

CE_PRACTICA_01

Búsqueda del máximo de una función mediante algoritmo genético

CE

Obtener el máximo de la función $f(x)$ en el rango de $[0-15]$ utilizando un algoritmo genético (el argumento del seno de la función se da en radianes).

$$f(x) = \text{ABS} \left| \frac{x - 5}{2 + \text{Sen}(x)} \right|$$

Esta función es la "**Función de Fitness**" o función de calidad a utilizar, ya que la 'x' que maximice esta función, es la mejor solución al problema.



SOLUCIÓN

El primer "problema" es **"representar a los individuos"** que tendremos en este algoritmo genético. En este caso es sencillo. Como en los algoritmos genéticos los individuos se representan con cadenas binarias, si se busca encontrar el máximo entre el intervalo [0-15] los individuos se representan como "números binarios" en este caso como números binarios de longitud 4. Con un número binario de 4 bits se puede representar 16 números ($2^4=16$) con lo cual se dice que "los individuos van a estar representados por un cromosoma de longitud 4". Ejemplo:

Cromosoma que representa al individuo x=8

1 0 0 0

Cromosoma que representa al individuo x=3

0 0 1 1

Se define la primera generación de individuos, la manera de emparejarlos y como van a mutar. Se genera un conjunto de números aleatorios con los que trabajar. Para ello y antes de nada se define el número de individuos con los que trabajar, la probabilidad de generación del cromosoma, la probabilidad de emparejamiento y la probabilidad de mutación. De forma detallada el proceso es el siguiente:

1. Longitud del cromosoma: 4
2. Conjunto de elementos del cromosoma: {0,1}
3. Número de individuos de la población: 2
4. Para la creación de la primera generación:
 - 4.1.- Probabilidad del elemento '0': número aleatorio < 0.5
 - 4.2.- Probabilidad del elemento '1': número aleatorio > 0.5
5. Probabilidad de emparejamiento (crossover): 0.7
6. Probabilidad de mutación: 0.3

El conjunto de números aleatorios con los que vamos a trabajar va a ser el siguiente:

0.34	0.82	0.77	0.71	0.35	0.75	0.48	0.40
0.41	0.74	0.15	0.85	0.51	0.44	0.89	0.85
0.43	0.07	0.97	0.93	0.11	0.58	0.75	0.90
0.51	0.62	0.67	0.15	0.89	0.87	0.86	0.77

En primer lugar vamos a obtener los dos primeros individuos que van a formar la generación inicial. Para obtener los cromosomas de los dos individuos vamos a utilizar los 8 primeros números aleatorios (4 por individuo). Si el número aleatorio es menor que 0.5 pondremos el elemento '0' al cromosoma y si es mayor que 0.5 le daremos valor '1'. A continuación mostramos como generamos los individuos:

0.34	0.82	0.77	0.71	0.35	0.75	0.48	0.40
0.41	0.74	0.15	0.85	0.51	0.44	0.89	0.85
0.43	0.07	0.97	0.93	0.11	0.58	0.75	0.90
0.51	0.62	0.67	0.15	0.89	0.87	0.86	0.77

Cromosoma del individuo 1

0.34	0.82	0.77	0.71
↓	↓	↓	↓
0	1	1	1

Representa a x=7

Cromosoma del individuo 2

0.35	0.75	0.48	0.40
↓	↓	↓	↓
0	1	0	0

Representa a x=4

Una vez que conocemos los individuos, aplicamos la función de fitness para que nos diga que individuo es el mejor de los dos y cuanto mejor es uno respecto del otro para ver posteriormente que probabilidad de emparejamiento tiene cada uno:

$$\text{Individuo 1 (x=7):} \quad f(7) = \text{ABS} \left| \frac{7-5}{2+\text{Sen}(7)} \right| = 0.75$$

$$\text{Individuo 2 (x=4):} \quad f(4) = \text{ABS} \left| \frac{4-5}{2+\text{Sen}(4)} \right| = 0.8$$

