

Metaheurísticas (Curso 2021-2022)

Grado en Ingeniería Informática
Universidad de Granada



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

Práctica final: Metaheurística
Big Bang - Big Crunch (BB-BC)

Pedro Bedmar López - 75935296Z
pedrobedmar@correo.ugr.es

Índice

I	Resumen de la metaheurística	3
II	Pseudocódigo de la Metaheurística	6
1.	Big Bang - Big Crunch (Ecuación 0.1)	7
2.	Big Bang - Big Crunch (Mejor individuo)	9
III	Experimentación	10
3.	Metaheurística original	10
3.1.	Versión 1: Centro de masas calculado como en la ecuación 0.1	11
3.2.	Versión 2: Centro de masas calculado como el mejor individuo	17
4.	Versión memética	24
5.	Posibles mejoras de la metaheurística	31

Parte I

Resumen de la metaheurística

En la creación de nuevas metaheurísticas, una fuente de inspiración es la naturaleza. Por sí misma, la naturaleza contiene procesos muy interesantes desde el punto de vista de la optimización. Como ejemplo, la evolución es uno de estos mecanismos que permite a los sistemas biológicos mejorar en cada generación, debido a la selección natural que sufren los individuos.

En este trabajo vamos a estudiar el comportamiento de una metaheurística basada en la naturaleza, concretamente en la física. Una de las teorías que intenta explicar la creación del universo miles de millones de años atrás se conoce como Big Bang, donde tras una gran explosión en un punto concreto del espacio, comienza la expansión de materia y energía por todo este. La expansión se producirá en todas las direcciones y cúmulos de materia cercana darán lugar a las galaxias.

Hoy en día el universo sigue en expansión, pero algunos científicos sostienen que esta está comenzando a enlentecerse. Y es que existe otra teoría conocida como Big Crunch donde se defiende que este volverá a contraerse al estado original anterior al Big Bang, entrando en un proceso cíclico de expansión-contracción del universo.

La metaheurística Big Bang - Big Crunch [3] toma esta idea para trasladarla al ámbito de optimización de problemas. El funcionamiento que sigue es similar al de un algoritmo genético, se parte de una población inicial de determinado tamaño generada de forma aleatoria siguiendo una distribución uniforme. Cada individuo de esta población tendrá un número de dimensiones o genes determinado que lo caracterizarán.

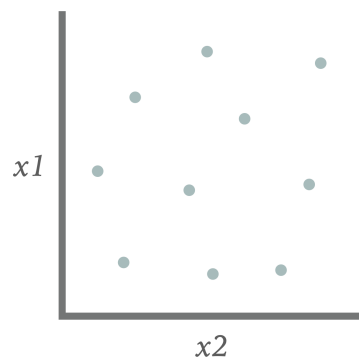


Figura 0.1: Población tras la fase Big Bang inicial

Esta será la primera fase Big Bang, donde la población se habrá expandido uniformemente por todo el espacio.

A continuación ocurre la fase Big Crunch. Actúa como operador de convergencia, donde a partir de todos los individuos de la población se genera una única salida llamada centro de masas. El término masa en este ámbito se refiere a la inversa del valor que

toma la función de fitness. Este centro de masas se representa como \vec{x}^c y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\vec{x}^c = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{f^i} \vec{x}^i}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{f^i}} \quad (0.1)$$

Donde f^i representa el valor fitness del individuo \vec{x}^i . Los autores también proponen escoger como centro de masas el individuo con mejor fitness en vez de utilizar esta ecuación. Discutiremos e implementaremos ambas versiones en los siguientes apartados.

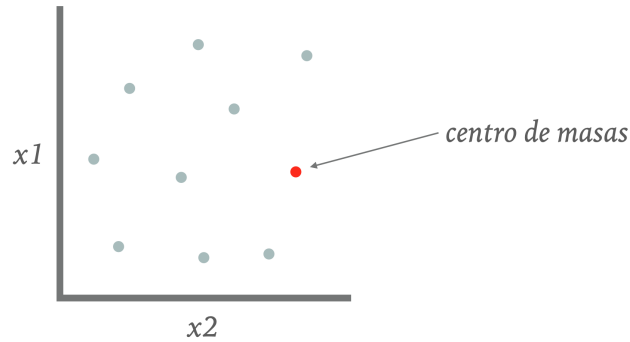


Figura 0.2: Elección del centro de masas en la fase Big Crunch

Tras la fase Big Crunch, se vuelve a producir otro Big Bang que genera nuevos individuos que reemplazan a la población anterior. Una política de sustitución podría ser la que se utiliza en el Big Bang inicial, generar individuos aleatorios de forma uniforme, pero entonces estaríamos siguiendo una búsqueda aleatoria. Por ello, en la publicación proponen generar los individuos basándose en una distribución normal centrada en el centro de masas. La desviación de los individuos generados irá disminuyendo conforme se lleva a cabo la ejecución, de forma que los puntos se generen cada vez más cerca del centro de masas para que el algoritmo converja.

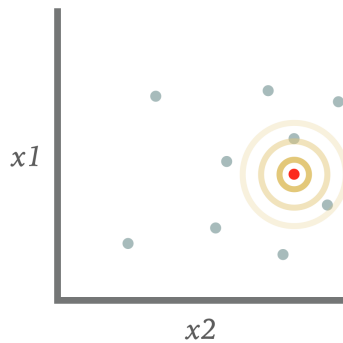


Figura 0.3: Fase Big Bang genera individuos alrededor de un centro de masas

A nivel de implementación, la generación de nuevos individuos en la fase Big Bang viene dada por la siguiente ecuación, donde x^c es el centro de masas, l el valor máximo

que puede tomar un cromosoma, r un valor aleatorio de una distribución normal y k la iteración actual.

$$x^{new} = x^c + lr/k \quad (0.2)$$

Al realizar este proceso, se debe comprobar que x^{new} toma valores dentro del dominio permitido (en nuestro caso, $[-100, 100]$).

Este proceso Big Bang - Big Crunch se repetirá de forma continuada durante la ejecución del algoritmo, hasta que la condición de parada lo indique. En nuestro caso, el número de evaluaciones de la función objetivo, aunque también podría tomarse el número de iteraciones que se realizan. Con este proceso se espera que la población se reúna en torno a un centro de masas que coincida o sea cercano al óptimo global. Al terminar, se devuelve el mejor individuo de la población.

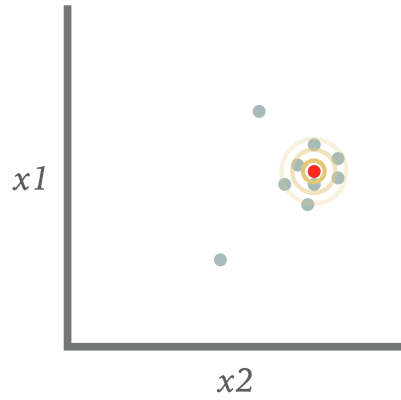


Figura 0.4: Estado tras la finalización del algoritmo

Cada una de las fases del algoritmo trata una de las componentes que son necesarias en este tipo de algoritmos de optimización, la exploración y la explotación. La fase Big Bang coincide con exploración, se generan individuos por todo el espacio de búsqueda, reduciéndose la probabilidad de converger hacia óptimos locales. La fase Big Crunch se encarga de que el algoritmo converja hacia un centro de masas supuestamente cercano a un óptimo. Al inicio de la ejecución, la fase Big Bang puede generar individuos en todo el espacio de búsqueda, pero conforme avanza la generación será de individuos cada vez más cercanos al centro de masas.

En definitiva, se busca un equilibrio entre exploración y explotación que permita al algoritmo encontrar buenas soluciones.

Parte II

Pseudocódigo de la Metaheurística

Explicamos dos versiones, mostrando diferentes formas de implementar el centro de masas. Ambas están contempladas en la publicación original.

Pero antes, mostramos como se inicializa la población en la fase Big Bang inicial:

Algorithm 1 Procedimiento encargado de generar la primera fase Big Bang, generando una población de individuos aleatorios a partir de una distribución uniforme.

```
1: procedure INITIALBIGBANG(population_size, dim, eval)
2:   population = [ ]
3:   for i = 0 to population_size - 1 do
4:     individual = [ ]
5:     for j = 0 to dim - 1 do
6:       individual[j] = RandUniformFloat(-100, 100)
7:     end for
8:
9:     individual.fitness = Fitness(individual)
10:    population += individual
11:    eval += 1
12:  end for
13:
14:  return population, eval
15: end procedure
```

1. Big Bang - Big Crunch (Ecuación 0.1)

En esta primera versión, implementamos el algoritmo con la ecuación 0.1 explicada en el apartado anterior. En esta versión, el centro de masas se calcula como una media ponderada del resto de individuos de la población. La ponderación viene dada por la inversa del valor de fitness, de forma que cuanto menor coste tenga el individuo más contribuirá a definir el centro de masas.

Algorithm 2 Big Bang - Big Crunch (Ecuación 0.1): Se implementa el algoritmo Big Bang calculando el centro de masas mediante la ecuación descrita en la publicación.

```
1: procedure BIGBANGBIGCRUNCH_EQUATION(population_size, dim,
   MAX_EVAL)
2:   iter = 1
3:   eval = 0
4:   population, eval = InitialBigBang(population_size, dim, eval)
5:
6:   while eval < MAX_EVAL do
7:     mass_center, eval = ComputeMassCenter(population, eval, population_size,
   dim)
8:
9:     for i = 0 to population_size - 1 do
10:      for j = 0 to dim - 1 do
11:        distance = 100*RandNormalFloat(mean: 0, std: 1)/iter
12:        new_gen = mass_center[j] + distance
13:
14:        if new_gen > upper_limit then
15:          new_gen = upper_limit
16:        end if
17:        if new_gen < lower_limit then
18:          new_gen = lower_limit
19:        end if
20:
21:        population[i][j] = new_gen
22:      end for
23:      population[i].fitness = Fitness(population[i])
24:      eval += 1
25:    end for
26:    iter += 1
27:  end while
28:
29:  SortByFitness(population)
30:  return population[0]
31: end procedure
```

Algorithm 3 Cálculo del centro de masas según la ecuación 0.1.

```
1: procedure COMPUTEMASSCENTER(population, eval, population_size, dim)
2:   mass_center = [ ] ▷ Sus elementos se inicializan a 0
3:   inverted_fitness = [ ]
4:   sum_inverted_fitness = 0
5:
6:   for individual ∈ population do
7:     inverted_fitness += 1/individual.fitness
8:     sum_inverted_fitness += 1/individual.fitness
9:   end for
10:
11:   for i = 0 to population_size - 1 do
12:     for j = 0 to dim - 1 do
13:       mass_center[j] += inverted_fitness[i] * population[i][j]
14:     end for
15:   end for
16:
17:   for j = 0 to dim - 1 do
18:     mass_center[j] = mass_center[j]/sum_inverted_fitness
19:   end for
20:
21:   eval += 1
22:   mass_center.fitness = Fitness(mass_center)
23:   return mass_center, eval
24: end procedure
```

2. Big Bang - Big Crunch (Mejor individuo)

A continuación, mostramos el pseudocódigo de la versión utilizando el mejor individuo de la población como centro de masas. Es muy similar a la anterior, sólo cambia la parte correspondiente esta elección.

Algorithm 4 Big Bang - Big Crunch (Mejor Individuo): Se implementa el algoritmo Big Bang calculando el centro de masas como el mejor individuo de la población.

```
1: procedure BIGBANGBIGCRUNCH_BESTINDIVIDUAL(population_size, dim,
    MAX_EVAL)
2:   iter = 1
3:   eval = 0
4:   population, eval = InitialBigBang(population_size, dim, eval)
5:
6:   while eval < MAX_EVAL do
7:     SortByFitness(population)
8:     mass_center = population[0]
9:
10:    for i = 0 to population_size - 1 do
11:      for j = 0 to dim - 1 do
12:        distance = 100*RandNormalFloat(mean: 0, std: 1)/iter
13:        new_gen = mass_center[j] + distance
14:
15:        if new_gen > upper_limit then
16:          new_gen = upper_limit
17:        end if
18:        if new_gen < lower_limit then
19:          new_gen = lower_limit
20:        end if
21:
22:        population[i][j] = new_gen
23:      end for
24:      population[i].fitness = Fitness(population[i])
25:      eval += 1
26:    end for
27:    iter += 1
28:  end while
29:
30:  SortByFitness(population)
31:  return population[0]
32: end procedure
```

Parte III

Experimentación

En este apartado, tras haber implementado la metaheurística, evaluamos su comportamiento. Para ello utilizamos la suite CEC'2017 que nos permite obtener unos resultados de error estandarizados, para su posterior comparación con otros algoritmos. Las pruebas se realizarán llevando a cabo 10 ejecuciones diferentes y se promediarán los resultados, de forma que se reduzca el efecto de los valores atípicos.

A continuación, los resultados obtenidos se procesarán en TACOLab [2] donde serán comparados con los de otros algoritmos. TACOLab permite elegir con qué algoritmos se va a realizar la comparación, nosotros elegimos PSO (*Particle Swarm Optimization*, Optimización por enjambre de partículas) y DE (*Differential Evolution*, Evolución diferencial).

PSO es una metaheurística basada en adaptación social que emula el comportamiento de grupos de individuos en la naturaleza, como pueden ser los bancos de peces o una colmena de abejas. Estos seres, de forma individual, tienen un comportamiento simple y no fiable. En cambio al trabajar en grupo, cooperan y se comunican para obtener un resultado de calidad.

Por otro lado, DE es una metaheurística basada en poblaciones. Al igual que otras de esta categoría, parte de una población inicial donde sus individuos se cruzan y mutan simulando la evolución natural.

