

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)	6
2.	Big Bang - Big Crunch (Mejor individuo)	7
III	Experimentación	8
3.	Metaheurística original	8
3.1.	Versión 1: Centro de masas calculado como en la ecuación 0.1	9
3.2.	Versión 2: Centro de masas calculado como el mejor individuo	15
4.	Versión memética	22
5.	Posibles mejoras de la metaheurística	28

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.

Esta Metaheurística 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.

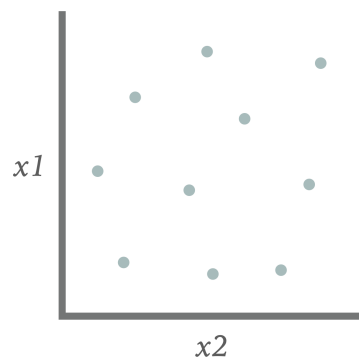


Figura 0.1: Población tras la fase Big Bang inicial

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.

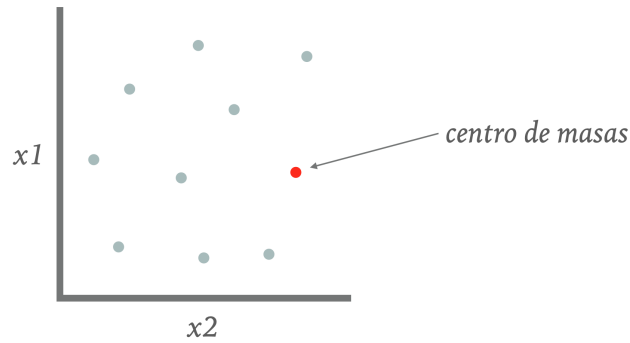


Figura 0.2: Elección del centro de masas en la fase Big Crunch

Tras la fase Big Crunch, se vuelve a producir otro Big Bang que genera nuevos individuos que reemplazan a la población anterior. En la publicación no se especifica si este reemplazo debe de ser total o parcial, así que nosotros decidimos reemplazar un 30 % de la población, manteniendo los individuos con mejor fitness y el centro de masas. 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.

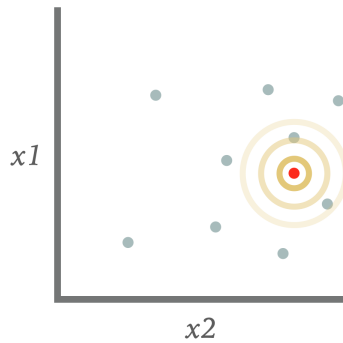


Figura 0.3: Fase Big Bang genera individuos alrededor de un centro de masas

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.

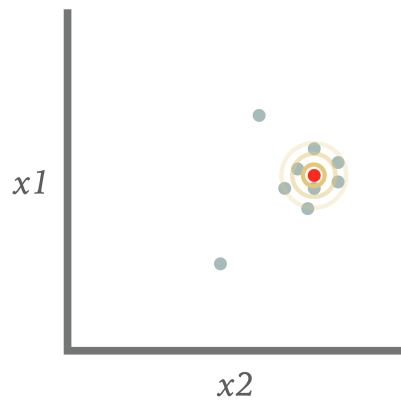


Figura 0.4: Estado tras la finalización del algoritmo

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.

