Reptile Search Algorithm

Dr. Broderick Crawford Labrín

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Reptile Search Algorithm (RSA)

- Fue desarrollada por Krishna Gopal Dhal et. al. en el año 2022 [a].
- Es una metaheurística basado en población diseñada para resolver problemas de optimización continuos.
- Sus soluciones (individuos) iniciales se generan aleatoreamente y se van alterando bajo un conjunto de reglas de movimiento con criterios estocásticos.

[a] *Reptile Search Algorithm: Theory, Variants, Applications, and Performance Evaluation*, Springer Link (2023)

RSA: Ecuaciones de movimiento

- Ecuaciones de movimientos general

$$X = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \cdots & x_{1,D} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \cdots & x_{2,D} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{N,1} & x_{N,2} & \cdots & x_{N,D} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$x_{i,j} = rand \cdot (UB - LB) + LB \quad (2)$$

- Donde:
  - X representa un colección de soluciones individuales
    - N representa el tamaño de la población
    - D representa la dimensión de la población
  - $x_{i,j}$ representa la j^{va} posición del i^{va}solución
    - $k = 1, 2...n$

RSA: Ecuaciones de movimiento

- Ecuaciones de movimiento (Exploración)

$$M_{(x_i)} = \frac{1}{D}\sum_{j=1}^{D} x_{i,j} \quad (3)$$

$$P_{i,j} = \alpha + \frac{x_{i,j} - M_{xi}}{UB_j - LB_j + \varepsilon} \quad (4)$$

- Donde:
  - $M_{(x_i)}$ es el promedio de las soluciones
  - P representa la diferencia en porcentaje entra la mejor solucion y la actual
    - $Best_j$ representa la mejor posición del individuo más optimo

RSA: Ecuaciones de movimiento

- Ecuaciones de movimiento (Exploración)

$$ES(t) = 2 \cdot r_3 \cdot \left(1 - \frac{1}{MaxIt}\right) \tag{5}$$

$$R_{i,j} = \frac{Best_j(t) - x_{r2,j}}{Best_j(t) + \varepsilon} \tag{6}$$

- Donde:
  - $ES(t)$ representa el ratio de probabilidad con un rando de -2 a 2
    - r_3 es un numero random [-1,1]
  - $R_{i,j}$ se utiliza para minimizar la región de búsqueda con:
    - r_2 siendo un numero random [1,N]
    - ε es un pequeño número

RSA: Ecuaciones de movimiento

- Ecuaciones de movimiento (Exploración)

$$\eta_{i,j} = Best_j(t) \cdot P_{i,j}(t) \tag{7}$$

$$X_{i,j}^{(t+1)} \left\{ \begin{matrix} Best_j(t) - \eta_t \cdot \beta - R_{i,j}(t) \cdot rand, t \leq \frac{MaxIt}{4} \\ Best_j(t) \cdot x_{r1,j}(t) \cdot ES(t) \cdot rand, t \leq 2\frac{MaxIt}{4} yt > \frac{MaxIt}{4} \end{matrix} \right\} \tag{8}$$

- Donde:
    - $\eta_{i,j}$ representa el operador de caza de la k-ésima posición en la i-ésima solución
    - X representa un colección de soluciones individuales
    - $x_{i,j}$ representa la j^{va} posición del i^{va}solución
        - $k = 1, 2...n$

RSA: Pseudocódigo

Algorithm 1 Reptile Search Algorithm

```
Input: Population X={x_1, x_2, ..., x_N}
Output: Updated population X'={x'_1, x'_2, ..., x'_n} and Best
Initialize random population X, constant α, constant β and constant ε
for it = 1 to MaxIt do
    calulate the fitness of each X
    select Best
    r3 = random(-1,1)
    ES = 2*r3*(1-(1/maxIter))
    for i=0 to N do
        for j=0 to Dim do
            r2 = random(0,N-1)
            R = (Best - X_{r2,j})/(Best_j+ε)
            P = α + (X_{i,j} - X̄_i) / (UB_j - LB_j + ε)
            η = Best_j * P
            rand = random()
            if it < MaxIter/4
                X_{i,j} = Best_j − η ∗ β − R ∗ rand
            else if it < (2*MaxIter)/4 and it ≥ MaxIter/4
                r1 = random(0,N-1)
                X_{i,j} = Best_j ∗ X_{r1,j} ∗ ES ∗ rand
            else if it < (MaxIter*3)/4 and it ≥ (2*it)/4
                X_{i,j} = Best_j ∗ P ∗ rand
            Else
                X_{i,j} = Best_j − η ∗ ε − R ∗ rand
return updated population X' and Best
```