La experimentación se llevará a cabo con individuos de 4 dimensiones diferentes (10, 30, 50 y 100). Estas dimensiones representan el tamaño de los individuos, el número de genes que los caracterizan. También, se realizarán mediciones en diferentes puntos de la ejecución: cuando se haya completado el 10 % de las evaluaciones, el 50 % y el 100 %.

3. Metaheurística original

En esta primera sección evaluamos el rendimiento de la metaheurística original, tal y como viene descrita en el paper. Recordamos que se proponen dos formas de calcular el centro de masas, utilizando la ecuación 0.1 o tomando el mejor individuo. Vamos a evaluar los resultados de ambas.

3.1. Versión 1: Centro de masas calculado como en la ecuación 0.1

10 % de las evaluaciones

Tabla 3.1: Dimensión 10

	BB-BC	DE	PSO
F01	2.39e+09	3.14e+07	8.30e+08
F02	9.27e+06	6.05e+03	1.00e+00
F03	4.45e+04	1.39e+03	1.28e+04
F04	6.86e+01	9.80e+00	1.16e+02
F05	1.46e+02	1.17e+02	7.09e+01
F06	8.31e+01	5.06e+01	2.59e+01
F07	1.36e+02	7.78e+01	8.90e+01
F08	6.43e+01	3.08e+01	5.69e+01
F09	1.00e+02	8.09e+02	2.95e+02
F10	2.13e+03	1.37e+03	1.59e+03
F11	7.93e+02	2.45e+01	1.16e+02
F12	2.76e+05	4.77e+04	2.63e+07
F13	8.92e+03	4.17e+02	1.48e+05
F14	1.62e+03	3.50e+01	5.51e+02
F15	1.40e+04	1.50e+01	8.78e+03
F16	3.87e+02	4.62e+02	3.42e+02
F17	1.63e+02	5.31e+01	1.31e+02
F18	7.93e+03	1.13e+02	2.36e+05
F19	2.67e+04	9.46e+00	2.36e+04
F20	2.44e+02	3.91e+02	1.78e+02
F21	2.75e+02	2.09e+02	1.89e+02
F22	6.50e+02	1.14e+02	1.61e+02
F23	4.85e+02	8.28e+02	3.58e+02
F24	4.97e+02	1.11e+02	2.66e+02
F25	1.09e+03	4.12e+02	4.84e+02
F26	2.21e+03	3.28e+02	6.01e+02
F27	6.13e+02	4.01e+02	4.49e+02
F28	9.46e+02	4.10e+02	7.36e+02
F29	5.18e+02	3.25e+02	4.30e+02
F30	1.32e+07	1.23e+05	3.77e+06
Best	1	22	7

Tabla 3.2: Dimensión 30

	BB-BC	DE	PSO
F01	3.67e+10	5.81e+09	1.39e+10
F02	4.51e+25	3.90e+32	1.00e+00
F03	2.85e+05	5.87e+04	1.18e+05
F04	5.57e+03	7.58e+02	3.36e+03
F05	4.49e+02	3.51e+02	3.23e+02
F06	1.04e+02	7.81e+01	6.37e+01
F07	5.98e+02	3.29e+02	5.15e+02
F08	3.94e+02	2.82e+02	2.89e+02
F09	3.94e+03	9.91e+03	7.07e+03
F10	7.89e+03	5.59e+03	7.89e+03
F11	1.65e+04	5.10e+02	3.21e+03
F12	6.99e+09	3.39e+08	1.86e+09
F13	3.59e+04	2.22e+07	1.02e+09
F14	3.04e+06	1.32e+03	1.01e+06
F15	1.34e+04	5.93e+04	1.20e+07
F16	3.59e+03	2.01e+03	2.51e+03
F17	1.13e+03	8.71e+02	9.47e+02
F18	3.53e+06	2.43e+05	1.34e+07
F19	4.55e+05	4.29e+05	2.15e+07
F20	1.42e+03	5.70e+02	9.21e+02
F21	6.79e+02	4.05e+02	5.19e+02
F22	7.79e+03	9.19e+02	2.33e+03
F23	1.44e+03	6.29e+02	7.58e+02
F24	1.89e+03	6.87e+02	8.11e+02
F25	1.68e+03	6.30e+02	1.16e+03
F26	7.76e+03	2.09e+03	4.60e+03
F27	2.33e+03	6.23e+02	1.08e+03
F28	4.39e+03	8.20e+02	1.84e+03
F29	4.09e+03	1.61e+03	2.24e+03
F30	2.24e+07	3.83e+06	6.12e+07
Best	3	24	3

Tabla 3.3: Dimensión 50

	BB-BC	DE	PSO
F01	7.53e+10	2.53e+10	4.33e+10
F02	2.36e+37	2.37e+62	1.00e+00
F03	5.80e+05	1.41e+05	2.41e+05
F04	1.97e+04	3.86e+03	9.35e+03
F05	6.81e+02	5.86e+02	5.97e+02
F06	1.10e+02	9.23e+01	7.93e+01
F07	1.42e+03	6.94e+02	1.08e+03
F08	7.21e+02	6.14e+02	5.57e+02
F09	1.81e+04	3.54e+04	3.00e+04
F10	1.41e+04	1.22e+04	1.42e+04
F11	5.06e+04	2.91e+03	1.04e+04
F12	4.97e+10	5.93e+09	1.55e+10
F13	1.26e+10	8.60e+08	4.03e+09
F14	3.51e+05	4.35e+05	9.94e+06
F15	2.00e+08	1.84e+07	2.00e+08
F16	4.89e+03	3.92e+03	4.10e+03
F17	2.33e+03	2.39e+03	2.53e+03
F18	6.24e+07	3.77e+06	3.86e+07
F19	2.17e+05	1.82e+07	1.65e+08
F20	2.01e+03	1.33e+03	2.29e+03
F21	1.09e+03	7.45e+02	8.49e+02
F22	1.64e+04	1.33e+04	1.42e+04
F23	2.58e+03	1.10e+03	1.27e+03
F24	2.50e+03	1.10e+03	1.43e+03
F25	9.63e+03	2.47e+03	5.77e+03
F26	1.44e+04	4.38e+03	9.44e+03
F27	5.19e+03	1.29e+03	2.32e+03
F28	8.42e+03	2.70e+03	4.72e+03
F29	5.83e+03	3.61e+03	5.58e+03
F30	5.20e+08	2.03e+08	8.37e+08
Best	4	23	3

Tabla 3.4: Dimensión 100

	BB-BC	DE	PSO
F01	2.61e+11	1.05e+11	1.64e+11
F02	7.39e+124	2.11e+145	1.00e+00
F03	7.52e+05	3.20e+05	5.12e+05
F04	5.82e+04	2.30e+04	3.70e+04
F05	1.50e+03	1.39e+03	1.48e+03
F06	1.11e+02	1.03e+02	9.71e+01
F07	3.20e+03	1.94e+03	2.94e+03
F08	1.78e+03	1.31e+03	1.50e+03
F09	3.14e+04	7.68e+04	8.35e+04
F10	3.02e+04	2.73e+04	3.12e+04
F11	2.08e+05	1.37e+05	1.82e+05
F12	1.73e+11	4.40e+10	6.31e+10
F13	3.19e+10	5.42e+09	9.41e+09
F14	1.09e+07	7.47e+06	4.61e+07
F15	1.30e+10	1.14e+09	2.27e+09
F16	1.97e+04	1.04e+04	1.21e+04
F17	5.74e+03	8.08e+03	1.36e+04
F18	1.32e+07	1.43e+07	1.01e+08
F19	1.48e+10	1.22e+09	2.58e+09
F20	6.15e+03	5.03e+03	5.86e+03
F21	3.08e+03	1.86e+03	2.00e+03
F22	3.34e+04	2.98e+04	3.26e+04
F23	4.89e+03	2.34e+03	2.72e+03
F24	9.32e+03	3.50e+03	4.11e+03
F25	1.95e+04	1.02e+04	1.42e+04
F26	4.89e+04	2.16e+04	2.88e+04
F27	1.28e+04	3.08e+03	4.28e+03
F28	2.60e+04	1.43e+04	1.67e+04
F29	1.30e+04	1.13e+04	1.49e+04
F30	3.10e+10	2.13e+09	6.92e+09
Best	3	25	2

50 % de las evaluaciones

Tabla 3.5: Dimensión 10

	BB-BC	DE	PSO
F01	2.39e+09	2.00e-05	1.85e+08
F02	8.16e+06	0.00e+00	1.00e+00
F03	4.45e+04	2.81e-08	3.46e+03
F04	6.86e+01	2.36e-01	6.36e+01
F05	1.46e+02	1.15e+02	4.73e+01
F06	8.31e+01	3.47e+01	1.36e+01
F07	1.36e+02	4.38e+01	5.70e+01
F08	6.43e+01	2.98e+01	2.97e+01
F09	9.12e+01	2.09e+02	8.36e+01
F10	2.13e+03	5.31e+02	1.32e+03
F11	7.93e+02	5.90e+00	5.04e+01
F12	2.66e+05	7.66e+01	4.64e+06
F13	8.38e+03	1.11e+01	1.23e+04
F14	1.60e+03	1.54e+01	1.64e+02
F15	1.40e+04	4.37e-01	3.23e+03
F16	3.87e+02	4.56e+02	1.85e+02
F17	1.63e+02	3.12e+01	7.63e+01
F18	7.93e+03	1.67e-01	2.65e+04
F19	2.67e+04	4.60e-01	5.86e+03
F20	2.39e+02	3.84e+02	1.10e+02
F21	2.75e+02	1.92e+02	1.42e+02
F22	6.50e+02	1.02e+02	1.03e+02
F23	4.85e+02	8.12e+02	3.37e+02
F24	4.97e+02	1.00e+02	2.04e+02
F25	1.09e+03	4.04e+02	4.54e+02
F26	2.21e+03	2.71e+02	4.17e+02
F27	6.13e+02	3.90e+02	4.20e+02
F28	9.46e+02	3.52e+02	5.24e+02
F29	5.18e+02	2.51e+02	3.51e+02
F30	1.32e+07	8.05e+04	1.48e+06
Best	0	22	8

Tabla 3.6: Dimensión 30

	BB-BC	DE	PSO
F01	3.67e+10	1.79e+07	7.70e+09
F02	3.62e+25	5.44e+23	1.00e+00
F03	2.85e+05	1.37e+04	7.12e+04
F04	5.57e+03	9.42e+01	1.66e+03
F05	4.49e+02	2.20e+02	2.60e+02
F06	1.04e+02	2.14e+01	4.67e+01
F07	5.98e+02	2.52e+02	4.10e+02
F08	3.94e+02	2.09e+02	2.16e+02
F09	3.37e+03	2.78e+03	4.10e+03
F10	7.89e+03	4.42e+03	7.43e+03
F11	1.65e+04	1.12e+02	1.56e+03
F12	6.99e+09	5.64e+06	6.94e+08
F13	3.10e+04	1.51e+03	2.36e+08
F14	3.04e+06	8.11e+01	4.77e+05
F15	1.28e+04	1.14e+02	1.26e+06
F16	3.59e+03	1.51e+03	1.86e+03
F17	1.13e+03	5.82e+02	5.51e+02
F18	3.53e+06	3.29e+02	4.17e+06
F19	4.33e+05	4.63e+01	2.33e+06
F20	1.42e+03	3.11e+02	6.19e+02
F21	6.79e+02	3.50e+02	4.49e+02
F22	7.79e+03	1.18e+02	1.35e+03
F23	1.44e+03	5.52e+02	6.91e+02
F24	1.89e+03	6.21e+02	7.47e+02
F25	1.68e+03	3.90e+02	7.75e+02
F26	7.76e+03	4.90e+02	3.73e+03
F27	2.33e+03	5.15e+02	8.85e+02
F28	4.39e+03	4.37e+02	1.29e+03
F29	4.09e+03	1.17e+03	1.61e+03
F30	2.22e+07	1.57e+04	2.02e+07
Best	0	28	2

Tabla 3.7: Dimensión 50

	BB-BC	DE	PSO
F01	7.53e+10	2.17e+09	2.77e+10
F02	1.19e+37	4.83e+55	1.00e+00
F03	5.80e+05	9.97e+04	1.56e+05
F04	1.97e+04	4.73e+02	5.62e+03
F05	6.81e+02	4.20e+02	5.04e+02
F06	1.10e+02	3.05e+01	6.43e+01
F07	1.42e+03	5.14e+02	9.02e+02
F08	7.21e+02	4.28e+02	4.62e+02
F09	1.19e+04	2.76e+04	2.12e+04
F10	1.41e+04	1.15e+04	1.37e+04
F11	5.06e+04	3.58e+02	4.51e+03
F12	4.97e+10	4.92e+08	8.92e+09
F13	1.26e+10	1.17e+06	1.63e+09
F14	3.36e+05	2.68e+02	2.88e+06
F15	1.42e+08	4.14e+03	2.74e+07
F16	4.89e+03	3.28e+03	3.13e+03
F17	2.33e+03	1.99e+03	1.82e+03
F18	6.24e+07	2.09e+05	1.80e+07
F19	2.17e+05	3.56e+03	3.43e+07
F20	2.01e+03	9.67e+02	1.58e+03
F21	1.09e+03	6.43e+02	7.51e+02
F22	1.64e+04	6.64e+02	1.33e+04
F23	2.58e+03	8.76e+02	1.16e+03
F24	2.50e+03	9.11e+02	1.27e+03
F25	9.63e+03	7.40e+02	3.76e+03
F26	1.44e+04	1.48e+03	8.46e+03
F27	5.19e+03	6.95e+02	1.91e+03
F28	8.42e+03	6.62e+02	3.88e+03
F29	5.83e+03	2.48e+03	4.27e+03
F30	4.97e+08	8.86e+06	4.57e+08
Best	1	26	3