Como vemos ambos individuos son muy parecidos porque tienen una calidad similar aunque el individuo 2 es un poco mejor que el individuo 1 ya que lo que pretendemos es encontrar el máximo de la función. Ahora pasamos a calcular las probabilidades de cada individuo para el emparejamiento y esto lo hacemos con una regla de tres simple:

$$\text{Individuo 1} = \frac{0.75}{0.75 + 0.8} = 0.48$$

$$\text{Individuo 2} = \frac{0.8}{0.75 + 0.8} = 0.52$$

Lo que pretendemos con esto es ver que individuos seleccionamos para emparejarse. Para ello cogeremos los dos siguientes números aleatorios y si están dentro de los rangos de selección, ese individuo será apto para el emparejamiento (en el caso de que haya emparejamiento en esa generación). Esto quiere decir que si sacamos un número aleatorio dentro del intervalo $[0-0.48]$ el individuo 1 se emparejará y si el otro número aleatorio está en el intervalo $[0.48-1]$ también será apto el individuo 2 para emparejarse. A continuación vemos si son aptos para emparejarse o no:

0.34	0.82	0.77	0.71	0.35	0.75	0.48	0.40
0.41	0.74	0.15	0.85	0.51	0.44	0.89	0.85
0.43	0.07	0.97	0.93	0.11	0.58	0.75	0.90
0.51	0.62	0.67	0.15	0.89	0.87	0.86	0.77

Rango del individuo 1 $[0-0.48]$

0.41 esta dentro del rango =>
El individuo 1 es apto para el emparejamiento

Rango del individuo 2 $[0.48-1]$

0.74 esta dentro del rango =>
El individuo 2 es apto para el emparejamiento

Con esto vemos que los dos individuos son aptos para el emparejamiento, pero **¿habrá emparejamiento en esta generación?**. Para ver si en esta generación hay emparejamiento hay que ver si el siguiente número aleatorio está dentro de la probabilidad de emparejamiento (crossover) que la definimos como 0.7, lo que quiere decir que si el número aleatorio está en el rango $[0-0.7]$ habrá emparejamiento y si está entre $[0.7-1]$ no habrá emparejamiento. Esto lo mostramos a continuación:

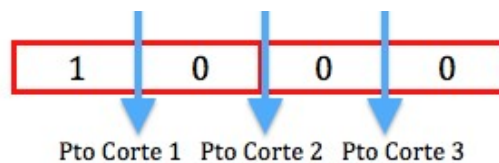
0.34	0.82	0.77	0.71	0.35	0.75	0.48	0.40
0.41	0.74	0.15	0.85	0.51	0.44	0.89	0.85
0.43	0.07	0.97	0.93	0.11	0.58	0.75	0.90
0.51	0.62	0.67	0.15	0.89	0.87	0.86	0.77

Rango de emparejamiento $[0-0.7]$

Rango de no emparejamiento $[0.7-1]$

Numero aleatorio obtenido: 0.15
Hay emparejamiento en esta generación

Vemos que en esta generación hay emparejamiento y que además los dos individuos se van a emparejar, así que ahora hay que ver como se emparejan estos dos individuos. Para ello hay que calcular el "punto de corte" del cromosoma sobre el que se realiza el intercambio. Como se muestra a continuación se ve que hay 3 puntos de corte en el cromosoma para que se puedan emparejar:



Esto quiere decir que volvemos a crear rangos de selección y seleccionaremos uno de los tres puntos de corte para el emparejamiento. Esta selección del punto de corte lo mostramos a continuación:

0.34	0.82	0.77	0.71	0.35	0.75	0.48	0.40
0.41	0.74	0.15	0.85	0.51	0.44	0.89	0.85
0.43	0.07	0.97	0.93	0.11	0.58	0.75	0.90
0.51	0.62	0.67	0.15	0.89	0.87	0.86	0.77

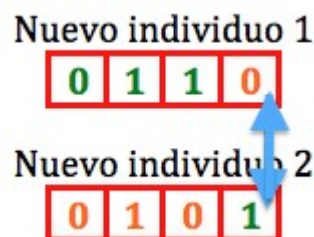
Rango Pto Corte 1 [0-0.33]

Rango Pto Corte 2 [0.33-0.66]

Rango Pto Corte 3 [0.66-1]