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:     population += individual
10:    eval += 1
11:  end for
12:
13:  return population, eval
14: 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 ella, 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(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 = massCenterEquation(population, eval)
8:     for
9:       do
10:
11:   return
12:
```

2. Big Bang - Big Crunch (Mejor individuo)

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 resultados atípicos.

A continuación los resultados obtenidos se procesarán en TACOLab [1] 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 clasificación, parte de una población inicial donde sus individuos se cruzan y mutan simulando la evolución natural.

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.

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 sólo superar a los otros algoritmos en 2/30. Finalmente, al alcanzar el 100 % de evaluaciones sólo 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 la capacidad de exploración de BB-BC sea alta y por tanto compruebe soluciones en todo el espacio de búsqueda, o lo contrario, que las otras metaheurísticas no tengan esta capacidad de exploración.

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

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 supone una gran ayuda.

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 también de buena calidad o es mejorable? Por ello 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 de BL. Podemos utilizar esta misma idea en esta metaheurística: partimos de diferentes poblaciones iniciales, aplicamos el algoritmo y nos quedamos con la mejor solución.

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

	BB-BC-BMB	DE	PSO
F01	4.74e+06	2.53e+10	4.33e+10
F02	1.45e+24	2.37e+62	1.00e+00
F03	9.39e+04	1.41e+05	2.41e+05
F04	1.32e+02	3.86e+03	9.35e+03
F05	2.91e+02	5.86e+02	5.97e+02
F06	5.22e+01	9.23e+01	7.93e+01
F07	3.57e+02	6.94e+02	1.08e+03
F08	2.78e+02	6.14e+02	5.57e+02
F09	2.18e+04	3.54e+04	3.00e+04
F10	6.02e+03	1.22e+04	1.42e+04
F11	4.04e+02	2.91e+03	1.04e+04
F12	1.64e+07	5.93e+09	1.55e+10
F13	6.21e+05	8.60e+08	4.03e+09
F14	4.66e+04	4.35e+05	9.94e+06
F15	1.84e+05	1.84e+07	2.00e+08
F16	1.90e+03	3.92e+03	4.10e+03
F17	1.46e+03	2.39e+03	2.53e+03
F18	4.27e+05	3.77e+06	3.86e+07
F19	7.69e+05	1.82e+07	1.65e+08
F20	1.03e+03	1.33e+03	2.29e+03
F21	4.90e+02	7.45e+02	8.49e+02
F22	6.51e+03	1.33e+04	1.42e+04
F23	7.63e+02	1.10e+03	1.27e+03
F24	8.75e+02	1.10e+03	1.43e+03
F25	5.51e+02	2.47e+03	5.77e+03
F26	4.90e+03	4.38e+03	9.44e+03
F27	9.20e+02	1.29e+03	2.32e+03
F28	5.35e+02	2.70e+03	4.72e+03
F29	1.95e+03	3.61e+03	5.58e+03
F30	2.58e+07	2.03e+08	8.37e+08
Best	28	1	1

Tabla 5.4: Dimensión 100

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

	BB-BC-BMB	DE	PSO
F01	4.18e+06	2.17e+09	2.77e+10
F02	2.73e+22	4.83e+55	1.00e+00
F03	6.63e+04	9.97e+04	1.56e+05
F04	8.61e+01	4.73e+02	5.62e+03
F05	2.30e+02	4.20e+02	5.04e+02
F06	3.84e+01	3.05e+01	6.43e+01
F07	3.12e+02	5.14e+02	9.02e+02
F08	2.34e+02	4.28e+02	4.62e+02
F09	1.26e+04	2.76e+04	2.12e+04
F10	4.79e+03	1.15e+04	1.37e+04
F11	2.93e+02	3.58e+02	4.51e+03
F12	9.20e+06	4.92e+08	8.92e+09
F13	3.94e+05	1.17e+06	1.63e+09
F14	1.74e+04	2.68e+02	2.88e+06
F15	1.18e+05	4.14e+03	2.74e+07
F16	1.27e+03	3.28e+03	3.13e+03
F17	1.08e+03	1.99e+03	1.82e+03
F18	1.72e+05	2.09e+05	1.80e+07
F19	4.46e+05	3.56e+03	3.43e+07
F20	8.36e+02	9.67e+02	1.58e+03
F21	4.14e+02	6.43e+02	7.51e+02
F22	5.49e+03	6.64e+02	1.33e+04
F23	6.85e+02	8.76e+02	1.16e+03
F24	7.76e+02	9.11e+02	1.27e+03
F25	5.16e+02	7.40e+02	3.76e+03
F26	4.04e+03	1.48e+03	8.46e+03
F27	7.90e+02	6.95e+02	1.91e+03
F28	4.96e+02	6.62e+02	3.88e+03
F29	1.34e+03	2.48e+03	4.27e+03
F30	1.80e+07	8.86e+06	4.57e+08
Best	21	8	1

Tabla 5.8: Dimensión 100

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

	BB-BC-BMB	DE	PSO
F01	4.01e+06	2.04e+08	1.82e+10
F02	1.92e+21	5.16e+52	1.00e+00
F03	5.67e+04	7.60e+04	1.01e+05
F04	6.09e+01	2.32e+02	4.09e+03
F05	2.20e+02	3.98e+02	4.33e+02
F06	3.42e+01	1.18e+01	5.45e+01
F07	2.65e+02	4.78e+02	8.20e+02
F08	2.32e+02	4.07e+02	4.08e+02
F09	8.81e+03	3.76e+03	1.62e+04
F10	4.59e+03	1.13e+04	1.29e+04
F11	2.44e+02	2.17e+02	3.15e+03
F12	6.60e+06	1.38e+08	6.06e+09
F13	3.42e+05	2.73e+04	5.26e+08
F14	1.54e+04	1.68e+02	1.56e+06
F15	1.11e+05	5.09e+02	5.79e+06
F16	1.15e+03	3.05e+03	2.74e+03
F17	9.86e+02	1.83e+03	1.65e+03
F18	1.29e+05	2.42e+04	1.20e+07
F19	3.78e+05	1.32e+02	1.34e+07
F20	7.48e+02	9.38e+02	1.28e+03
F21	4.04e+02	6.18e+02	6.66e+02
F22	4.99e+03	1.71e+02	1.26e+04
F23	6.60e+02	8.43e+02	1.10e+03
F24	7.69e+02	8.85e+02	1.21e+03
F25	4.92e+02	5.67e+02	3.07e+03
F26	3.90e+03	5.75e+02	7.89e+03
F27	7.54e+02	5.77e+02	1.74e+03
F28	4.80e+02	5.01e+02	3.47e+03
F29	1.26e+03	2.22e+03	3.57e+03
F30	1.70e+07	2.39e+06	3.37e+08
Best	17	12	1

Tabla 5.12: Dimensión 100

Referencias

- [1] Daniel Molina Cabrera. Tacolab. <https://tacolab.org/bench>.