Tabla 3.8: Dimensión 100

	BB-BC	DE	PSO
F01	2.61e+11	3.27e+10	1.33e+11
F02	6.04e+124	6.15e+138	1.00e+00
F03	7.52e+05	2.69e+05	3.67e+05
F04	5.82e+04	3.95e+03	2.77e+04
F05	1.50e+03	1.04e+03	1.32e+03
F06	1.11e+02	5.46e+01	8.43e+01
F07	3.20e+03	1.39e+03	2.54e+03
F08	1.78e+03	1.05e+03	1.35e+03
F09	2.70e+04	7.18e+04	6.80e+04
F10	3.02e+04	2.63e+04	3.06e+04
F11	2.08e+05	5.86e+04	8.64e+04
F12	1.73e+11	1.05e+10	4.69e+10
F13	3.19e+10	2.98e+08	6.05e+09
F14	1.09e+07	1.17e+06	2.72e+07
F15	1.30e+10	1.15e+07	6.84e+08
F16	1.97e+04	8.95e+03	9.97e+03
F17	5.63e+03	5.87e+03	7.20e+03
F18	1.30e+07	6.53e+06	3.11e+07
F19	1.48e+10	3.44e+07	1.19e+09
F20	6.15e+03	4.26e+03	5.45e+03
F21	3.08e+03	1.35e+03	1.81e+03
F22	3.34e+04	7.25e+03	3.19e+04
F23	4.89e+03	1.65e+03	2.48e+03
F24	9.32e+03	2.04e+03	3.65e+03
F25	1.95e+04	4.07e+03	1.10e+04
F26	4.89e+04	1.47e+04	2.65e+04
F27	1.28e+04	1.41e+03	3.57e+03
F28	2.60e+04	3.67e+03	1.41e+04
F29	1.30e+04	7.58e+03	1.20e+04
F30	3.10e+10	5.22e+07	4.51e+09
Best	2	27	1

100 % de las evaluaciones

Tabla 3.9: Dimensión 10

	BB-BC	DE	PSO
F01	2.39e+09	0.00e+00	5.26e+07
F02	7.58e+06	0.00e+00	1.00e+00
F03	4.45e+04	0.00e+00	1.99e+03
F04	6.86e+01	1.11e-04	4.68e+01
F05	1.46e+02	1.15e+02	3.21e+01
F06	8.31e+01	3.46e+01	1.00e+01
F07	1.36e+02	3.85e+01	4.28e+01
F08	6.43e+01	2.98e+01	2.20e+01
F09	9.12e+01	1.94e+02	5.69e+01
F10	2.13e+03	3.60e+02	1.08e+03
F11	7.93e+02	1.94e-02	3.84e+01
F12	2.61e+05	4.93e+00	2.52e+06
F13	8.32e+03	5.99e+00	8.41e+03
F14	1.60e+03	5.24e-02	9.99e+01
F15	1.40e+04	6.06e-02	2.07e+03
F16	3.87e+02	4.56e+02	1.41e+02
F17	1.63e+02	2.35e+01	6.50e+01
F18	7.93e+03	3.63e-02	1.48e+04
F19	2.67e+04	5.19e-03	3.22e+03
F20	2.39e+02	3.84e+02	8.44e+01
F21	2.75e+02	1.89e+02	1.32e+02
F22	6.50e+02	1.00e+02	7.74e+01
F23	4.85e+02	8.10e+02	3.30e+02
F24	4.97e+02	1.00e+02	1.81e+02
F25	1.09e+03	4.04e+02	4.48e+02
F26	2.21e+03	2.71e+02	3.73e+02
F27	6.13e+02	3.90e+02	4.13e+02
F28	9.46e+02	3.52e+02	4.70e+02
F29	5.18e+02	2.38e+02	3.19e+02
F30	1.32e+07	8.05e+04	6.35e+05
Best	0	21	9

Tabla 3.10: Dimensión 30

	BB-BC	DE	PSO
F01	3.67e+10	4.91e+04	4.18e+09
F02	3.47e+25	1.31e+19	1.00e+00
F03	2.85e+05	3.48e+03	5.45e+04
F04	5.57e+03	8.43e+01	1.18e+03
F05	4.49e+02	2.01e+02	2.17e+02
F06	1.04e+02	6.32e+00	3.69e+01
F07	5.98e+02	2.33e+02	3.60e+02
F08	3.94e+02	1.89e+02	1.75e+02
F09	3.37e+03	6.53e+01	2.84e+03
F10	7.89e+03	3.76e+03	6.94e+03
F11	1.65e+04	7.96e+01	1.21e+03
F12	6.99e+09	3.26e+05	3.59e+08
F13	3.10e+04	1.54e+02	4.51e+07
F14	3.04e+06	7.10e+01	3.06e+05
F15	1.27e+04	6.26e+01	2.74e+05
F16	3.59e+03	1.32e+03	1.57e+03
F17	1.13e+03	4.81e+02	4.73e+02
F18	3.51e+06	6.12e+01	2.17e+06
F19	4.33e+05	3.57e+01	1.26e+06
F20	1.42e+03	2.75e+02	4.62e+02
F21	6.79e+02	3.25e+02	4.11e+02
F22	7.79e+03	1.00e+02	1.03e+03
F23	1.44e+03	5.35e+02	6.40e+02
F24	1.89e+03	6.06e+02	7.10e+02
F25	1.68e+03	3.87e+02	6.86e+02
F26	7.76e+03	4.04e+02	3.37e+03
F27	2.33e+03	4.93e+02	8.07e+02
F28	4.39e+03	3.94e+02	1.11e+03
F29	4.09e+03	1.03e+03	1.41e+03
F30	2.22e+07	3.66e+03	1.36e+07
Best	0	27	3

Tabla 3.11: Dimensión 50

	BB-BC	DE	PSO
F01	7.53e+10	2.04e+08	1.82e+10
F02	1.19e+37	5.16e+52	1.00e+00
F03	5.80e+05	7.60e+04	1.01e+05
F04	1.97e+04	2.32e+02	4.09e+03
F05	6.81e+02	3.98e+02	4.33e+02
F06	1.10e+02	1.18e+01	5.45e+01
F07	1.42e+03	4.78e+02	8.20e+02
F08	7.21e+02	4.07e+02	4.08e+02
F09	1.17e+04	3.76e+03	1.62e+04
F10	1.41e+04	1.13e+04	1.29e+04
F11	5.06e+04	2.17e+02	3.15e+03
F12	4.97e+10	1.38e+08	6.06e+09
F13	1.26e+10	2.73e+04	5.26e+08
F14	3.34e+05	1.68e+02	1.56e+06
F15	1.35e+08	5.09e+02	5.79e+06
F16	4.89e+03	3.05e+03	2.74e+03
F17	2.33e+03	1.83e+03	1.65e+03
F18	6.24e+07	2.42e+04	1.20e+07
F19	2.17e+05	1.32e+02	1.34e+07
F20	2.01e+03	9.38e+02	1.28e+03
F21	1.09e+03	6.18e+02	6.66e+02
F22	1.64e+04	1.71e+02	1.26e+04
F23	2.58e+03	8.43e+02	1.10e+03
F24	2.50e+03	8.85e+02	1.21e+03
F25	9.63e+03	5.67e+02	3.07e+03
F26	1.44e+04	5.75e+02	7.89e+03
F27	5.19e+03	5.77e+02	1.74e+03
F28	8.42e+03	5.01e+02	3.47e+03
F29	5.83e+03	2.22e+03	3.57e+03
F30	4.97e+08	2.39e+06	3.37e+08
Best	0	27	3

Tabla 3.12: Dimensión 100

	BB-BC	DE	PSO
F01	2.61e+11	1.03e+10	1.10e+11
F02	6.04e+124	7.02e+135	1.00e+00
F03	7.52e+05	2.28e+05	2.92e+05
F04	5.82e+04	1.49e+03	2.26e+04
F05	1.50e+03	9.97e+02	1.16e+03
F06	1.11e+02	3.60e+01	7.54e+01
F07	3.20e+03	1.18e+03	2.37e+03
F08	1.78e+03	9.97e+02	1.23e+03
F09	2.70e+04	3.09e+04	5.58e+04
F10	3.02e+04	2.60e+04	2.97e+04
F11	2.08e+05	2.78e+04	6.68e+04
F12	1.73e+11	4.40e+09	3.66e+10
F13	3.19e+10	3.04e+07	3.72e+09
F14	1.09e+07	2.13e+05	1.88e+07
F15	1.30e+10	7.51e+05	9.41e+07
F16	1.97e+04	8.58e+03	8.69e+03
F17	5.61e+03	5.53e+03	5.96e+03
F18	1.29e+07	4.45e+06	1.16e+07
F19	1.48e+10	4.17e+06	5.26e+08
F20	6.15e+03	3.94e+03	4.93e+03
F21	3.08e+03	1.26e+03	1.68e+03
F22	3.34e+04	1.98e+03	3.15e+04
F23	4.89e+03	1.55e+03	2.37e+03
F24	9.32e+03	1.90e+03	3.46e+03
F25	1.95e+04	2.28e+03	9.64e+03
F26	4.89e+04	1.36e+04	2.54e+04
F27	1.28e+04	1.11e+03	3.21e+03
F28	2.60e+04	1.69e+03	1.27e+04
F29	1.30e+04	6.96e+03	1.07e+04
F30	3.10e+10	8.92e+06	3.02e+09
Best	1	28	1

3.2. Versión 2: Centro de masas calculado como el mejor individuo

10 % de las evaluaciones

Tabla 3.13: Dimensión 10

	BB-BC	DE	PSO
F01	2.92e+05	3.14e+07	8.30e+08
F02	8.00e+00	6.05e+03	1.00e+00
F03	3.71e-01	1.39e+03	1.28e+04
F04	1.99e+00	9.80e+00	1.16e+02
F05	2.89e+01	1.17e+02	7.09e+01
F06	4.64e-01	5.06e+01	2.59e+01
F07	2.30e+01	7.78e+01	8.90e+01
F08	4.09e+01	3.08e+01	5.69e+01
F09	1.10e+03	8.09e+02	2.95e+02
F10	8.18e+02	1.37e+03	1.59e+03
F11	1.40e+02	2.45e+01	1.16e+02
F12	6.19e+05	4.77e+04	2.63e+07
F13	8.89e+03	4.17e+02	1.48e+05
F14	8.29e+01	3.50e+01	5.51e+02
F15	2.47e+04	1.50e+01	8.78e+03
F16	4.26e+02	4.62e+02	3.42e+02
F17	5.57e+01	5.31e+01	1.31e+02
F18	4.68e+04	1.13e+02	2.36e+05
F19	1.98e+02	9.46e+00	2.36e+04
F20	1.08e+02	3.91e+02	1.78e+02
F21	2.28e+02	2.09e+02	1.89e+02
F22	1.06e+02	1.14e+02	1.61e+02
F23	3.23e+02	8.28e+02	3.58e+02
F24	3.64e+02	1.11e+02	2.66e+02
F25	3.99e+02	4.12e+02	4.84e+02
F26	4.37e+02	3.28e+02	6.01e+02
F27	4.10e+02	4.01e+02	4.49e+02
F28	9.36e+02	4.10e+02	7.36e+02
F29	3.68e+02	3.25e+02	4.30e+02
F30	1.36e+04	1.23e+05	3.77e+06
Best	12	14	4

Tabla 3.14: Dimensión 30

	BB-BC	DE	PSO
F01	1.08e+06	5.81e+09	1.39e+10
F02	1.84e+09	3.90e+32	1.00e+00
F03	3.85e+04	5.87e+04	1.18e+05
F04	8.53e+01	7.58e+02	3.36e+03
F05	9.03e+01	3.51e+02	3.23e+02
F06	3.06e+01	7.81e+01	6.37e+01
F07	1.62e+02	3.29e+02	5.15e+02
F08	1.31e+02	2.82e+02	2.89e+02
F09	7.26e+03	9.91e+03	7.07e+03
F10	2.63e+03	5.59e+03	7.89e+03
F11	3.56e+02	5.10e+02	3.21e+03
F12	4.16e+06	3.39e+08	1.86e+09
F13	6.29e+04	2.22e+07	1.02e+09
F14	9.50e+03	1.32e+03	1.01e+06
F15	7.42e+04	5.93e+04	1.20e+07
F16	1.58e+03	2.01e+03	2.51e+03
F17	1.22e+03	8.71e+02	9.47e+02
F18	2.66e+05	2.43e+05	1.34e+07
F19	1.92e+05	4.29e+05	2.15e+07
F20	7.92e+02	5.70e+02	9.21e+02
F21	3.67e+02	4.05e+02	5.19e+02
F22	1.12e+02	9.19e+02	2.33e+03
F23	5.97e+02	6.29e+02	7.58e+02
F24	5.78e+02	6.87e+02	8.11e+02
F25	3.87e+02	6.30e+02	1.16e+03
F26	2.65e+03	2.09e+03	4.60e+03
F27	5.77e+02	6.23e+02	1.08e+03
F28	4.14e+02	8.20e+02	1.84e+03
F29	1.01e+03	1.61e+03	2.24e+03
F30	2.55e+05	3.83e+06	6.12e+07
Best	22	6	2