RSA: Ejemplo prático - parámetros iniciales

Considerando

$$\text{Min } z = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2$$

Sujeto a

$$x_1, x_2, x_3 \in [-100, 100]$$

Configuración inicial de RSA:

- Tamaño de la población: 2 individuos
- Número máximo de iteraciones: 100 iteraciones
- $\alpha = 0.1$
- $\beta = 0.1$
- $\varepsilon = 1e^{-10}$

RSA: Ejemplo prático - soluciones inciales

Soluciones inciales:
ind 1: [-35.1045, 4.535, -36.8781] / fitness: 2612.8903
ind 2: [71.0945, 21.6292, -94.0776] / fitness: 14372.8538

Mejor solución:
ind 1: [-35.1045, 4.535, -36.8781] / fitness: 2612.8903

RSA: Ejemplo práctico - iter 1

Ecuaciones generales de la iteración 1:

$r_3 = random(-1, 1) = 1$

$ES(t) = 2 \cdot r_3 \cdot \left(1 - \frac{1}{MaxIt}\right) = 2 \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{1}{100}\right) = 1,9800$

Ecuación general RSA:

$$
\begin{gathered}
r_2 = random(0, N-1) \\
R_{i,j} = \frac{Best_j(t) - x_{r2,j}}{Best_j(t) + \varepsilon} \\
P_{i,j} = \alpha + \frac{x_{i,j} - M_{xi}}{UB_j - LB_j + \varepsilon} \\
\eta_{i,j} = Best_j(t) \cdot P_{i,j}(t) \\
iter < MaxIt \\
X_{i,j}^{(t+1)} = Best_j(t) - \eta_t \cdot \beta - R_{i,j}(t) \cdot rand
\end{gathered}
$$

RSA: Ejemplo prático - ind 1 - dim 1 - iter 1

$$
\begin{aligned}
r_2 &= random(0, 2-1) = 0\\
R_{1,1} &= \frac{-35{,}1045+35{,}1045}{-35{,}1045+0{,}0000} = 0{,}0000\\
P_{1,1} &= 0{,}1 + \frac{-35{,}1045+22{,}4825}{100+100+0{,}0000} = 0{,}0369\\
\eta_{1,1} &= -35{,}1045 \cdot 0{,}0369 = -1{,}2950\\
rand &= random() = 0{,}9515
\end{aligned}
$$

$$
it < \frac{maxIter}{4}
$$

$$
1 < 25{,}0000
$$

$$
X_{1,1}^{2} = -35{,}1045 + 1{,}2950 \cdot 0{,}1 + 0{,}0000 \cdot 0{,}9515 = -34{,}9750
$$

RSA: Ejemplo prático - ind 1 - dim 2 - iter 1

$$
\begin{aligned}
r_2 &= random(0, 2-1) = 0 \\
R_{1,2} &= \frac{4{,}5350 - 4{,}5350}{4{,}5350 + 0{,}0000} = 0{,}0000 \\
P_{1,2} &= 0{,}1 + \frac{4{,}5350 + 22{,}4394}{100 + 100 + 0{,}0000} = 0{,}2349 \\
\eta_{1,2} &= 4{,}5350 \cdot 0{,}2349 = 1{,}0652 \\
rand &= random() = 0{,}4883
\end{aligned}
$$

$$
it < \frac{maxIter}{4}
$$

$$
1 < 25{,}0000
$$

$$
X^2_{1,2} = 4{,}5350 - 1{,}0652 \cdot 0{,}1 + 0{,}0000 \cdot 0{,}4883 = 4{,}4285
$$

