

Metaheurística
Trabajo final
Análisis y mejoras sobre YYPO

Guillermo Gómez Trenado | 77820354-S

23 de junio de 2018

Índice

1. Descripción	3
2. Motivación para el estudio	4
3. Resultados del algoritmo original	5
3.1. Resultados YYPO	5
3.2. Comparativa Tanabe10	5
3.3. Comparativa Tanabe30	6
3.4. Comparativa DE	6
3.5. Análisis de resultados	7
4. Mejoras sobre el algoritmo	7
4.1. Falta de convergencia	7
4.1.1. Resultados YYPO	8
4.1.2. Comparativa Tanabe10	8
4.1.3. Comparativa Tanabe30	9
4.1.4. Comparativa DE	9
4.1.5. Análisis de resultados	10
4.2. Differential evolution sobre el Archivo	10
4.2.1. Resultados YYPO	12
4.2.2. Comparativa Tanabe10	12
4.2.3. Comparativa Tanabe30	13
4.2.4. Comparativa DE	13
4.2.5. Análisis de los resultados	14
4.3. Estrategia multiarranque	14
4.3.1. Resultados YYPO	16
4.3.2. Comparativa Tanabe10	16
4.3.3. Comparativa Tanabe30	17
4.3.4. Comparativa DE	17

4.3.5. Análisis de los resultados	17
4.4. Mejoras descartadas	18
4.5. Análisis y conclusiones	18
5. Bibliografía	19

1. Descripción

La motivación de este algoritmo, *Ying-Yang-pair optimization*, es crear una metaheurística para funciones reales acotadas de baja complejidad, donde el mecanismo de exploración y el de explotación sea el mismo y se consiga un balance entre ambas facetas. En la literatura se refiere a este algoritmo como YYOP y YYPO indistintamente.

Para conseguir lo anterior se definen dos puntos en el mapa cada uno con un radio y mientras que el radio del primero se va reduciendo con cada iteración, el del segundo se va expandiendo; en el momento que el segundo punto encuentre un valor mejor que el primero, se intercambian posición y radio, y el que correspondía al radio y valor del punto dos pasa a ser el punto uno reduciéndose en cada iteración y viceversa. El algoritmo permite escapar de óptimos locales por dos mecanismos, el primero es mediante el segundo punto cuya función es explorar y el otro mecanismo, mediante el uso de dos etapas distintas, la etapa de separación y la de archivo. La etapa de separación sucede un número arbitrario de veces entre cada etapa de archivo, el archivo almacena el mejor valor de cada punto en cada etapa de separación y en su etapa correspondiente, selecciona los dos mejores valores, se los asigna al punto 1 y al punto 2 y vuelve a iniciar otro ciclo de I etapas de separación y una de archivo.

Por otro lado, la etapa de separación, encargada de generar $2D$ nuevos puntos en cada iteración, tiene dos modalidades con la misma probabilidad, la modalidad de separación en una dimensión y la separación en multidimensional. Aunque hablemos de radio siguiendo la terminología del *paper*, en realidad se trata de un hipercubo de lado 2δ siendo δ el radio asociado a punto, con el punto en la iteración t en el centro del hipercubo. La modalidad unidimensional genera los puntos de la siguiente manera,

$$\begin{aligned} NP_j^j &= P^j + r\delta \\ NP_{D+j}^j &= P^j - r\delta \end{aligned}$$

de todos ellos selecciona aquel con mejor ajuste. Por el contrario la forma multidimensional genera una matriz binaria B de tamaño $D \times 2D$ con probabilidad 0.5 y dependiendo del valor aplica la siguiente fórmula que se desplaza dentro un hipercubo de lado $2(\delta/\sqrt{2})$,

$$\begin{aligned} NP_j^j &= P^j + r(\delta/\sqrt{2}), \quad \text{if } B(k, j) = 1, \\ NP_{D+j}^j &= P^j - r(\delta/\sqrt{2}) \quad \text{else} \end{aligned}$$

si en cualquiera de los dos modos el punto se saliera del rango $[0, 1]$ se genera un punto aleatorio según una distribución uniforme dentro de los límites. Para evaluar cada punto hay que transformarlo a la horquilla definida por el dominio del problema. Una vez generados todos los puntos en la etapa de separación se selecciona el mejor generado, nótese que no se conserva el original, pues este está almacenado en el archivo y consigue así escapar de mínimos locales si los

alcanza de I iteraciones. El número de iteraciones I entre cada etapa de archivo es un número aleatorio entre un mínimo y un máximo.