Tabla 3.15: Dimensión 50

	BB-BC	DE	PSO
F01	4.20e+06	2.53e+10	4.33e+10
F02	1.49e+22	2.37e+62	1.00e+00
F03	7.23e+04	1.41e+05	2.41e+05
F04	8.89e+01	3.86e+03	9.35e+03
F05	2.18e+02	5.86e+02	5.97e+02
F06	4.53e+01	9.23e+01	7.93e+01
F07	4.02e+02	6.94e+02	1.08e+03
F08	3.63e+02	6.14e+02	5.57e+02
F09	3.41e+04	3.54e+04	3.00e+04
F10	6.16e+03	1.22e+04	1.42e+04
F11	2.29e+02	2.91e+03	1.04e+04
F12	2.74e+07	5.93e+09	1.55e+10
F13	6.09e+05	8.60e+08	4.03e+09
F14	4.37e+04	4.35e+05	9.94e+06
F15	2.70e+05	1.84e+07	2.00e+08
F16	2.34e+03	3.92e+03	4.10e+03
F17	1.09e+03	2.39e+03	2.53e+03
F18	2.27e+05	3.77e+06	3.86e+07
F19	4.11e+05	1.82e+07	1.65e+08
F20	1.25e+03	1.33e+03	2.29e+03
F21	4.93e+02	7.45e+02	8.49e+02
F22	6.41e+03	1.33e+04	1.42e+04
F23	7.75e+02	1.10e+03	1.27e+03
F24	8.36e+02	1.10e+03	1.43e+03
F25	5.11e+02	2.47e+03	5.77e+03
F26	5.48e+03	4.38e+03	9.44e+03
F27	9.35e+02	1.29e+03	2.32e+03
F28	8.60e+02	2.70e+03	4.72e+03
F29	2.33e+03	3.61e+03	5.58e+03
F30	9.81e+06	2.03e+08	8.37e+08
Best	27	1	2

Tabla 3.16: Dimensión 100

	BB-BC	DE	PSO
F01	1.13e+07	1.05e+11	1.64e+11
F02	2.94e+76	2.11e+145	1.00e+00
F03	3.30e+05	3.20e+05	5.12e+05
F04	2.93e+02	2.30e+04	3.70e+04
F05	6.35e+02	1.39e+03	1.48e+03
F06	5.96e+01	1.03e+02	9.71e+01
F07	1.09e+03	1.94e+03	2.94e+03
F08	8.72e+02	1.31e+03	1.50e+03
F09	5.55e+04	7.68e+04	8.35e+04
F10	1.27e+04	2.73e+04	3.12e+04
F11	2.49e+03	1.37e+05	1.82e+05
F12	5.55e+07	4.40e+10	6.31e+10
F13	7.23e+05	5.42e+09	9.41e+09
F14	7.57e+05	7.47e+06	4.61e+07
F15	2.62e+05	1.14e+09	2.27e+09
F16	3.93e+03	1.04e+04	1.21e+04
F17	3.71e+03	8.08e+03	1.36e+04
F18	7.65e+05	1.43e+07	1.01e+08
F19	2.80e+06	1.22e+09	2.58e+09
F20	3.07e+03	5.03e+03	5.86e+03
F21	1.08e+03	1.86e+03	2.00e+03
F22	1.43e+04	2.98e+04	3.26e+04
F23	1.36e+03	2.34e+03	2.72e+03
F24	2.02e+03	3.50e+03	4.11e+03
F25	8.92e+02	1.02e+04	1.42e+04
F26	1.50e+04	2.16e+04	2.88e+04
F27	1.35e+03	3.08e+03	4.28e+03
F28	8.47e+02	1.43e+04	1.67e+04
F29	5.08e+03	1.13e+04	1.49e+04
F30	1.80e+07	2.13e+09	6.92e+09
Best	28	1	1

50 % de las evaluaciones

Tabla 3.17: Dimensión 10

	BB-BC	DE	PSO
F01	5.32e+03	2.00e-05	1.85e+08
F02	0.00e+00	0.00e+00	1.00e+00
F03	1.75e-02	2.81e-08	3.46e+03
F04	9.55e-03	2.36e-01	6.36e+01
F05	2.89e+01	1.15e+02	4.73e+01
F06	6.97e-02	3.47e+01	1.36e+01
F07	2.11e+01	4.38e+01	5.70e+01
F08	4.08e+01	2.98e+01	2.97e+01
F09	1.06e+03	2.09e+02	8.36e+01
F10	8.15e+02	5.31e+02	1.32e+03
F11	1.38e+02	5.90e+00	5.04e+01
F12	5.30e+04	7.66e+01	4.64e+06
F13	8.89e+03	1.11e+01	1.23e+04
F14	8.29e+01	1.54e+01	1.64e+02
F15	9.69e+03	4.37e-01	3.23e+03
F16	4.21e+02	4.56e+02	1.85e+02
F17	5.39e+01	3.12e+01	7.63e+01
F18	4.15e+04	1.67e-01	2.65e+04
F19	1.98e+02	4.60e-01	5.86e+03
F20	1.07e+02	3.84e+02	1.10e+02
F21	2.28e+02	1.92e+02	1.42e+02
F22	1.02e+02	1.02e+02	1.03e+02
F23	3.23e+02	8.12e+02	3.37e+02
F24	3.64e+02	1.00e+02	2.04e+02
F25	3.98e+02	4.04e+02	4.54e+02
F26	4.37e+02	2.71e+02	4.17e+02
F27	4.10e+02	3.90e+02	4.20e+02
F28	9.36e+02	3.52e+02	5.24e+02
F29	3.55e+02	2.51e+02	3.51e+02
F30	5.00e+03	8.05e+04	1.48e+06
Best	9	18	4

Tabla 3.18: Dimensión 30

	BB-BC	DE	PSO
F01	5.03e+04	1.79e+07	7.70e+09
F02	4.08e+06	5.44e+23	1.00e+00
F03	2.00e-01	1.37e+04	7.12e+04
F04	3.86e+00	9.42e+01	1.66e+03
F05	8.96e+01	2.20e+02	2.60e+02
F06	2.91e+01	2.14e+01	4.67e+01
F07	1.54e+02	2.52e+02	4.10e+02
F08	1.30e+02	2.09e+02	2.16e+02
F09	6.06e+03	2.78e+03	4.10e+03
F10	2.61e+03	4.42e+03	7.43e+03
F11	3.54e+02	1.12e+02	1.56e+03
F12	2.96e+05	5.64e+06	6.94e+08
F13	2.31e+04	1.51e+03	2.36e+08
F14	5.20e+03	8.11e+01	4.77e+05
F15	6.54e+04	1.14e+02	1.26e+06
F16	1.44e+03	1.51e+03	1.86e+03
F17	1.21e+03	5.82e+02	5.51e+02
F18	1.13e+05	3.29e+02	4.17e+06
F19	5.32e+04	4.63e+01	2.33e+06
F20	7.87e+02	3.11e+02	6.19e+02
F21	3.66e+02	3.50e+02	4.49e+02
F22	1.01e+02	1.18e+02	1.35e+03
F23	5.96e+02	5.52e+02	6.91e+02
F24	5.78e+02	6.21e+02	7.47e+02
F25	3.87e+02	3.90e+02	7.75e+02
F26	2.64e+03	4.90e+02	3.73e+03
F27	5.76e+02	5.15e+02	8.85e+02
F28	4.03e+02	4.37e+02	1.29e+03
F29	9.84e+02	1.17e+03	1.61e+03
F30	1.25e+05	1.57e+04	2.02e+07
Best	14	14	2

Tabla 3.19: Dimensión 50

	BB-BC	DE	PSO
F01	1.97e+05	2.17e+09	2.77e+10
F02	6.28e+15	4.83e+55	1.00e+00
F03	1.50e+00	9.97e+04	1.56e+05
F04	6.62e+01	4.73e+02	5.62e+03
F05	2.15e+02	4.20e+02	5.04e+02
F06	4.21e+01	3.05e+01	6.43e+01
F07	3.60e+02	5.14e+02	9.02e+02
F08	3.60e+02	4.28e+02	4.62e+02
F09	2.47e+04	2.76e+04	2.12e+04
F10	6.03e+03	1.15e+04	1.37e+04
F11	2.07e+02	3.58e+02	4.51e+03
F12	2.41e+06	4.92e+08	8.92e+09
F13	2.83e+05	1.17e+06	1.63e+09
F14	1.32e+04	2.68e+02	2.88e+06
F15	2.04e+05	4.14e+03	2.74e+07
F16	2.23e+03	3.28e+03	3.13e+03
F17	1.08e+03	1.99e+03	1.82e+03
F18	1.08e+05	2.09e+05	1.80e+07
F19	1.02e+05	3.56e+03	3.43e+07
F20	1.24e+03	9.67e+02	1.58e+03
F21	4.90e+02	6.43e+02	7.51e+02
F22	6.35e+03	6.64e+02	1.33e+04
F23	7.71e+02	8.76e+02	1.16e+03
F24	8.34e+02	9.11e+02	1.27e+03
F25	5.06e+02	7.40e+02	3.76e+03
F26	5.43e+03	1.48e+03	8.46e+03
F27	9.30e+02	6.95e+02	1.91e+03
F28	5.17e+02	6.62e+02	3.88e+03
F29	2.15e+03	2.48e+03	4.27e+03
F30	4.48e+06	8.86e+06	4.57e+08
Best	20	8	2

Tabla 3.20: Dimensión 100

	BB-BC	DE	PSO
F01	4.08e+05	3.27e+10	1.33e+11
F02	1.37e+69	6.15e+138	1.00e+00
F03	7.83e+04	2.69e+05	3.67e+05
F04	2.44e+02	3.95e+03	2.77e+04
F05	6.29e+02	1.04e+03	1.32e+03
F06	5.58e+01	5.46e+01	8.43e+01
F07	9.90e+02	1.39e+03	2.54e+03
F08	8.66e+02	1.05e+03	1.35e+03
F09	3.76e+04	7.18e+04	6.80e+04
F10	1.25e+04	2.63e+04	3.06e+04
F11	2.06e+03	5.86e+04	8.64e+04
F12	1.12e+07	1.05e+10	4.69e+10
F13	1.23e+05	2.98e+08	6.05e+09
F14	1.31e+05	1.17e+06	2.72e+07
F15	7.33e+04	1.15e+07	6.84e+08
F16	3.68e+03	8.95e+03	9.97e+03
F17	3.65e+03	5.87e+03	7.20e+03
F18	2.20e+05	6.53e+06	3.11e+07
F19	4.69e+05	3.44e+07	1.19e+09
F20	3.03e+03	4.26e+03	5.45e+03
F21	1.07e+03	1.35e+03	1.81e+03
F22	1.40e+04	7.25e+03	3.19e+04
F23	1.35e+03	1.65e+03	2.48e+03
F24	2.02e+03	2.04e+03	3.65e+03
F25	7.40e+02	4.07e+03	1.10e+04
F26	1.49e+04	1.47e+04	2.65e+04
F27	1.34e+03	1.41e+03	3.57e+03
F28	6.36e+02	3.67e+03	1.41e+04
F29	4.74e+03	7.58e+03	1.20e+04
F30	2.83e+06	5.22e+07	4.51e+09
Best	26	3	1

100 % de las evaluaciones

Tabla 3.21: Dimensión 10

	BB-BC	DE	PSO
F01	2.40e+03	0.00e+00	5.26e+07
F02	0.00e+00	0.00e+00	1.00e+00
F03	3.71e-03	0.00e+00	1.99e+03
F04	2.48e-04	1.11e-04	4.68e+01
F05	2.89e+01	1.15e+02	3.21e+01
F06	2.08e-02	3.46e+01	1.00e+01
F07	2.11e+01	3.85e+01	4.28e+01
F08	4.08e+01	2.98e+01	2.20e+01
F09	1.06e+03	1.94e+02	5.69e+01
F10	8.15e+02	3.60e+02	1.08e+03
F11	1.37e+02	1.94e-02	3.84e+01
F12	5.26e+04	4.93e+00	2.52e+06
F13	7.95e+03	5.99e+00	8.41e+03
F14	8.29e+01	5.24e-02	9.99e+01
F15	4.52e+03	6.06e-02	2.07e+03
F16	4.21e+02	4.56e+02	1.41e+02
F17	5.38e+01	2.35e+01	6.50e+01
F18	3.72e+04	3.63e-02	1.48e+04
F19	1.62e+02	5.19e-03	3.22e+03
F20	1.07e+02	3.84e+02	8.44e+01
F21	2.28e+02	1.89e+02	1.32e+02
F22	1.02e+02	1.00e+02	7.74e+01
F23	3.23e+02	8.10e+02	3.30e+02
F24	3.64e+02	1.00e+02	1.81e+02
F25	3.98e+02	4.04e+02	4.48e+02
F26	4.37e+02	2.71e+02	3.73e+02
F27	4.10e+02	3.90e+02	4.13e+02
F28	9.36e+02	3.52e+02	4.70e+02
F29	3.55e+02	2.38e+02	3.19e+02
F30	3.11e+03	8.05e+04	6.35e+05
Best	7	18	6

Tabla 3.22: Dimensión 30

	BB-BC	DE	PSO
F01	1.14e+04	4.91e+04	4.18e+09
F02	1.42e+06	1.31e+19	1.00e+00
F03	5.23e-02	3.48e+03	5.45e+04
F04	1.21e-01	8.43e+01	1.18e+03
F05	8.96e+01	2.01e+02	2.17e+02
F06	2.89e+01	6.32e+00	3.69e+01
F07	1.54e+02	2.33e+02	3.60e+02
F08	1.30e+02	1.89e+02	1.75e+02
F09	6.03e+03	6.53e+01	2.84e+03
F10	2.61e+03	3.76e+03	6.94e+03
F11	3.54e+02	7.96e+01	1.21e+03
F12	1.71e+05	3.26e+05	3.59e+08
F13	2.30e+04	1.54e+02	4.51e+07
F14	2.61e+03	7.10e+01	3.06e+05
F15	6.54e+04	6.26e+01	2.74e+05
F16	1.43e+03	1.32e+03	1.57e+03
F17	1.21e+03	4.81e+02	4.73e+02
F18	8.38e+04	6.12e+01	2.17e+06
F19	3.58e+04	3.57e+01	1.26e+06
F20	7.87e+02	2.75e+02	4.62e+02
F21	3.66e+02	3.25e+02	4.11e+02
F22	1.00e+02	1.00e+02	1.03e+03
F23	5.96e+02	5.35e+02	6.40e+02
F24	5.78e+02	6.06e+02	7.10e+02
F25	3.87e+02	3.87e+02	6.86e+02
F26	2.64e+03	4.04e+02	3.37e+03
F27	5.76e+02	4.93e+02	8.07e+02
F28	4.03e+02	3.94e+02	1.11e+03
F29	9.83e+02	1.03e+03	1.41e+03
F30	9.09e+04	3.66e+03	1.36e+07
Best	11	17	2