RSA: Ejemplo prático - ind 1 - dim 3 - iter 1

$$r_2 = random(0, 2-1) = 1$$
$$R_{1,3} = \frac{-36{,}8781+94{,}0776}{-36{,}8781+0{,}0000} = -1{,}5510$$
$$P_{1,3} = 0{,}1 + \frac{-36{,}8781+22{,}4749}{100+100+0{,}0000} = 0{,}0280$$
$$\eta_{1,3} = -36{,}8781 \cdot 0{,}0280 = -1{,}0320$$
$$rand = random() = 0{,}6663$$

$$it < \frac{maxIter}{4}$$
$$1 < 25{,}0000$$
$$X^2_{1,3} = -36{,}8781 + 1{,}0320 \cdot 0{,}1 + 1{,}5510 \cdot 0{,}6663 = -35{,}7414$$

RSA: Ejemplo prático - ind - 2 dim 1 - iter 1

$$r_2 = random(0, 2-1) = 1$$
$$R_{2,1} = \frac{-35{,}1045 - 71{,}0945}{-35{,}1045 + 0{,}0000} = 3{,}0252$$
$$P_{2,1} = 0{,}1 + \frac{71{,}0945 + 0{,}4513}{100 + 100 + 0{,}0000} = 0{,}4577$$
$$\eta_{2,1} = -35{,}1045 \cdot 0{,}4577 = -16{,}0684$$
$$rand = random() = 0{,}2777$$

$$it < \frac{maxIter}{4}$$
$$1 < 25{,}0000$$
$$X^2_{2,1} = -35{,}1045 + 16{,}0684 \cdot 0{,}1 - 3{,}0252 \cdot 0{,}2777 = -34{,}3376$$

RSA: Ejemplo prático - ind 2 - dim 2 - iter 1

$$
\begin{aligned}
r_2 &= random(0, 2-1) = 0 \\
R_{2,2} &= \frac{4{,}5350 - 4{,}4285}{4{,}5350 + 0{,}0000} = 0{,}0235 \\
P_{2,2} &= 0{,}1 + \frac{21{,}6292 + 35{,}5954}{100 + 100 + 0{,}0000} = 0{,}3861 \\
\eta_{2,2} &= 4{,}5350 \cdot 0{,}3861 = 1{,}7511 \\
rand &= random() = 0{,}9399
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
& it < \frac{maxIter}{4} \\
& 1 < 25{,}0000 \\
& X_{2,2}^{2} = 4{,}5350 - 1{,}7511 \cdot 0{,}1 - 0{,}0235 \cdot 0{,}9399 = 4{,}3378
\end{aligned}
$$

RSA: Ejemplo prático - ind 2 - dim 3 - iter 1

$$r_2 = random(0, 2-1) = 1$$
$$R_{2,3} = \frac{-36{,}8781+94{,}0776}{-36{,}8781+0{,}0000} = -1{,}5510$$
$$P_{2,3} = 0{,}1 + \frac{-36{,}8781+22{,}4749}{100+100+0{,}0000} = -0{,}1636$$
$$\eta_{2,3} = -36{,}8781 \cdot 0{,}0280 = 6{,}0330$$
$$rand = random() = 0{,}1274$$

$$it < \frac{maxIter}{4}$$
$$1 < 25{,}0000$$
$$X^2_{2,3} = -36{,}8781 + 1{,}0320 \cdot 0{,}1 + 1{,}5510 \cdot 0{,}6663 = -37{,}2838$$

RSA: Ejemplo prático - validación restricciones

Restricción: $x_1, x_2, x_3 \in [-100, 100]$

Soliciones obtenidas en la iteración 1:
ind 1: [-34.975, 4.4285, -35.7414], infactibles: 0
ind 2: [-34.3377, 4.3379, -37.2838], infactibles: 0

Reparación de soluciones:
ind 1: [-34.975, 4.4285, -35.7414] / fitness: 2520.3145
ind 2: [-34.3377, 4.3379, -37.2838] / fitness: 2587.9765

Mejor solución:
ind 1: [-34.975, 4.4285, -35.7414] / fitness: 2520.3145

RSA: Ejemplo práctico - iter 2

Ecuaciones generales de la iteración 2:

$r_3 = random(-1,1) = -1$

$ES(t) = 2 \cdot r_3 \cdot \left(1 - \frac{1}{MaxIt}\right) = 2 \cdot -1 \cdot \left(1 - \frac{1}{100}\right) = -1{,}9800$