El numero aleatorio 0.85
Selecciona al punto 3 como punto de corte

Con todo lo calculado podemos ya generar unos nuevos individuos. Dado que hemos seleccionado como punto de corte al tercer cromosoma, quiere decir que el primer individuo tendrá como valor de la última posición del cromosoma el valor de la última posición del cromosoma del individuo 2, lo que quiere decir que el emparejamiento dará como resultado dos nuevos individuos con el intercambio en los valores del cromosoma. Este intercambio se muestra a continuación:



Por último queda ver si alguno de los individuos sufre alguna mutación. Para ello cogemos un número aleatorio por cromosoma (8 números aleatorios, 4 por cada individuo) y vemos si esta dentro de la probabilidad de mutación, es decir, que si el número aleatorio está dentro del rango [0-0.3] el elemento del cromosoma mutará a su complementario y sino esta en ese rango no habrá mutación. A continuación vemos las mutaciones que se producen:

0.34	0.82	0.77	0.71	0.35	0.75	0.48	0.40
0.41	0.74	0.15	0.85	0.51	0.44	0.89	0.85
0.43	0.07	0.97	0.93	0.11	0.58	0.75	0.90
0.51	0.62	0.67	0.15	0.89	0.87	0.86	0.77

Cromosoma del individuo 1

0.51	0.44	0.89	0.85
↓	↓	↓	↓
0	1	1	0

Representa a x=6

Cromosoma del individuo 2

0.43	0.07	0.97	0.93
↓	↓	↓	↓
0	0	0	1

Representa a x=1

Muta el 2º elemento del cromosoma

Llegados a este punto ya tenemos una nueva generación de individuos creada que es una generación en la cual tenemos un individuo (individuo 2 con x=1) que es un individuo "mejor" que los de la generación anterior ya que su valor aplicando la función de fitness es de 1,41 tal y como se muestra a continuación:

$$\text{Individuo 1 (x=6):} \quad f(6) = \text{ABS} \left| \frac{6-5}{2+\text{Sen}(6)} \right| = 0.58$$

$$\text{Individuo 2 (x=1):} \quad f(1) = \text{ABS} \left| \frac{1-5}{2+\text{Sen}(1)} \right| = 1.41$$

También vemos que el individuo 1 es peor individuo que sus progenitores. Como podréis observar solamente con una única generación no nos hemos acercado al mejor individuo que sería el individuo con valor x=11 con lo cual necesitaríamos más individuos y hacer esto con muchas más generaciones, es decir repetir este proceso 'n' veces y en la generación 'n' coger el mejor individuo.

SOLUCIÓN (código Python)

Definir las librerías a utilizar

```
# Importar librerías a utilizar
import numpy as np
import matplotlib as plt
import random
```

Definir la función de números aleatorios

```
# lista números aleatorios
def listaAleatorios(n):
    lista = [0] * n
    for i in range(n):
        lista[i] = np.int(100*random.random())/100
    return lista
```

Definir la función de fitness

```
# función de fitness
def fitness(x):
    y=np.abs((x-5)/(2+np.sin(x)))
    return y
```

Definir la función de emparejamiento

```
def emparejamiento(k):
    # Individuo 1
    if lista[k]>prob1:
        apto1="NO"
    else:
        apto1="SI"
    k=k+1

    # Individuo 2
    if lista[k]>prob1:
        apto2="SI"
    else:
        apto2="NO"
    k=k+1

    # Probabilidad de emparejamiento
    if lista[k]>prob_empar:
        pempar="NO"
    else:
        pempar="SI"

    k=k+1

    print("Aptitud para emparejamiento -> Individuo 1: ",apto1,"  Individuo 2: ",apto2)

    if (pempar=="SI") and (apto1=="SI") and (apto2=="SI"):
        print("Hay emparejamiento en esta generación")
        # Punto de corte
        if lista[k]<0.33:
            pcorte=1
        elif lista[k]>0.33 and lista[k]<0.66:
```

```
        pcorte=2
    else:
        pcorte=3
    print("Punto de corte para emparejamiento: ",pcorte)
    # Nuevos individuos
    aux1=cromosoma1
    aux2=cromosoma2
    cromosoma1=aux1[0:pcorte]+aux2[pcorte:Lcrom]
    cromosoma2=aux2[0:pcorte]+aux1[pcorte:Lcrom]
    print("Nuevos Individuos tras emparejamiento")
    print("Individuo 1 :",cromosoma1)
    print("Individuo 2 :",cromosoma2)
else:
    print("No hay emparejamiento en esta generación")

return
```

