, parent2 = random.sample(elite, 2)

        # Realizar cruzamiento aleatorio
        child = (parent1[0] if random.random() < 0.5 else parent2[0]) for i in range(2)]

        # Aplicar mutación
        if random.random() < mutation_rate:
            mutation_index = random.randint(0, 1)
            mutation_value = random.uniform(-0.5, 0.5)
            child[mutation_index] += mutation_value

        # Asegurarse de que el hijo esté dentro del rango permitido
        child[mutation_index] = max(min(child[mutation_index], x_max), x_min)

    new_population.append(tuple(child))

    # Actualizar la población
    population = new_population

    # Obtener la mejor solución encontrada en esta época
    best_individual = elite[0]
    best_fitness = evaluate(best_individual)

    # Imprimir la mejor solución de esta época
    print(f"Época (generation + 1):")
    print(f"x = {best_individual[0]}")
    print(f"y = {best_individual[1]}")
    print(f"Valor de la función: {best_fitness}")

# Obtener la mejor solución encontrada al final del algoritmo
best_individual = elite[0]
best_fitness = evaluate(best_individual)

print(f"Mejor solución encontrada al final:")
print(f"x = {best_individual[0]}")
print(f"y = {best_individual[1]}")
print(f"Valor de la función: {best_fitness}")

Época 1:
x = 2.125186672065902
y = 0.1585580639251179
Valor de la función: 0.37326515423738554

Época 2:
x = 2.125186672065902
y = 0.1585580639251179
Valor de la función: 0.37326515423738554

Época 3:
x = 2.5107568118118513
y = 0.2895798079892786
Valor de la función: 0.113711449431029637

Época 4:
x = 2.5107568118118513
y = 0.37618999532469843
Valor de la función: 0.07478901312981208

Época 5:
x = 2.5107568118118513
y = 0.37618999532469843
Valor de la función: 0.07478901312981208

Época 6:
x = 2.5228692960196732
y = 0.37618999532469843
Valor de la función: 0.06843417263804476

Época 7:
x = 2.565463286846065
y = 0.37618999532469843
Valor de la función: 0.050799700121908375

Época 8:
x = 2.670243809456437
y = 0.37618999532469843
Valor de la función: 0.03954822847689977

Época 9:
x = 2.6565631754116135
y = 0.37618999532469843
Valor de la función: 0.0377165806766913

Época 10:
x = 2.6565631754116135
y = 0.37618999532469843
Valor de la función: 0.0377165806766913

Época 11:
x = 2.6565631754116135
y = 0.37618999532469843
Valor de la función: 0.0377165806766913

Época 12:
x = 2.6565631754116135
y = 0.37618999532469843
Valor de la función: 0.0377165806766913

Época 13:
x = 2.6565631754116135
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.028350483722238688

Época 14:
x = 2.6565631754116135
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.028350483722238688

Época 15:
x = 2.6565631754116135
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.028350483722238688

Época 16:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 17:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 18:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 19:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 20:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 21:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 22:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 23:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 24:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 25:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 26:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 27:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 28:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 29:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 30:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 31:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 32:
x = 2.6922898732314366
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024553070646047635

Época 33:
x = 2.70087276924125
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024379407632228927

Época 34:
x = 2.70087276924125
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024379407632228927

Época 35:
x = 2.70087276924125
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024379407632228927

Época 36:
x = 2.70087276924125
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024379407632228927

Época 37:
x = 2.70087276924125
y = 0.39979956278607387
Valor de la función: 0.024379407632228927

Época 38:
x = 2.70087276924125
y = 0.3999273628818557
Valor de la función: 0.02431758144104451

Época 39:
x = 2.70087276924125
y = 0.3999273628818557
Valor de la función: 0.02431758144104451

Época 40:
x = 2.70087276924125
y = 0.3999273628818557
Valor de la función: 0.02431758144104451

Época 41:
x = 2.70087276924125
y = 0.3999273628818557
Valor de la función: 0.02431758144104451

Época 42:
x = 2.70087276924125
y = 0.3999273628818557
Valor de la función: 0.02431758144104451

Época 43:
x = 2.70087276924125
y = 0.3999273628818557
Valor de la función: 0.02431758144104451

Época 44:
x = 2.70087276924125
y = 0.3999273628818557
Valor de la función: 0.02431758144104451

Época 45:
x = 2.70087276924125
y = 0.42807510505982007
Valor de la función: 0.022736560902997422

Época 46:
x = 2.70087276924125
y = 0.42807510505982007
Valor de la función: 0.022736560902997422

Época 47:
x = 2.70087276924125
y = 0.42807510505982007
Valor de la función: 0.022736560902997422

Época 48:
x = 2.775558426600663
y = 0.42807510505982007
Valor de la función: 0.012160901407698622

Época 49:
x = 2.775558426600663
y = 0.42807510505982007
Valor de la función: 0.012160901407698622

Época 50:
x = 2.775558426600663
y = 0.42807510505982007
Valor de la función: 0.012160901407698622

Época 51:
x = 2.775558426600663
y = 0.42807510505982007
Valor de la función: 0.012160901407698622

Época 52:
x = 2.775558426600663
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.01166861262898446

Época 53:
x = 2.775558426600663
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.01166861262898446

Época 54:
x = 2.775558426600663
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.01166861262898446

Época 55:
x = 2.775558426600663
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.01166861262898446

Época 56:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 57:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 58:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 59:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 60:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 61:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 62:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 63:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 64:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 65:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 66:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 67:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 68:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 69:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 70:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 71:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 72:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 73:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 74:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 75:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 76:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 77:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 78:
x = 2.7767034986521977
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011666804160213477

Época 79:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 80:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 81:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 82:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 83:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 84:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 85:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 86:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 87:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 88:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 89:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 90:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 91:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 92:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 93:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 94:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Época 95:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059

Mejor solución encontrada al final:
x = 2.777963479456225
y = 0.43040430220142072
Valor de la función: 0.011650634469309059
```