Ecuación general RSA:

$$
\begin{aligned}
r_2 &= random(0, N-1) \\
R_{i,j} &= \frac{Best_j(t) - x_{r2,j}}{Best_j(t) + \varepsilon} \\
P_{i,j} &= \alpha + \frac{x_{i,j} - M_{xi}}{UB_j - LB_j + \varepsilon} \\
\eta_{i,j} &= Best_j(t) \cdot P_{i,j}(t) \\
& iter < MaxIt \\
X_{i,j}^{(t+1)} &= Best_j(t) - \eta_t \cdot \beta - R_{i,j}(t) \cdot rand
\end{aligned}
$$

RSA: Ejemplo prático - ind 1 - dim 1 - iter 2

$$
\begin{aligned}
r_2 &= random(0, 2-1) = 1 \\
R_{1,1} &= \frac{-34{,}9750+34{,}3377}{-34{,}9750+0{,}0000} = 0{,}0182 \\
P_{1,1} &= 0{,}1 + \frac{-34{,}9750+22{,}0960}{100+100+0{,}0000} = 0{,}0356 \\
\eta_{1,1} &= -36{,}8781 \cdot 0{,}0280 = -1{,}2453 \\
rand &= random() = 0{,}9282
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&it < \frac{maxIter}{4} \\
&2 < 25{,}0000 \\
&X_{1,1}^{3} = -34{,}9750 + 1{,}2453 \cdot 0{,}1 - 0{,}0182 \cdot 0{,}9282 = -34{,}8674
\end{aligned}
$$

RSA: Ejemplo prático - ind 1 - dim 2 - iter 2

$$r_2 = random(0, 2-1) = 1$$
$$R_{1,2} = \frac{4{,}4285 - 4{,}3379}{4{,}4285 + 0{,}0000} = 0{,}0205$$
$$P_{1,2} = 0{,}1 + \frac{4{,}4285 + 22{,}0601}{100 + 100 + 0{,}0000} = 0{,}2324$$
$$\eta_{1,2} = 4{,}4285 \cdot 0{,}2324 = 1{,}0294$$
$$rand = random() = 0{,}1672$$

$$it < \frac{maxIter}{4}$$
$$2 < 25{,}0000$$
$$X_{1,2}^{3} = 4{,}4285 - 1{,}0294 \cdot 0{,}1 - 0{,}0205 \cdot 0{,}1672 = 4{,}3221$$

RSA: Ejemplo prático - ind 1 - dim 3 - iter 2

$$r_2 = random(0, 2-1) = 1$$
$$R_{1,3} = \frac{-35{,}7414+37{,}2838}{-35{,}7414+0{,}0000} = -0{,}0432$$
$$P_{1,3} = 0{,}1 + \frac{-35{,}7414+22{,}0956}{100+100+0{,}0000} = 0{,}0318$$
$$\eta_{1,3} = -35{,}7414 \cdot 0{,}0318 = -1{,}1355$$
$$rand = random() = 0{,}4192$$

$$it < \frac{maxIter}{4}$$
$$2 < 25{,}0000$$
$$X^3_{1,3} = -35{,}7414 + 1{,}1355 \cdot 0{,}1 + 0{,}0432 \cdot 0{,}4192 = -35{,}6097$$

RSA: Ejemplo prático - ind 2 - dim 1 - iter 2

$$
\begin{aligned}
r_2 &= random(0, 2-1) = 0 \\
R_{2,1} &= \frac{-34{,}9750+34{,}8674}{-34{,}9750+0{,}0000} = 0{,}0031 \\
P_{2,1} &= 0{,}1 + \frac{-34{,}3377+22{,}4279}{100+100+0{,}0000} = 0{,}0405 \\
\eta_{2,1} &= -34{,}9750 \cdot 0{,}0405 = -1{,}4148 \\
rand &= random() = 0{,}7818
\end{aligned}
$$

$$
it < \frac{maxIter}{4}
$$

$$
2 < 25{,}0000
$$

$$
X_{2,1}^{3} = -34{,}9750 + 1{,}4148 \cdot 0{,}1 - 0{,}0031 \cdot 0{,}7818 = -34{,}8359
$$