Definir la función de mutación

```
def mutacion(k):
    # Mutación
    # Individuo 1
    j=0
    for i in range(k,k+Lcrom):
        if lista[i]>prob_mut:
            print("Se produce mutación en el individuo 1 en la posición ",j)
            if cromosoma1[j]==1:
                cromosoma1[j]=0
            else:
                cromosoma1[j]=1
            j=j+1

    k=k+Lcrom

    # Individuo 2
    j=0
    for i in range(k,k+Lcrom):
        if lista[i]>prob_mut:
            print("Se produce mutación en el individuo 2 en la posición ",j)
            if cromosoma2[j]==1:
                cromosoma2[j]=0
            else:
                cromosoma2[j]=1
            j=j+1

    k=k+Lcrom

    print("Resultado de la mutación")
    print("Individuo 1 :",cromosoma1)
    print("Individuo 2 :",cromosoma2)

    return
```

Definir la función resultado de fitness

```
def resultadofitness():
    # Fitness de individuos
    x1=cromosoma1[3]*1+cromosoma1[2]*2+cromosoma1[1]*2+cromosoma1[0]*2*2
    x2=cromosoma2[3]*1+cromosoma2[2]*2+cromosoma2[1]*2+cromosoma2[0]*2*2

    f1=fitness(x1)
    f2=fitness(x2)
```



```
print("Fitness -> Individuo 1 (x=",x1,")": ",f1,"  Individuo 2 (x=",x2,")": ",f2)

# Probabilidad de individuos
prob1=f1/(f1+f2)
prob2=f2/(f1+f2)

print("Probabilidad -> Individuo 1 (p=",prob1,")", "  Individuo 2 (p=",prob2,")")

return f1,f2,x1,x2
```

Definir la función para inicializar los cromosomas

```
def inicializarcromosomas(k):
    # Cromosomas iniciales
    print("GENERACIÓN INICIAL")
    # Individuo 1
    #cromosoma1 = [0] * Lcrom
    j=0
    for i in range(k,k+Lcrom):
        if lista[i]>prob_0_1:
            cromosoma1[j]=1
        else:
            cromosoma1[j]=0
        j=j+1

    k=k+Lcrom

    print("Individuo 1 :",cromosoma1)

    # Individuo 2
    #cromosoma2 = [0] * Lcrom
    j=0
    for i in range(k,k+Lcrom):
        if lista[i]>prob_0_1:
            cromosoma2[j]=1
        else:
            cromosoma2[j]=0
        j=j+1

    k=k+Lcrom

    print("Individuo 2 :",cromosoma2)

    return
```

PROGRAMA PRINCIPAL

Definir variables

```
# Variables
# Longitud del cromosoma: 4
# Conjunto de elementos del cromosoma: {0,1}
# Número de individuos de la población: 2
# Para la creación de la primera generación:
# Probabilidad del elemento '0': número aleatorio < 0.5
# Probabilidad del elemento '1': número aleatorio > 0.5
# Probabilidad de emparejamiento (crossover): 0.7
# Probabilidad de mutación: 0.3

Lcrom=4
n ind=2
```

```
prob_0_1=0.5
prob_empar=0.7
prob_mut=0.3
pos_aleat=0
prob1=0
prob2=0
max_fit=0
max_gen=0
max_x=0
x1=0
x2=0
f1=0
f2=0
cromosoma1 = [0] * Lcrom
cromosoma2 = [0] * Lcrom
aux1=cromosoma1
aux2=cromosoma2
```

Definir lista de números aleatorios

```
# Crear la lista aleatoria de números
n_aleat=1000
lista=listaAleatorios(n_aleat)
print("lista aleatoria",lista)
```