Tabla 3.23: Dimensión 50

	BB-BC	DE	PSO
F01	6.91e+04	2.04e+08	1.82e+10
F02	1.53e+15	5.16e+52	1.00e+00
F03	2.05e-01	7.60e+04	1.01e+05
F04	1.98e-01	2.32e+02	4.09e+03
F05	2.15e+02	3.98e+02	4.33e+02
F06	4.18e+01	1.18e+01	5.45e+01
F07	3.59e+02	4.78e+02	8.20e+02
F08	3.60e+02	4.07e+02	4.08e+02
F09	2.43e+04	3.76e+03	1.62e+04
F10	6.02e+03	1.13e+04	1.29e+04
F11	2.06e+02	2.17e+02	3.15e+03
F12	1.23e+06	1.38e+08	6.06e+09
F13	2.64e+05	2.73e+04	5.26e+08
F14	4.52e+03	1.68e+02	1.56e+06
F15	1.90e+05	5.09e+02	5.79e+06
F16	2.19e+03	3.05e+03	2.74e+03
F17	1.08e+03	1.83e+03	1.65e+03
F18	8.07e+04	2.42e+04	1.20e+07
F19	5.22e+04	1.32e+02	1.34e+07
F20	1.24e+03	9.38e+02	1.28e+03
F21	4.90e+02	6.18e+02	6.66e+02
F22	6.35e+03	1.71e+02	1.26e+04
F23	7.71e+02	8.43e+02	1.10e+03
F24	8.34e+02	8.85e+02	1.21e+03
F25	4.61e+02	5.67e+02	3.07e+03
F26	5.43e+03	5.75e+02	7.89e+03
F27	9.30e+02	5.77e+02	1.74e+03
F28	4.85e+02	5.01e+02	3.47e+03
F29	2.10e+03	2.22e+03	3.57e+03
F30	3.47e+06	2.39e+06	3.37e+08
Best	17	12	1

Tabla 3.24: Dimensión 100

	BB-BC	DE	PSO
F01	1.20e+05	1.03e+10	1.10e+11
F02	6.25e+68	7.02e+135	1.00e+00
F03	2.10e+04	2.28e+05	2.92e+05
F04	2.35e+02	1.49e+03	2.26e+04
F05	6.29e+02	9.97e+02	1.16e+03
F06	5.55e+01	3.60e+01	7.54e+01
F07	9.87e+02	1.18e+03	2.37e+03
F08	8.66e+02	9.97e+02	1.23e+03
F09	3.68e+04	3.09e+04	5.58e+04
F10	1.25e+04	2.60e+04	2.97e+04
F11	1.91e+03	2.78e+04	6.68e+04
F12	4.59e+06	4.40e+09	3.66e+10
F13	1.14e+05	3.04e+07	3.72e+09
F14	4.17e+04	2.13e+05	1.88e+07
F15	6.98e+04	7.51e+05	9.41e+07
F16	3.58e+03	8.58e+03	8.69e+03
F17	3.65e+03	5.53e+03	5.96e+03
F18	1.56e+05	4.45e+06	1.16e+07
F19	2.14e+05	4.17e+06	5.26e+08
F20	3.02e+03	3.94e+03	4.93e+03
F21	1.07e+03	1.26e+03	1.68e+03
F22	1.40e+04	1.98e+03	3.15e+04
F23	1.35e+03	1.55e+03	2.37e+03
F24	2.01e+03	1.90e+03	3.46e+03
F25	7.39e+02	2.28e+03	9.64e+03
F26	1.49e+04	1.36e+04	2.54e+04
F27	1.34e+03	1.11e+03	3.21e+03
F28	6.32e+02	1.69e+03	1.27e+04
F29	4.69e+03	6.96e+03	1.07e+04
F30	1.35e+06	8.92e+06	3.02e+09
Best	23	6	1

Como se puede observar, en el caso en que se utiliza la fórmula descrita en la publicación como centro de masas los resultados obtenidos por BB-BC no son buenos. Cuando el número de evaluaciones es bajo, la metaheurística es capaz de superar en rendimiento a los otros algoritmos hasta en 4/30 funciones. Al aumentar el número de evaluaciones al 50 %, este rendimiento desciende para sólomente superar a los otros algoritmos en 2/30. Finalmente, al alcanzar el 100 % de evaluaciones sólomente ocurre esto en 1/30 funciones. De las tres metaheurísticas, la que mejor funciona es DE, superando a las otras dos en más de 20 funciones para cualquier número de evaluaciones y dimensión.

Si utilizamos como centro el mejor individuo de la población, los resultados mejoran en gran medida. Aunque se observa la misma tendencia de empeoramiento con respecto a las otras metaheurísticas al aumentar el número de evaluaciones, ahora el algoritmo BB-BC obtiene mejores resultados en muchas ocasiones, superando a DE en la mayoría de los casos. Otra tendencia destacable es la capacidad de superar a los otros algoritmos en mayor medida cuanto mayor es la dimensión. En el 100 % de evaluaciones, en dimensión 10 supera a los otros algoritmos en 7 ocasiones, pero en dimensión 100 lo hace en 23 ocasiones. Por otro lado, en PSO ocurre lo contrario y empeora al aumentar la dimensión. Esto puede deberse a que DE y PSO no tengan una buena capacidad de exploración del espacio de búsqueda y converjan demasiado rápido hacia óptimos locales, y por ello no funcionen bien en dimensiones altas.

Por tanto, elegimos como implementación adecuada la versión que utiliza el mejor individuo de la población como centro de masas, y será la que utilizemos en el resto de experimentos.

4. Versión memética

Ahora combinamos la metaheurística original con la búsqueda local Solis Wets. Esta se realizará cada 10 iteraciones, de forma que se actualice el centro de masas y el algoritmo converja a una solución mejor.

10 % de las evaluaciones

Tabla 4.1: Dimensión 10				Tabla 4.2: Dimensión 30			
	BB-BC-LS	DE	PSO		BB-BC-LS	DE	PSO
F01	6.45e+03	3.14e+07	8.30e+08	F01	7.02e+04	5.81e+09	1.39e+10
F02	3.73e+02	6.05e+03	1.00e+00	F02	1.16e+15	3.90e+32	1.00e+00
F03	2.38e+00	1.39e+03	1.28e+04	F03	9.78e+04	5.87e+04	1.18e+05
F04	2.87e+00	9.80e+00	1.16e+02	F04	7.83e+01	7.58e+02	3.36e+03
F05	2.60e+01	1.17e+02	7.09e+01	F05	1.60e+02	3.51e+02	3.23e+02
F06	8.70e+00	5.06e+01	2.59e+01	F06	4.17e+01	7.81e+01	6.37e+01
F07	2.37e+01	7.78e+01	8.90e+01	F07	1.59e+02	3.29e+02	5.15e+02
F08	2.41e+01	3.08e+01	5.69e+01	F08	1.24e+02	2.82e+02	2.89e+02
F09	4.72e+02	8.09e+02	2.95e+02	F09	6.02e+03	9.91e+03	7.07e+03
F10	7.06e+02	1.37e+03	1.59e+03	F10	3.92e+03	5.59e+03	7.89e+03
F11	8.76e+01	2.45e+01	1.16e+02	F11	2.23e+02	5.10e+02	3.21e+03
F12	1.27e+06	4.77e+04	2.63e+07	F12	2.53e+06	3.39e+08	1.86e+09
F13	1.24e+04	4.17e+02	1.48e+05	F13	1.05e+05	2.22e+07	1.02e+09
F14	4.74e+03	3.50e+01	5.51e+02	F14	3.55e+04	1.32e+03	1.01e+06
F15	2.97e+04	1.50e+01	8.78e+03	F15	9.54e+04	5.93e+04	1.20e+07
F16	2.52e+02	4.62e+02	3.42e+02	F16	1.24e+03	2.01e+03	2.51e+03
F17	1.74e+02	5.31e+01	1.31e+02	F17	6.54e+02	8.71e+02	9.47e+02
F18	2.37e+04	1.13e+02	2.36e+05	F18	4.24e+05	2.43e+05	1.34e+07
F19	1.17e+04	9.46e+00	2.36e+04	F19	5.88e+05	4.29e+05	2.15e+07
F20	2.72e+02	3.91e+02	1.78e+02	F20	7.20e+02	5.70e+02	9.21e+02
F21	2.20e+02	2.09e+02	1.89e+02	F21	3.51e+02	4.05e+02	5.19e+02
F22	3.51e+02	1.14e+02	1.61e+02	F22	3.63e+03	9.19e+02	2.33e+03
F23	3.29e+02	8.28e+02	3.58e+02	F23	5.00e+02	6.29e+02	7.58e+02
F24	3.54e+02	1.11e+02	2.66e+02	F24	6.00e+02	6.87e+02	8.11e+02
F25	4.26e+02	4.12e+02	4.84e+02	F25	3.94e+02	6.30e+02	1.16e+03
F26	7.52e+02	3.28e+02	6.01e+02	F26	2.66e+03	2.09e+03	4.60e+03
F27	4.07e+02	4.01e+02	4.49e+02	F27	5.68e+02	6.23e+02	1.08e+03
F28	5.11e+02	4.10e+02	7.36e+02	F28	4.51e+02	8.20e+02	1.84e+03
F29	4.32e+02	3.25e+02	4.30e+02	F29	1.35e+03	1.61e+03	2.24e+03
F30	7.60e+05	1.23e+05	3.77e+06	F30	2.37e+06	3.83e+06	6.12e+07
Best	10	16	4	Best	21	8	1

Tabla 4.3: Dimensión 50

	BB-BC-LS	DE	PSO
F01	1.69e+05	2.53e+10	4.33e+10
F02	9.16e+38	2.37e+62	1.00e+00
F03	1.68e+05	1.41e+05	2.41e+05
F04	1.89e+02	3.86e+03	9.35e+03
F05	2.97e+02	5.86e+02	5.97e+02
F06	4.91e+01	9.23e+01	7.93e+01
F07	3.25e+02	6.94e+02	1.08e+03
F08	2.75e+02	6.14e+02	5.57e+02
F09	1.34e+04	3.54e+04	3.00e+04
F10	6.19e+03	1.22e+04	1.42e+04
F11	3.14e+02	2.91e+03	1.04e+04
F12	2.86e+07	5.93e+09	1.55e+10
F13	3.20e+05	8.60e+08	4.03e+09
F14	9.33e+04	4.35e+05	9.94e+06
F15	7.38e+04	1.84e+07	2.00e+08
F16	1.85e+03	3.92e+03	4.10e+03
F17	1.54e+03	2.39e+03	2.53e+03
F18	1.13e+06	3.77e+06	3.86e+07
F19	8.95e+05	1.82e+07	1.65e+08
F20	1.39e+03	1.33e+03	2.29e+03
F21	4.80e+02	7.45e+02	8.49e+02
F22	6.14e+03	1.33e+04	1.42e+04
F23	7.67e+02	1.10e+03	1.27e+03
F24	8.60e+02	1.10e+03	1.43e+03
F25	5.47e+02	2.47e+03	5.77e+03
F26	5.06e+03	4.38e+03	9.44e+03
F27	1.00e+03	1.29e+03	2.32e+03
F28	5.11e+02	2.70e+03	4.72e+03
F29	2.46e+03	3.61e+03	5.58e+03
F30	2.70e+07	2.03e+08	8.37e+08
Best	26	3	1

Tabla 4.4: Dimensión 100

	BB-BC-LS	DE	PSO
F01	8.57e+05	1.05e+11	1.64e+11
F02	1.04e+109	2.11e+145	1.00e+00
F03	6.62e+05	3.20e+05	5.12e+05
F04	2.86e+02	2.30e+04	3.70e+04
F05	7.92e+02	1.39e+03	1.48e+03
F06	6.61e+01	1.03e+02	9.71e+01
F07	1.15e+03	1.94e+03	2.94e+03
F08	7.65e+02	1.31e+03	1.50e+03
F09	3.96e+04	7.68e+04	8.35e+04
F10	1.34e+04	2.73e+04	3.12e+04
F11	2.70e+03	1.37e+05	1.82e+05
F12	5.66e+07	4.40e+10	6.31e+10
F13	8.98e+04	5.42e+09	9.41e+09
F14	4.11e+05	7.47e+06	4.61e+07
F15	9.47e+04	1.14e+09	2.27e+09
F16	4.42e+03	1.04e+04	1.21e+04
F17	3.15e+03	8.08e+03	1.36e+04
F18	5.51e+05	1.43e+07	1.01e+08
F19	3.17e+06	1.22e+09	2.58e+09
F20	3.37e+03	5.03e+03	5.86e+03
F21	1.04e+03	1.86e+03	2.00e+03
F22	1.45e+04	2.98e+04	3.26e+04
F23	1.50e+03	2.34e+03	2.72e+03
F24	2.23e+03	3.50e+03	4.11e+03
F25	8.62e+02	1.02e+04	1.42e+04
F26	1.45e+04	2.16e+04	2.88e+04
F27	1.19e+03	3.08e+03	4.28e+03
F28	6.75e+02	1.43e+04	1.67e+04
F29	5.43e+03	1.13e+04	1.49e+04
F30	2.33e+07	2.13e+09	6.92e+09
Best	28	1	1