RSA: Ejemplo prático - ind 2 - dim 2 - iter 2

$$r_2 = random(0, 2-1) = 1$$
$$R_{2,2} = \frac{4{,}4285-4{,}3379}{4{,}4285+0{,}0000} = 0{,}0205$$
$$P_{2,2} = 0{,}1 + \frac{4{,}3379+22{,}5940}{100+100+0{,}0000} = 0{,}2347$$
$$\eta_{2,2} = 4{,}4285 \cdot 0{,}2347 = 1{,}0392$$
$$rand = random() = 0{,}2563$$

$$it < \frac{maxIter}{4}$$
$$2 < 25{,}0000$$
$$X_{2,2}^{3} = 4{,}4285 - 1{,}0392 \cdot 0{,}1 - 0{,}0205 \cdot 0{,}2563 = 4{,}3193$$

RSA: Ejemplo prático - ind 2 - dim 3 - iter 2

$$r_2 = random(0, 2-1) = 0$$
$$R_{2,3} = \frac{-35{,}7414+35{,}6098}{-35{,}7414+0{,}0000} = 0{,}0037$$
$$P_{2,3} = 0{,}1 + \frac{-37{,}2838+22{,}6001}{100+100+0{,}0000} = 0{,}0266$$
$$\eta_{2,3} = -35{,}7414 \cdot 0{,}0266 = -0{,}9501$$
$$rand = random() = 0{,}5691$$

$$it < \frac{maxIter}{4}$$
$$2 < 25{,}0000$$
$$X^3_{2,3} = -35{,}7414 + 0{,}9501 \cdot 0{,}1 - 0{,}0037 \cdot 0{,}5691 = -35{,}6485$$

RSA: Ejemplo prático - validación restricciones

Restricción: $x_1, x_2, x_3 \in [-100, 100]$

Soliciones obtenidas en la iteración 1:
ind 1: [-34.8674, 4.3222, -35.6098], infactibles: 0
ind 2: [-34.836, 4.3194, -35.6485], infactibles: 0

Reparación de soluciones:
ind 1: [-34.8674, 4.3222, -35.6098] / fitness: 2502.4749
ind 2: [-34.836, 4.3194, -35.6485] / fitness: 2503.0179

Mejor solución:
ind 1: [-34.8674, 4.3222, -35.6098] / fitness: 2502.4749

RSA: Ejemplo práctico - iter 100

Ecuaciones generales de la iteración 100:

$r_3 \; = \; random(-1, 1) \; = \; 0$

$ES(t) \; = \; 2 \cdot r_3 \cdot \left(1 - \frac{1}{MaxIt}\right) \; = \; 2 \cdot 0 \cdot \left(1 - \frac{1}{100}\right) \; = \; 0{,}0000$

Ecuación general RSA:

$$
\begin{gathered}
r_2 \; = \; random(0, N-1) \\
R_{i,j} \; = \; \frac{Best_j(t) - x_{r2,j}}{Best_j(t) + \varepsilon} \\
P_{i,j} \; = \; \alpha + \frac{x_{i,j} - M_{xi}}{UB_j - LB_j + \varepsilon} \\
\eta_{i,j} \; = \; Best_j(t) \cdot P_{i,j}(t) \\
iter < MaxIt \\
X_{i,j}^{(t+1)} \; = \; Best_j(t) - \eta_t \cdot \beta - R_{i,j}(t) \cdot rand
\end{gathered}
$$

RSA: Ejemplo prático - ind - 1 dim 1 - iter 100

$$
\begin{aligned}
r_2 &= random(0, 2-1) = 1 \\
R_{1,1} &= \frac{0{,}0000-0{,}0000}{0{,}0000+0{,}0000} = 0{,}0000 \\
P_{1,1} &= 0{,}1 + \frac{0{,}0000-0{,}0000}{100+100+0{,}0000} = 0{,}1000 \\
\eta_{1,1} &= 0{,}0000 \cdot 0{,}1000 = 0{,}0000 \\
rand &= random() = 0{,}3323
\end{aligned}
$$

$$X_{1,1}^{101} = 0{,}0000 - 0{,}0000 \cdot 0{,}0000 - 0{,}0000 \cdot 0{,}3323 = 0{,}0000$$