Inicializar cromosomas

```
# Inicializar cromosomas
inicializarcromosomas(pos_aleat)
pos_aleat=pos_aleat+2*Lcrom
```

Aplicar evolución a nuevas generaciones

```
# Aplicar evolución a nuevas generaciones
n_gen=20
for g in range(0,n_gen):
    print("GENERACIÓN ",g)
    f1,f2,x1,x2 = resultadofitness()
    # Emparejamiento
    emparejamiento(pos_aleat)
    pos_aleat=pos_aleat+3
    # Mutación
    mutacion(pos_aleat)
    pos_aleat=pos_aleat+2*Lcrom

    # Máximo fitness
    if (f1>max_fit):
        max_fit=f1
        max_x=x1
        max_gen=g
    if (f2>max_fit):
        max_fit=f2
        max_x=x2
        max_gen=g
    print("Máximo de la función: ",max_fit," (x= ",max_x," Generación: ",max_gen,")")

lista aleatoria [0.2, 0.92, 0.72, 0.64, 0.16, 0.3, 0.53, 0.54, 0.53, 0.31, 0.69, 0.17, 0.13,
0.23, 0.83, 0.01, 0.61, 0.7, 0.19, 0.21, 0.6, 0.09, 0.41, 0.96, 0.14, 0.9, 0.21, 0.94, 0.45,
0.46, 0.11, 0.22, 0.79, 0.35, 0.79, 0.35, 0.28, 0.33, ... ]
GENERACIÓN INICIAL
Individuo 1 : [0, 1, 1, 1]
```

```
Individuo 2 : [0, 0, 1, 1]
GENERACIÓN 0
Fitness -> Individuo 1 (x= 7 ): 0.752732437929649   Individuo 2 (x= 3 ): 0.9340905659053925
Probabilidad -> Individuo 1 (p= 0.44624269186410764 )   Individuo 2 (p= 0.5537573081358923 )
Aptitud para emparejamiento -> Individuo 1: NO   Individuo 2: SI
No hay emparejamiento en esta generación
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 3
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 2
Resultado de la mutación
Individuo 1 : [0, 1, 1, 0]
Individuo 2 : [0, 1, 0, 1]
Máximo de la función: 0.9340905659053925 (x= 3 Generación: 0 )
GENERACIÓN 1
Fitness -> Individuo 1 (x= 6 ): 0.5811978423339392   Individuo 2 (x= 5 ): 0.0
Probabilidad -> Individuo 1 (p= 1.0 )   Individuo 2 (p= 0.0 )
Aptitud para emparejamiento -> Individuo 1: NO   Individuo 2: SI
No hay emparejamiento en esta generación
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 0
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 3
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 2
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 3
Resultado de la mutación
Individuo 1 : [1, 0, 1, 1]
Individuo 2 : [0, 0, 1, 0]
Máximo de la función: 0.9340905659053925 (x= 3 Generación: 0 )
GENERACIÓN 2
Fitness -> Individuo 1 (x= 11 ): 5.999941239879686   Individuo 2 (x= 2 ): 1.03117679627321
Probabilidad -> Individuo 1 (p= 0.8533409920056723 )   Individuo 2 (p= 0.14665900799432782 )
Aptitud para emparejamiento -> Individuo 1: NO   Individuo 2: SI
No hay emparejamiento en esta generación
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 0
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 2
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 0
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 3
Resultado de la mutación
Individuo 1 : [0, 1, 0, 1]
Individuo 2 : [1, 1, 1, 1]
Máximo de la función: 5.999941239879686 (x= 11 Generación: 2 )
GENERACIÓN 3
Fitness -> Individuo 1 (x= 5 ): 0.0   Individuo 2 (x= 15 ): 3.7731750674323625
Probabilidad -> Individuo 1 (p= 0.0 )   Individuo 2 (p= 1.0 )
Aptitud para emparejamiento -> Individuo 1: NO   Individuo 2: SI
No hay emparejamiento en esta generación
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 0
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 3
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 2
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 3
Resultado de la mutación
Individuo 1 : [1, 1, 0, 0]
Individuo 2 : [1, 0, 0, 0]
Máximo de la función: 5.999941239879686 (x= 11 Generación: 2 )
GENERACIÓN 4
Fitness -> Individuo 1 (x= 12 ): 4.783292646488061   Individuo 2 (x= 8 ): 1.0035598789100098
Probabilidad -> Individuo 1 (p= 0.8265793236469291 )   Individuo 2 (p= 0.1734206763530709 )