50 % de las evaluaciones

Tabla 4.5: Dimensión 10

	BB-BC-LS	DE	PSO
F01	2.88e+03	2.00e-05	1.85e+08
F02	2.20e+00	0.00e+00	1.00e+00
F03	2.86e-02	2.81e-08	3.46e+03
F04	4.15e-02	2.36e-01	6.36e+01
F05	2.60e+01	1.15e+02	4.73e+01
F06	6.83e+00	3.47e+01	1.36e+01
F07	2.37e+01	4.38e+01	5.70e+01
F08	2.41e+01	2.98e+01	2.97e+01
F09	4.61e+02	2.09e+02	8.36e+01
F10	6.97e+02	5.31e+02	1.32e+03
F11	8.67e+01	5.90e+00	5.04e+01
F12	2.83e+04	7.66e+01	4.64e+06
F13	1.21e+04	1.11e+01	1.23e+04
F14	2.37e+03	1.54e+01	1.64e+02
F15	1.26e+04	4.37e-01	3.23e+03
F16	2.36e+02	4.56e+02	1.85e+02
F17	1.70e+02	3.12e+01	7.63e+01
F18	2.25e+04	1.67e-01	2.65e+04
F19	7.41e+03	4.60e-01	5.86e+03
F20	2.69e+02	3.84e+02	1.10e+02
F21	2.20e+02	1.92e+02	1.42e+02
F22	3.50e+02	1.02e+02	1.03e+02
F23	3.29e+02	8.12e+02	3.37e+02
F24	3.54e+02	1.00e+02	2.04e+02
F25	4.26e+02	4.04e+02	4.54e+02
F26	7.51e+02	2.71e+02	4.17e+02
F27	4.07e+02	3.90e+02	4.20e+02
F28	5.06e+02	3.52e+02	5.24e+02
F29	4.24e+02	2.51e+02	3.51e+02
F30	4.81e+05	8.05e+04	1.48e+06
Best	6	20	4

Tabla 4.6: Dimensión 30

	BB-BC-LS	DE	PSO
F01	6.65e+03	1.79e+07	7.70e+09
F02	3.44e+10	5.44e+23	1.00e+00
F03	3.42e+03	1.37e+04	7.12e+04
F04	5.16e+01	9.42e+01	1.66e+03
F05	1.59e+02	2.20e+02	2.60e+02
F06	3.82e+01	2.14e+01	4.67e+01
F07	1.57e+02	2.52e+02	4.10e+02
F08	1.24e+02	2.09e+02	2.16e+02
F09	5.68e+03	2.78e+03	4.10e+03
F10	3.78e+03	4.42e+03	7.43e+03
F11	1.96e+02	1.12e+02	1.56e+03
F12	7.07e+05	5.64e+06	6.94e+08
F13	1.02e+05	1.51e+03	2.36e+08
F14	6.24e+03	8.11e+01	4.77e+05
F15	9.04e+04	1.14e+02	1.26e+06
F16	1.06e+03	1.51e+03	1.86e+03
F17	6.39e+02	5.82e+02	5.51e+02
F18	1.92e+05	3.29e+02	4.17e+06
F19	9.97e+04	4.63e+01	2.33e+06
F20	7.07e+02	3.11e+02	6.19e+02
F21	3.50e+02	3.50e+02	4.49e+02
F22	3.53e+03	1.18e+02	1.35e+03
F23	4.99e+02	5.52e+02	6.91e+02
F24	5.99e+02	6.21e+02	7.47e+02
F25	3.86e+02	3.90e+02	7.75e+02
F26	2.66e+03	4.90e+02	3.73e+03
F27	5.65e+02	5.15e+02	8.85e+02
F28	3.76e+02	4.37e+02	1.29e+03
F29	1.29e+03	1.17e+03	1.61e+03
F30	3.56e+05	1.57e+04	2.02e+07
Best	14	14	2

Tabla 4.7: Dimensión 50

	BB-BC-LS	DE	PSO
F01	1.13e+04	2.17e+09	2.77e+10
F02	1.10e+23	4.83e+55	1.00e+00
F03	1.65e+03	9.97e+04	1.56e+05
F04	1.48e+02	4.73e+02	5.62e+03
F05	2.96e+02	4.20e+02	5.04e+02
F06	4.53e+01	3.05e+01	6.43e+01
F07	3.10e+02	5.14e+02	9.02e+02
F08	2.75e+02	4.28e+02	4.62e+02
F09	1.17e+04	2.76e+04	2.12e+04
F10	5.80e+03	1.15e+04	1.37e+04
F11	2.87e+02	3.58e+02	4.51e+03
F12	5.63e+06	4.92e+08	8.92e+09
F13	3.16e+05	1.17e+06	1.63e+09
F14	2.72e+04	2.68e+02	2.88e+06
F15	7.18e+04	4.14e+03	2.74e+07
F16	1.73e+03	3.28e+03	3.13e+03
F17	1.44e+03	1.99e+03	1.82e+03
F18	2.21e+05	2.09e+05	1.80e+07
F19	1.60e+05	3.56e+03	3.43e+07
F20	1.33e+03	9.67e+02	1.58e+03
F21	4.80e+02	6.43e+02	7.51e+02
F22	5.94e+03	6.64e+02	1.33e+04
F23	7.64e+02	8.76e+02	1.16e+03
F24	8.58e+02	9.11e+02	1.27e+03
F25	5.08e+02	7.40e+02	3.76e+03
F26	5.03e+03	1.48e+03	8.46e+03
F27	9.81e+02	6.95e+02	1.91e+03
F28	5.03e+02	6.62e+02	3.88e+03
F29	2.15e+03	2.48e+03	4.27e+03
F30	1.03e+07	8.86e+06	4.57e+08
Best	19	10	1

Tabla 4.8: Dimensión 100

	BB-BC-LS	DE	PSO
F01	4.59e+04	3.27e+10	1.33e+11
F02	2.04e+89	6.15e+138	1.00e+00
F03	2.79e+05	2.69e+05	3.67e+05
F04	2.39e+02	3.95e+03	2.77e+04
F05	7.91e+02	1.04e+03	1.32e+03
F06	6.23e+01	5.46e+01	8.43e+01
F07	1.08e+03	1.39e+03	2.54e+03
F08	7.64e+02	1.05e+03	1.35e+03
F09	3.44e+04	7.18e+04	6.80e+04
F10	1.24e+04	2.63e+04	3.06e+04
F11	1.67e+03	5.86e+04	8.64e+04
F12	9.31e+06	1.05e+10	4.69e+10
F13	8.88e+04	2.98e+08	6.05e+09
F14	6.46e+04	1.17e+06	2.72e+07
F15	9.23e+04	1.15e+07	6.84e+08
F16	3.99e+03	8.95e+03	9.97e+03
F17	2.89e+03	5.87e+03	7.20e+03
F18	2.12e+05	6.53e+06	3.11e+07
F19	5.08e+05	3.44e+07	1.19e+09
F20	3.14e+03	4.26e+03	5.45e+03
F21	1.04e+03	1.35e+03	1.81e+03
F22	1.34e+04	7.25e+03	3.19e+04
F23	1.50e+03	1.65e+03	2.48e+03
F24	2.21e+03	2.04e+03	3.65e+03
F25	7.57e+02	4.07e+03	1.10e+04
F26	1.45e+04	1.47e+04	2.65e+04
F27	1.14e+03	1.41e+03	3.57e+03
F28	5.56e+02	3.67e+03	1.41e+04
F29	4.61e+03	7.58e+03	1.20e+04
F30	4.13e+06	5.22e+07	4.51e+09
Best	25	4	1

100 % de las evaluaciones

Tabla 4.9: Dimensión 10

	BB-BC-LS	DE	PSO
F01	2.81e+03	0.00e+00	5.26e+07
F02	7.00e-01	0.00e+00	1.00e+00
F03	4.40e-03	0.00e+00	1.99e+03
F04	2.48e-03	1.11e-04	4.68e+01
F05	2.60e+01	1.15e+02	3.21e+01
F06	6.57e+00	3.46e+01	1.00e+01
F07	2.37e+01	3.85e+01	4.28e+01
F08	2.41e+01	2.98e+01	2.20e+01
F09	4.60e+02	1.94e+02	5.69e+01
F10	6.97e+02	3.60e+02	1.08e+03
F11	8.59e+01	1.94e-02	3.84e+01
F12	2.65e+04	4.93e+00	2.52e+06
F13	1.16e+04	5.99e+00	8.41e+03
F14	1.23e+03	5.24e-02	9.99e+01
F15	7.77e+03	6.06e-02	2.07e+03
F16	2.34e+02	4.56e+02	1.41e+02
F17	1.69e+02	2.35e+01	6.50e+01
F18	2.19e+04	3.63e-02	1.48e+04
F19	5.23e+03	5.19e-03	3.22e+03
F20	2.68e+02	3.84e+02	8.44e+01
F21	2.20e+02	1.89e+02	1.32e+02
F22	3.50e+02	1.00e+02	7.74e+01
F23	3.29e+02	8.10e+02	3.30e+02
F24	3.54e+02	1.00e+02	1.81e+02
F25	4.26e+02	4.04e+02	4.48e+02
F26	7.51e+02	2.71e+02	3.73e+02
F27	4.07e+02	3.90e+02	4.13e+02
F28	5.06e+02	3.52e+02	4.70e+02
F29	4.24e+02	2.38e+02	3.19e+02
F30	4.76e+05	8.05e+04	6.35e+05
Best	4	20	6

Tabla 4.10: Dimensión 30

	BB-BC-LS	DE	PSO
F01	5.63e+03	4.91e+04	4.18e+09
F02	1.08e+10	1.31e+19	1.00e+00
F03	7.21e-01	3.48e+03	5.45e+04
F04	4.19e+01	8.43e+01	1.18e+03
F05	1.59e+02	2.01e+02	2.17e+02
F06	3.78e+01	6.32e+00	3.69e+01
F07	1.57e+02	2.33e+02	3.60e+02
F08	1.24e+02	1.89e+02	1.75e+02
F09	5.64e+03	6.53e+01	2.84e+03
F10	3.77e+03	3.76e+03	6.94e+03
F11	1.89e+02	7.96e+01	1.21e+03
F12	3.79e+05	3.26e+05	3.59e+08
F13	1.01e+05	1.54e+02	4.51e+07
F14	3.76e+03	7.10e+01	3.06e+05
F15	8.97e+04	6.26e+01	2.74e+05
F16	1.01e+03	1.32e+03	1.57e+03
F17	6.37e+02	4.81e+02	4.73e+02
F18	1.19e+05	6.12e+01	2.17e+06
F19	4.60e+04	3.57e+01	1.26e+06
F20	7.06e+02	2.75e+02	4.62e+02
F21	3.49e+02	3.25e+02	4.11e+02
F22	3.52e+03	1.00e+02	1.03e+03
F23	4.99e+02	5.35e+02	6.40e+02
F24	5.99e+02	6.06e+02	7.10e+02
F25	3.86e+02	3.87e+02	6.86e+02
F26	2.66e+03	4.04e+02	3.37e+03
F27	5.64e+02	4.93e+02	8.07e+02
F28	3.41e+02	3.94e+02	1.11e+03
F29	1.28e+03	1.03e+03	1.41e+03
F30	2.02e+05	3.66e+03	1.36e+07
Best	11	17	2

Tabla 4.11: Dimensión 50

	BB-BC-LS	DE	PSO
F01	7.48e+03	2.04e+08	1.82e+10
F02	7.50e+21	5.16e+52	1.00e+00
F03	1.74e+00	7.60e+04	1.01e+05
F04	1.12e+02	2.32e+02	4.09e+03
F05	2.96e+02	3.98e+02	4.33e+02
F06	4.48e+01	1.18e+01	5.45e+01
F07	3.10e+02	4.78e+02	8.20e+02
F08	2.75e+02	4.07e+02	4.08e+02
F09	1.15e+04	3.76e+03	1.62e+04
F10	5.76e+03	1.13e+04	1.29e+04
F11	2.86e+02	2.17e+02	3.15e+03
F12	2.73e+06	1.38e+08	6.06e+09
F13	3.15e+05	2.73e+04	5.26e+08
F14	1.20e+04	1.68e+02	1.56e+06
F15	7.18e+04	5.09e+02	5.79e+06
F16	1.68e+03	3.05e+03	2.74e+03
F17	1.43e+03	1.83e+03	1.65e+03
F18	1.47e+05	2.42e+04	1.20e+07
F19	7.53e+04	1.32e+02	1.34e+07
F20	1.32e+03	9.38e+02	1.28e+03
F21	4.79e+02	6.18e+02	6.66e+02
F22	5.93e+03	1.71e+02	1.26e+04
F23	7.64e+02	8.43e+02	1.10e+03
F24	8.58e+02	8.85e+02	1.21e+03
F25	5.04e+02	5.67e+02	3.07e+03
F26	5.03e+03	5.75e+02	7.89e+03
F27	9.80e+02	5.77e+02	1.74e+03
F28	5.03e+02	5.01e+02	3.47e+03
F29	2.11e+03	2.22e+03	3.57e+03
F30	6.96e+06	2.39e+06	3.37e+08
Best	15	14	1

Tabla 4.12: Dimensión 100

	BB-BC-LS	DE	PSO
F01	2.54e+04	1.03e+10	1.10e+11
F02	2.57e+86	7.02e+135	1.00e+00
F03	1.34e+05	2.28e+05	2.92e+05
F04	2.33e+02	1.49e+03	2.26e+04
F05	7.90e+02	9.97e+02	1.16e+03
F06	6.17e+01	3.60e+01	7.54e+01
F07	1.08e+03	1.18e+03	2.37e+03
F08	7.64e+02	9.97e+02	1.23e+03
F09	3.37e+04	3.09e+04	5.58e+04
F10	1.23e+04	2.60e+04	2.97e+04
F11	1.62e+03	2.78e+04	6.68e+04
F12	4.70e+06	4.40e+09	3.66e+10
F13	8.88e+04	3.04e+07	3.72e+09
F14	3.79e+04	2.13e+05	1.88e+07
F15	9.20e+04	7.51e+05	9.41e+07
F16	3.90e+03	8.58e+03	8.69e+03
F17	2.87e+03	5.53e+03	5.96e+03
F18	1.44e+05	4.45e+06	1.16e+07
F19	2.35e+05	4.17e+06	5.26e+08
F20	3.11e+03	3.94e+03	4.93e+03
F21	1.04e+03	1.26e+03	1.68e+03
F22	1.33e+04	1.98e+03	3.15e+04
F23	1.50e+03	1.55e+03	2.37e+03
F24	2.21e+03	1.90e+03	3.46e+03
F25	7.45e+02	2.28e+03	9.64e+03
F26	1.45e+04	1.36e+04	2.54e+04
F27	1.13e+03	1.11e+03	3.21e+03
F28	5.43e+02	1.69e+03	1.27e+04
F29	4.50e+03	6.96e+03	1.07e+04
F30	2.08e+06	8.92e+06	3.02e+09
Best	23	6	1

Solis Wets es un tipo de búsqueda local preparada para funcionar en dominios continuos. Este es nuestro caso, ya que el valor que toman los genes puede ser cualquiera entre -100 y 100, pudiendo ser un número real. En las prácticas de la asignatura hemos utilizado un dominio discreto, por lo que aplicar la búsqueda local implementada en la práctica 1 no se puede hacer de forma directa. Solis Wets está implementado en el repositorio [1] creado por Daniel Molina, lo utilizaremos para crear la versión memética de la metaheurística.