RSA: Ejemplo prático - ind 1 - dim 2 - iter 100

$$
\begin{aligned}
r_2 &= random(0, 2-1) = 1 \\
R_{1,2} &= \frac{0{,}0000 - 0{,}0000}{0{,}0000 + 0{,}0000} = 0{,}0000 \\
P_{1,2} &= 0{,}1 + \frac{0{,}0000 - 0{,}0000}{100 + 100 + 0{,}0000} = 0{,}1000 \\
\eta_{1,2} &= 0{,}0000 \cdot 0{,}1000 = 0{,}0000 \\
rand &= random() = 0{,}4467
\end{aligned}
$$

$$
X_{1,2}^{101} = 0{,}0000 - 0{,}0000 \cdot 0{,}0000 - 0{,}0000 \cdot 0{,}4467 = 0{,}0000
$$

RSA: Ejemplo prático - ind 1 - dim 3 - iter 100

$$
\begin{aligned}
r_2 &= random(0, 2-1) = 1 \\
R_{1,3} &= \frac{0{,}0000-0{,}0000}{0{,}0000+0{,}0000} = 0{,}0000 \\
P_{1,3} &= 0{,}1 + \frac{0{,}0000-0{,}0000}{100+100+0{,}0000} = 0{,}1000 \\
\eta_{1,3} &= 0{,}0000 \cdot 0{,}1000 = 0{,}0000 \\
rand &= random() = 0{,}4854
\end{aligned}
$$

$$
X_{1,3}^{101} = 0{,}0000 - 0{,}0000 \cdot 0{,}0000 - 0{,}0000 \cdot 0{,}4854 = 0{,}0000
$$

RSA: Ejemplo prático - ind 2 - dim 1 - iter 100

$$r_2 = random(0, 2-1) = 0$$
$$R_{2,1} = \frac{0{,}0000 - 0{,}0000}{0{,}0000 + 0{,}0000} = 0{,}0000$$
$$P_{2,1} = 0{,}1 + \frac{0{,}0000 - 0{,}0000}{100 + 100 + 0{,}0000} = 0{,}1000$$
$$\eta_{2,1} = 0{,}0000 \cdot 0{,}1000 = 0{,}0000$$
$$rand = random() = 0{,}6596$$

$$X_{2,1}^{101} = 0{,}0000 - 0{,}0000 \cdot 0{,}0000 - 0{,}0000 \cdot 0{,}6596 = 0{,}0000$$

RSA: Ejemplo prático - ind 2 - dim 2 - iter 100

$$
\begin{aligned}
r_2 &= random(0, 2-1) = 0 \\
R_{2,2} &= \frac{0{,}0000-0{,}0000}{0{,}0000+0{,}0000} = 0{,}0000 \\
P_{2,2} &= 0{,}1 + \frac{0{,}0000-0{,}0000}{100+100+0{,}0000} = 0{,}1000 \\
\eta_{2,2} &= 0{,}0000 \cdot 0{,}1000 = 0{,}0000 \\
rand &= random() = 0{,}4807
\end{aligned}
$$

$$X_{2,2}^{101} = 0{,}0000 - 0{,}0000 \cdot 0{,}0000 - 0{,}0000 \cdot 0{,}4807 = 0{,}0000$$

RSA: Ejemplo prático - ind 2 - dim 3 - iter 100

$$
\begin{aligned}
r_2 &= random(0, 2-1) = 1 \\
R_{2,3} &= \frac{0{,}0000-0{,}0000}{0{,}0000+0{,}0000} = 0{,}0000 \\
P_{2,3} &= 0{,}1 + \frac{0{,}0000-0{,}0000}{100+100+0{,}0000} = 0{,}1000 \\
\eta_{2,3} &= 0{,}0000 \cdot 0{,}1000 = 0{,}0000 \\
rand &= random() = 0{,}4241
\end{aligned}
$$

$$
X_{2,3}^{101} = 0{,}0000 - 0{,}0000 \cdot 0{,}0000 - 0{,}0000 \cdot 0{,}4241 = 0{,}0000
$$

RSA: Ejemplo prático - validación restricciones

Restricción: $x_1, x_2, x_3 \in [-100, 100]$

Soliciones obtenidas en la iteración 100:
ind 1: [0, 0, 0], infactibles: 0
ind 2: [0, 0, 0], infactibles: 0

Reparación de soluciones:
ind 1: [0, 0, 0] / fitness: 0.0000
ind 2: [0, 0, 0] / fitness: 0.0000

Mejor solución:
ind 1: [0. 0. 0.] / fitness: 0.0000