Aptitud para emparejamiento -> Individuo 1: NO   Individuo 2: SI
No hay emparejamiento en esta generación
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 0
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 1
```

```
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 3
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 0
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 2
Resultado de la mutación
Individuo 1 : [0, 0, 0, 1]
Individuo 2 : [0, 1, 1, 0]
Máximo de la función: 5.999941239879686 (x= 11 Generación: 2 )
GENERACIÓN 5
Fitness -> Individuo 1 (x= 1 ): 1.4077215714628977 Individuo 2 (x= 6 ): 0.5811978423339392
Probabilidad -> Individuo 1 (p= 0.7077821060510262 ) Individuo 2 (p= 0.2922178939489738 )
Aptitud para emparejamiento -> Individuo 1: NO Individuo 2: SI
No hay emparejamiento en esta generación
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 0
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 2
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 3
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 0
Resultado de la mutación
Individuo 1 : [1, 1, 1, 0]
Individuo 2 : [1, 1, 1, 0]
Máximo de la función: 5.999941239879686 (x= 11 Generación: 2 )
GENERACIÓN 6
Fitness -> Individuo 1 (x= 14 ): 3.009422143920609 Individuo 2 (x= 14 ): 3.009422143920609
Probabilidad -> Individuo 1 (p= 0.5 ) Individuo 2 (p= 0.5 )
Aptitud para emparejamiento -> Individuo 1: NO Individuo 2: SI
No hay emparejamiento en esta generación
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 2
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 2
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 3
Resultado de la mutación
Individuo 1 : [1, 0, 0, 0]
Individuo 2 : [1, 0, 0, 1]
Máximo de la función: 5.999941239879686 (x= 11 Generación: 2 )
GENERACIÓN 7
Fitness -> Individuo 1 (x= 8 ): 1.0035598789100098 Individuo 2 (x= 9 ): 1.6582933319708366
Probabilidad -> Individuo 1 (p= 0.37701548485384623 ) Individuo 2 (p= 0.6229845151461537 )
Aptitud para emparejamiento -> Individuo 1: NO Individuo 2: SI
No hay emparejamiento en esta generación
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 0
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 3
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 2
Resultado de la mutación
Individuo 1 : [0, 1, 0, 1]
Individuo 2 : [1, 1, 1, 1]
Máximo de la función: 5.999941239879686 (x= 11 Generación: 2 )
GENERACIÓN 8
Fitness -> Individuo 1 (x= 5 ): 0.0 Individuo 2 (x= 15 ): 3.7731750674323625
Probabilidad -> Individuo 1 (p= 0.0 ) Individuo 2 (p= 1.0 )
Aptitud para emparejamiento -> Individuo 1: NO Individuo 2: SI
No hay emparejamiento en esta generación
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 0
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 3
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 2
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 3
Resultado de la mutación
Individuo 1 : [1, 0, 0, 0]
```

```
Individuo 2 : [1, 0, 0, 0]
Máximo de la función: 5.999941239879686 (x= 11 Generación: 2 )
GENERACIÓN 9
Fitness -> Individuo 1 (x= 8 ): 1.0035598789100098 Individuo 2 (x= 8 ): 1.0035598789100098
Probabilidad -> Individuo 1 (p= 0.5 ) Individuo 2 (p= 0.5 )
Aptitud para emparejamiento -> Individuo 1: NO Individuo 2: SI
No hay emparejamiento en esta generación
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 0
Se produce mutación en el individuo 1 en la posición 2
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 0
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 1
Se produce mutación en el individuo 2 en la posición 2
Resultado de la mutación
Individuo 1 : [0, 0, 1, 0]
Individuo 2 : [0, 1, 1, 0]
Máximo de la función: 5.999941239879686 (x= 11 Generación: 2 )
```