Como se puede observar, los resultados no mejoran a los obtenidos con la versión original. En la mayoría de casos son algo peores. Esto puede deberse a que de por sí BB-BC ya realiza una fase de explotación cada vez más intensiva conforme avanza la ejecución (se va reduciendo la desviación de los puntos generados a partir del centro de masas), por lo que la búsqueda local pierde el sentido en las últimas iteraciones.

Es cierto que al inicio de la ejecución la desviación de los puntos generados respecto al centro de masas es alta y no se está realizando explotación sino exploración, pero esto es conveniente ya que primero conviene explorar el espacio de búsqueda y conocer dónde se puede encontrar la solución óptima. Por ello aplicar la búsqueda local en las primeras iteraciones tampoco tiene demasiado sentido.

5. Posibles mejoras de la metaheurística

Como hemos estudiado, BB-BC parece realizar una explotación que funciona bien, ya que con la búsqueda local no hemos observado mejoras significativas. ¿Y la exploración que realiza, es mejorable? Se nos ocurre como posible mejora modificar la metaheurística para darle más énfasis a la exploración, comprobando si se puede balancear más adecuadamente la exploración y explotación y así obtener mejores resultados.

En la última práctica de la asignatura implementamos la búsqueda multiarranque básica (BMB), que generaba un determinado número de soluciones aleatorias iniciales y optimizaba cada una de ellas con el algoritmo elegido. Podemos utilizar esta misma idea en esta metaheurística: partimos de diferentes poblaciones iniciales, aplicamos el algoritmo y nos quedamos con la mejor solución. Tomaremos $T=10$, donde T es el número de poblaciones iniciales de las que se parte.

10 % de las evaluaciones

Tabla 5.1: Dimensión 10

Tabla 5.2: Dimensión 30

	BB-BC-BMB	DE	PSO		BB-BC-BMB	DE	PSO
F01	1.79e+05	3.14e+07	8.30e+08	F01	1.23e+06	5.81e+09	1.39e+10
F02	1.62e+01	6.05e+03	1.00e+00	F02	1.12e+12	3.90e+32	1.00e+00
F03	6.81e-01	1.39e+03	1.28e+04	F03	2.74e+04	5.87e+04	1.18e+05
F04	2.35e+00	9.80e+00	1.16e+02	F04	8.26e+01	7.58e+02	3.36e+03
F05	2.50e+01	1.17e+02	7.09e+01	F05	1.59e+02	3.51e+02	3.23e+02
F06	1.16e+01	5.06e+01	2.59e+01	F06	3.46e+01	7.81e+01	6.37e+01
F07	4.12e+01	7.78e+01	8.90e+01	F07	1.70e+02	3.29e+02	5.15e+02
F08	2.29e+01	3.08e+01	5.69e+01	F08	1.52e+02	2.82e+02	2.89e+02
F09	4.59e+02	8.09e+02	2.95e+02	F09	5.40e+03	9.91e+03	7.07e+03
F10	1.01e+03	1.37e+03	1.59e+03	F10	3.54e+03	5.59e+03	7.89e+03
F11	9.54e+01	2.45e+01	1.16e+02	F11	2.56e+02	5.10e+02	3.21e+03
F12	3.30e+05	4.77e+04	2.63e+07	F12	2.07e+06	3.39e+08	1.86e+09
F13	1.62e+04	4.17e+02	1.48e+05	F13	1.46e+05	2.22e+07	1.02e+09
F14	8.43e+03	3.50e+01	5.51e+02	F14	1.23e+04	1.32e+03	1.01e+06
F15	2.11e+04	1.50e+01	8.78e+03	F15	4.32e+04	5.93e+04	1.20e+07
F16	2.19e+02	4.62e+02	3.42e+02	F16	1.16e+03	2.01e+03	2.51e+03
F17	1.49e+02	5.31e+01	1.31e+02	F17	6.55e+02	8.71e+02	9.47e+02
F18	1.54e+04	1.13e+02	2.36e+05	F18	2.04e+05	2.43e+05	1.34e+07
F19	9.85e+03	9.46e+00	2.36e+04	F19	2.38e+05	4.29e+05	2.15e+07
F20	1.70e+02	3.91e+02	1.78e+02	F20	6.09e+02	5.70e+02	9.21e+02
F21	2.29e+02	2.09e+02	1.89e+02	F21	3.37e+02	4.05e+02	5.19e+02
F22	3.49e+02	1.14e+02	1.61e+02	F22	3.29e+03	9.19e+02	2.33e+03
F23	3.20e+02	8.28e+02	3.58e+02	F23	5.01e+02	6.29e+02	7.58e+02
F24	3.24e+02	1.11e+02	2.66e+02	F24	5.46e+02	6.87e+02	8.11e+02
F25	4.34e+02	4.12e+02	4.84e+02	F25	3.94e+02	6.30e+02	1.16e+03
F26	3.98e+02	3.28e+02	6.01e+02	F26	2.92e+03	2.09e+03	4.60e+03
F27	4.04e+02	4.01e+02	4.49e+02	F27	5.71e+02	6.23e+02	1.08e+03
F28	5.60e+02	4.10e+02	7.36e+02	F28	4.15e+02	8.20e+02	1.84e+03
F29	4.01e+02	3.25e+02	4.30e+02	F29	1.35e+03	1.61e+03	2.24e+03
F30	1.06e+06	1.23e+05	3.77e+06	F30	9.31e+05	3.83e+06	6.12e+07
Best	11	16	3	Best	25	4	1

Tabla 5.3: Dimensión 50

Tabla 5.4: Dimensión 100

	BB-BC-BMB	DE	PSO		BB-BC-BMB	DE	PSO
F01	4.74e+06	2.53e+10	4.33e+10	F01	1.14e+07	1.05e+11	1.64e+11
F02	1.45e+24	2.37e+62	1.00e+00	F02	1.82e+86	2.11e+145	1.00e+00
F03	9.39e+04	1.41e+05	2.41e+05	F03	4.35e+05	3.20e+05	5.12e+05
F04	1.32e+02	3.86e+03	9.35e+03	F04	3.02e+02	2.30e+04	3.70e+04
F05	2.91e+02	5.86e+02	5.97e+02	F05	8.33e+02	1.39e+03	1.48e+03
F06	5.22e+01	9.23e+01	7.93e+01	F06	6.68e+01	1.03e+02	9.71e+01
F07	3.57e+02	6.94e+02	1.08e+03	F07	1.18e+03	1.94e+03	2.94e+03
F08	2.78e+02	6.14e+02	5.57e+02	F08	8.05e+02	1.31e+03	1.50e+03
F09	2.18e+04	3.54e+04	3.00e+04	F09	5.48e+04	7.68e+04	8.35e+04
F10	6.02e+03	1.22e+04	1.42e+04	F10	1.29e+04	2.73e+04	3.12e+04
F11	4.04e+02	2.91e+03	1.04e+04	F11	2.10e+03	1.37e+05	1.82e+05
F12	1.64e+07	5.93e+09	1.55e+10	F12	7.01e+07	4.40e+10	6.31e+10
F13	6.21e+05	8.60e+08	4.03e+09	F13	5.87e+05	5.42e+09	9.41e+09
F14	4.66e+04	4.35e+05	9.94e+06	F14	4.21e+05	7.47e+06	4.61e+07
F15	1.84e+05	1.84e+07	2.00e+08	F15	2.66e+05	1.14e+09	2.27e+09
F16	1.90e+03	3.92e+03	4.10e+03	F16	3.57e+03	1.04e+04	1.21e+04
F17	1.46e+03	2.39e+03	2.53e+03	F17	3.35e+03	8.08e+03	1.36e+04
F18	4.27e+05	3.77e+06	3.86e+07	F18	6.57e+05	1.43e+07	1.01e+08
F19	7.69e+05	1.82e+07	1.65e+08	F19	2.32e+06	1.22e+09	2.58e+09
F20	1.03e+03	1.33e+03	2.29e+03	F20	2.81e+03	5.03e+03	5.86e+03
F21	4.90e+02	7.45e+02	8.49e+02	F21	1.03e+03	1.86e+03	2.00e+03
F22	6.51e+03	1.33e+04	1.42e+04	F22	1.39e+04	2.98e+04	3.26e+04
F23	7.63e+02	1.10e+03	1.27e+03	F23	1.52e+03	2.34e+03	2.72e+03
F24	8.75e+02	1.10e+03	1.43e+03	F24	2.24e+03	3.50e+03	4.11e+03
F25	5.51e+02	2.47e+03	5.77e+03	F25	8.39e+02	1.02e+04	1.42e+04
F26	4.90e+03	4.38e+03	9.44e+03	F26	1.46e+04	2.16e+04	2.88e+04
F27	9.20e+02	1.29e+03	2.32e+03	F27	1.12e+03	3.08e+03	4.28e+03
F28	5.35e+02	2.70e+03	4.72e+03	F28	1.10e+03	1.43e+04	1.67e+04
F29	1.95e+03	3.61e+03	5.58e+03	F29	4.80e+03	1.13e+04	1.49e+04
F30	2.58e+07	2.03e+08	8.37e+08	F30	1.85e+07	2.13e+09	6.92e+09
Best	28	1	1	Best	28	1	1

50 % de las evaluaciones

Tabla 5.5: Dimensión 10

Tabla 5.6: Dimensión 30

	BB-BC-BMB	DE	PSO		BB-BC-BMB	DE	PSO
F01	1.27e+05	2.00e-05	1.85e+08	F01	8.76e+05	1.79e+07	7.70e+09
F02	0.00e+00	0.00e+00	1.00e+00	F02	4.06e+06	5.44e+23	1.00e+00
F03	5.22e-01	2.81e-08	3.46e+03	F03	1.37e+04	1.37e+04	7.12e+04
F04	1.17e+00	2.36e-01	6.36e+01	F04	5.51e+01	9.42e+01	1.66e+03
F05	1.46e+01	1.15e+02	4.73e+01	F05	1.19e+02	2.20e+02	2.60e+02
F06	5.39e-01	3.47e+01	1.36e+01	F06	2.19e+01	2.14e+01	4.67e+01
F07	2.67e+01	4.38e+01	5.70e+01	F07	1.36e+02	2.52e+02	4.10e+02
F08	1.54e+01	2.98e+01	2.97e+01	F08	9.76e+01	2.09e+02	2.16e+02
F09	2.57e+01	2.09e+02	8.36e+01	F09	2.97e+03	2.78e+03	4.10e+03
F10	6.21e+02	5.31e+02	1.32e+03	F10	2.83e+03	4.42e+03	7.43e+03
F11	4.36e+01	5.90e+00	5.04e+01	F11	1.69e+02	1.12e+02	1.56e+03
F12	8.07e+04	7.66e+01	4.64e+06	F12	5.50e+05	5.64e+06	6.94e+08
F13	2.45e+03	1.11e+01	1.23e+04	F13	9.07e+04	1.51e+03	2.36e+08
F14	5.70e+02	1.54e+01	1.64e+02	F14	4.51e+03	8.11e+01	4.77e+05
F15	4.51e+03	4.37e-01	3.23e+03	F15	3.65e+04	1.14e+02	1.26e+06
F16	8.19e+01	4.56e+02	1.85e+02	F16	6.94e+02	1.51e+03	1.86e+03
F17	4.35e+01	3.12e+01	7.63e+01	F17	3.14e+02	5.82e+02	5.51e+02
F18	7.28e+03	1.67e-01	2.65e+04	F18	9.11e+04	3.29e+02	4.17e+06
F19	6.40e+02	4.60e-01	5.86e+03	F19	1.48e+05	4.63e+01	2.33e+06
F20	8.58e+01	3.84e+02	1.10e+02	F20	4.34e+02	3.11e+02	6.19e+02
F21	2.01e+02	1.92e+02	1.42e+02	F21	3.03e+02	3.50e+02	4.49e+02
F22	1.05e+02	1.02e+02	1.03e+02	F22	2.72e+03	1.18e+02	1.35e+03
F23	3.13e+02	8.12e+02	3.37e+02	F23	4.70e+02	5.52e+02	6.91e+02
F24	2.93e+02	1.00e+02	2.04e+02	F24	5.17e+02	6.21e+02	7.47e+02
F25	3.81e+02	4.04e+02	4.54e+02	F25	3.85e+02	3.90e+02	7.75e+02
F26	3.01e+02	2.71e+02	4.17e+02	F26	2.15e+03	4.90e+02	3.73e+03
F27	3.94e+02	3.90e+02	4.20e+02	F27	5.34e+02	5.15e+02	8.85e+02
F28	4.45e+02	3.52e+02	5.24e+02	F28	3.72e+02	4.37e+02	1.29e+03
F29	2.74e+02	2.51e+02	3.51e+02	F29	8.95e+02	1.17e+03	1.61e+03
F30	4.01e+04	8.05e+04	1.48e+06	F30	3.52e+05	1.57e+04	2.02e+07
Best	11	19	1	Best	16	13	1

Tabla 5.7: Dimensión 50

Tabla 5.8: Dimensión 100

	BB-BC-BMB	DE	PSO		BB-BC-BMB	DE	PSO
F01	4.18e+06	2.17e+09	2.77e+10	F01	1.04e+07	3.27e+10	1.33e+11
F02	2.73e+22	4.83e+55	1.00e+00	F02	8.76e+76	6.15e+138	1.00e+00
F03	6.63e+04	9.97e+04	1.56e+05	F03	3.69e+05	2.69e+05	3.67e+05
F04	8.61e+01	4.73e+02	5.62e+03	F04	2.52e+02	3.95e+03	2.77e+04
F05	2.30e+02	4.20e+02	5.04e+02	F05	6.41e+02	1.04e+03	1.32e+03
F06	3.84e+01	3.05e+01	6.43e+01	F06	5.57e+01	5.46e+01	8.43e+01
F07	3.12e+02	5.14e+02	9.02e+02	F07	1.08e+03	1.39e+03	2.54e+03
F08	2.34e+02	4.28e+02	4.62e+02	F08	6.71e+02	1.05e+03	1.35e+03
F09	1.26e+04	2.76e+04	2.12e+04	F09	3.77e+04	7.18e+04	6.80e+04
F10	4.79e+03	1.15e+04	1.37e+04	F10	1.11e+04	2.63e+04	3.06e+04
F11	2.93e+02	3.58e+02	4.51e+03	F11	1.80e+03	5.86e+04	8.64e+04
F12	9.20e+06	4.92e+08	8.92e+09	F12	4.15e+07	1.05e+10	4.69e+10
F13	3.94e+05	1.17e+06	1.63e+09	F13	4.87e+05	2.98e+08	6.05e+09
F14	1.74e+04	2.68e+02	2.88e+06	F14	1.59e+05	1.17e+06	2.72e+07
F15	1.18e+05	4.14e+03	2.74e+07	F15	2.07e+05	1.15e+07	6.84e+08
F16	1.27e+03	3.28e+03	3.13e+03	F16	3.01e+03	8.95e+03	9.97e+03
F17	1.08e+03	1.99e+03	1.82e+03	F17	2.64e+03	5.87e+03	7.20e+03
F18	1.72e+05	2.09e+05	1.80e+07	F18	3.47e+05	6.53e+06	3.11e+07
F19	4.46e+05	3.56e+03	3.43e+07	F19	1.80e+06	3.44e+07	1.19e+09
F20	8.36e+02	9.67e+02	1.58e+03	F20	2.42e+03	4.26e+03	5.45e+03
F21	4.14e+02	6.43e+02	7.51e+02	F21	9.19e+02	1.35e+03	1.81e+03
F22	5.49e+03	6.64e+02	1.33e+04	F22	1.27e+04	7.25e+03	3.19e+04
F23	6.85e+02	8.76e+02	1.16e+03	F23	1.40e+03	1.65e+03	2.48e+03
F24	7.76e+02	9.11e+02	1.27e+03	F24	1.91e+03	2.04e+03	3.65e+03
F25	5.16e+02	7.40e+02	3.76e+03	F25	7.60e+02	4.07e+03	1.10e+04
F26	4.04e+03	1.48e+03	8.46e+03	F26	1.30e+04	1.47e+04	2.65e+04
F27	7.90e+02	6.95e+02	1.91e+03	F27	9.96e+02	1.41e+03	3.57e+03
F28	4.96e+02	6.62e+02	3.88e+03	F28	7.31e+02	3.67e+03	1.41e+04
F29	1.34e+03	2.48e+03	4.27e+03	F29	4.07e+03	7.58e+03	1.20e+04
F30	1.80e+07	8.86e+06	4.57e+08	F30	9.94e+06	5.22e+07	4.51e+09
Best	21	8	1	Best	26	3	1

100 % de las evaluaciones

Tabla 5.9: Dimensión 10

Tabla 5.10: Dimensión 30

	BB-BC-BMB	DE	PSO		BB-BC-BMB	DE	PSO
F01	1.18e+05	0.00e+00	5.26e+07	F01	8.15e+05	4.91e+04	4.18e+09
F02	0.00e+00	0.00e+00	1.00e+00	F02	3.55e+06	1.31e+19	1.00e+00
F03	4.40e-01	0.00e+00	1.99e+03	F03	8.65e+03	3.48e+03	5.45e+04
F04	6.91e-01	1.11e-04	4.68e+01	F04	4.88e+01	8.43e+01	1.18e+03
F05	1.22e+01	1.15e+02	3.21e+01	F05	9.63e+01	2.01e+02	2.17e+02
F06	3.18e-01	3.46e+01	1.00e+01	F06	1.90e+01	6.32e+00	3.69e+01
F07	2.27e+01	3.85e+01	4.28e+01	F07	1.27e+02	2.33e+02	3.60e+02
F08	1.05e+01	2.98e+01	2.20e+01	F08	9.57e+01	1.89e+02	1.75e+02
F09	1.03e-01	1.94e+02	5.69e+01	F09	2.37e+03	6.53e+01	2.84e+03
F10	5.75e+02	3.60e+02	1.08e+03	F10	2.52e+03	3.76e+03	6.94e+03
F11	2.79e+01	1.94e-02	3.84e+01	F11	1.50e+02	7.96e+01	1.21e+03
F12	2.65e+04	4.93e+00	2.52e+06	F12	4.78e+05	3.26e+05	3.59e+08
F13	1.47e+03	5.99e+00	8.41e+03	F13	8.35e+04	1.54e+02	4.51e+07
F14	1.35e+02	5.24e-02	9.99e+01	F14	2.43e+03	7.10e+01	3.06e+05
F15	2.14e+03	6.06e-02	2.07e+03	F15	3.23e+04	6.26e+01	2.74e+05
F16	3.56e+01	4.56e+02	1.41e+02	F16	5.85e+02	1.32e+03	1.57e+03
F17	3.63e+01	2.35e+01	6.50e+01	F17	2.54e+02	4.81e+02	4.73e+02
F18	2.72e+03	3.63e-02	1.48e+04	F18	6.27e+04	6.12e+01	2.17e+06
F19	1.97e+02	5.19e-03	3.22e+03	F19	1.13e+05	3.57e+01	1.26e+06
F20	6.97e+01	3.84e+02	8.44e+01	F20	3.23e+02	2.75e+02	4.62e+02
F21	1.78e+02	1.89e+02	1.32e+02	F21	2.84e+02	3.25e+02	4.11e+02
F22	9.58e+01	1.00e+02	7.74e+01	F22	2.52e+03	1.00e+02	1.03e+03
F23	3.12e+02	8.10e+02	3.30e+02	F23	4.49e+02	5.35e+02	6.40e+02
F24	2.67e+02	1.00e+02	1.81e+02	F24	5.05e+02	6.06e+02	7.10e+02
F25	3.81e+02	4.04e+02	4.48e+02	F25	3.85e+02	3.87e+02	6.86e+02
F26	3.01e+02	2.71e+02	3.73e+02	F26	2.13e+03	4.04e+02	3.37e+03
F27	3.93e+02	3.90e+02	4.13e+02	F27	5.26e+02	4.93e+02	8.07e+02
F28	3.74e+02	3.52e+02	4.70e+02	F28	3.51e+02	3.94e+02	1.11e+03
F29	2.66e+02	2.38e+02	3.19e+02	F29	8.31e+02	1.03e+03	1.41e+03
F30	1.07e+04	8.05e+04	6.35e+05	F30	2.99e+05	3.66e+03	1.36e+07
Best	11	18	2	Best	13	16	1

Tabla 5.11: Dimensión 50

Tabla 5.12: Dimensión 100

	BB-BC-BMB	DE	PSO		BB-BC-BMB	DE	PSO
F01	4.01e+06	2.04e+08	1.82e+10	F01	1.02e+07	1.03e+10	1.10e+11
F02	1.92e+21	5.16e+52	1.00e+00	F02	2.39e+74	7.02e+135	1.00e+00
F03	5.67e+04	7.60e+04	1.01e+05	F03	3.48e+05	2.28e+05	2.92e+05
F04	6.09e+01	2.32e+02	4.09e+03	F04	2.20e+02	1.49e+03	2.26e+04
F05	2.20e+02	3.98e+02	4.33e+02	F05	6.31e+02	9.97e+02	1.16e+03
F06	3.42e+01	1.18e+01	5.45e+01	F06	5.30e+01	3.60e+01	7.54e+01
F07	2.65e+02	4.78e+02	8.20e+02	F07	1.01e+03	1.18e+03	2.37e+03
F08	2.32e+02	4.07e+02	4.08e+02	F08	6.55e+02	9.97e+02	1.23e+03
F09	8.81e+03	3.76e+03	1.62e+04	F09	3.43e+04	3.09e+04	5.58e+04
F10	4.59e+03	1.13e+04	1.29e+04	F10	1.07e+04	2.60e+04	2.97e+04
F11	2.44e+02	2.17e+02	3.15e+03	F11	1.72e+03	2.78e+04	6.68e+04
F12	6.60e+06	1.38e+08	6.06e+09	F12	3.37e+07	4.40e+09	3.66e+10
F13	3.42e+05	2.73e+04	5.26e+08	F13	4.74e+05	3.04e+07	3.72e+09
F14	1.54e+04	1.68e+02	1.56e+06	F14	1.19e+05	2.13e+05	1.88e+07
F15	1.11e+05	5.09e+02	5.79e+06	F15	1.91e+05	7.51e+05	9.41e+07
F16	1.15e+03	3.05e+03	2.74e+03	F16	2.84e+03	8.58e+03	8.69e+03
F17	9.86e+02	1.83e+03	1.65e+03	F17	2.46e+03	5.53e+03	5.96e+03
F18	1.29e+05	2.42e+04	1.20e+07	F18	3.31e+05	4.45e+06	1.16e+07
F19	3.78e+05	1.32e+02	1.34e+07	F19	1.74e+06	4.17e+06	5.26e+08
F20	7.48e+02	9.38e+02	1.28e+03	F20	2.23e+03	3.94e+03	4.93e+03
F21	4.04e+02	6.18e+02	6.66e+02	F21	8.64e+02	1.26e+03	1.68e+03
F22	4.99e+03	1.71e+02	1.26e+04	F22	1.26e+04	1.98e+03	3.15e+04
F23	6.60e+02	8.43e+02	1.10e+03	F23	1.34e+03	1.55e+03	2.37e+03
F24	7.69e+02	8.85e+02	1.21e+03	F24	1.91e+03	1.90e+03	3.46e+03
F25	4.92e+02	5.67e+02	3.07e+03	F25	7.33e+02	2.28e+03	9.64e+03
F26	3.90e+03	5.75e+02	7.89e+03	F26	1.26e+04	1.36e+04	2.54e+04
F27	7.54e+02	5.77e+02	1.74e+03	F27	9.53e+02	1.11e+03	3.21e+03
F28	4.80e+02	5.01e+02	3.47e+03	F28	6.88e+02	1.69e+03	1.27e+04
F29	1.26e+03	2.22e+03	3.57e+03	F29	3.81e+03	6.96e+03	1.07e+04
F30	1.70e+07	2.39e+06	3.37e+08	F30	8.84e+06	8.92e+06	3.02e+09
Best	17	12	1	Best	24	5	1

Comparándola con la versión original, esta nueva versión no aporta demasiadas mejoras. Se aprecia que especialmente en la dimensión 10, se mejora en 1-3 funciones con respecto a la versión original. Pero si aumentamos la dimensión, pierde algo de rendimiento. Por ello, aunque hay cierta mejoría, no podría catalogarse como una mejora disruptiva.

Otro cambio que se podría llevar a cabo es probar con diferentes tamaños de poblaciones. En estos experimentos, para la dimensión 10 hemos tomado un tamaño de población 30, para la dimensión 30 un tamaño 50, para la 50 un tamaño 100 y para la 100 un tamaño 150. Nos pareció conveniente ir aumentando el tamaño de la población al aumentar la dimensión. En la publicación no se especifica la relación que debe existir entre dimensión y tamaño de población, así que podríamos probar con otros valores para ver si los resultados mejoran.

Otra posible mejora estaría en ajustar el descenso de la desviación típica de los puntos generados alrededor del centro de masas en cada etapa Big Bang. En la meta-heurística original, el descenso de la desviación se realiza de forma lineal al número de iteraciones (como se establece en la ecuación 0.2): puede que este descenso sea demasiado pronunciado, por lo que se podría probar a añadir un factor logarítmico de forma que la desviación descienda más lentamente:

$$x^{new} = x^c + lr/\log_2(k) \quad (5.1)$$

Donde x^c es el centro de masas, l el valor máximo que puede tomar un cromosoma, r un valor aleatorio de una distribución normal y k la iteración actual.

Referencias

- [1] Daniel Molina Cabrera. Cec'2017. <https://github.com/dmolina/cec2017real>.
- [2] Daniel Molina Cabrera. Tacolab. <https://tacolab.org/bench>.
- [3] Osman K. Erol and Ibrahim Eksin. A new optimization method: Big bang–big crunch. *Advances in Engineering Software*, 37(2):106–111, 2006.