El radio va aumentando en función de α , $\delta = \delta \mp (\delta/\alpha)$, restando para el punto 1 y sumando para el 2, así al final, con el desarrollo de las iteraciones la gráfica es algo así.

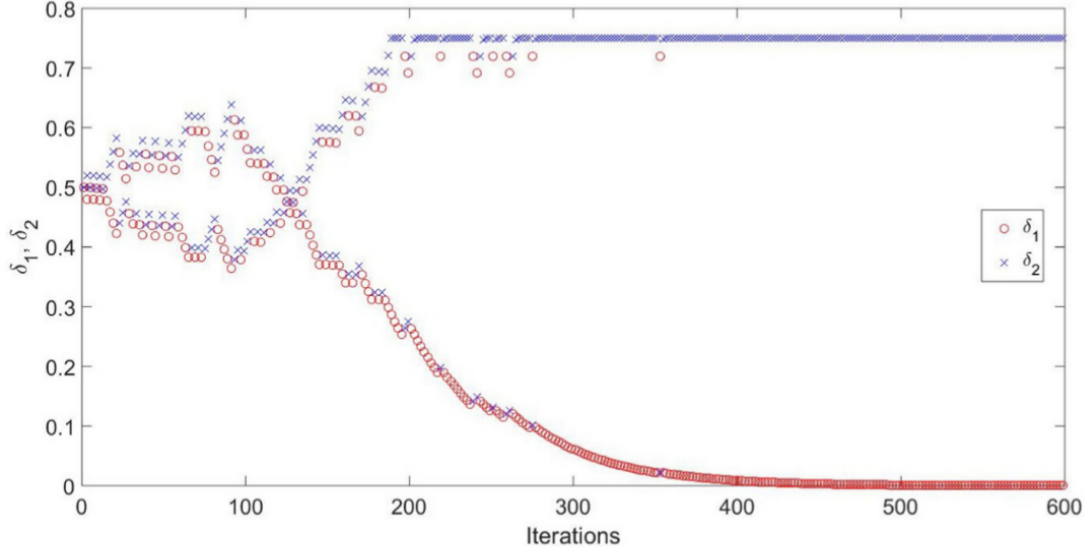


Fig. 3. Variation of δ_1 and δ_2 with iterations.

Esta no pretende ser una descripción exhaustiva ni rigurosa del algoritmo sino un acercamiento superficial para poder entender el desarrollo del trabajo. Para entender el algoritmo en profundidad acudir bien al código que adjunto o al propio trabajo de Punathanam y Kotecha.

2. Motivación para el estudio

He elegido esta metheurística porque ya en el *paper* mostraba resultados competentes sobre las funciones del CEC2013 comparado con otros algoritmos que son base para el desarrollo de MH más robustas, como el PSO o DE. Además ser un algoritmo relativamente sencillo nos permitirá experimentar con potenciales mejores con relativa facilidad.

Por lo anterior primero analizaré el comportamiento del algoritmo y después iremos realizando sucesivas mejoras hasta alcanzar un punto satisfactorio en atención a las posibilidades del algoritmo y al tiempo con el que cuento.

3. Resultados del algoritmo original

3.1. Resultados YYPO

Dimensión 10				Dimensión 30				ÓPTIMO
MEDIA	MEJOR	PEOR	ERROR	MEDIA	MEJOR	PEOR	ERROR	
5.85E+05	2.07E+04	2.83E+06	5.85E+03	1.29E+07	2.85E+06	3.73E+07	1.29E+05	1.00E+02
9.65E+04	7.03E+03	4.08E+05	4.81E+02	7.42E+05	5.31E+04	3.28E+06	3.71E+03	2.00E+02
3.55E+03	3.20E+02	9.08E+03	1.08E+01	1.61E+04	3.10E+02	5.09E+04	5.26E+01	3.00E+02
4.26E+02	4.00E+02	4.70E+02	6.49E-02	5.20E+02	4.25E+02	5.99E+02	2.99E-01	4.00E+02
5.20E+02	5.20E+02	5.20E+02	4.00E-02	5.20E+02	5.20E+02	5.20E+02	4.01E-02	5.00E+02
6.03E+02	6.01E+02	6.06E+02	5.17E-03	6.17E+02	6.10E+02	6.26E+02	2.84E-02	6.00E+02
7.00E+02	7.00E+02	7.01E+02	5.72E-04	7.01E+02	7.00E+02	7.01E+02	7.26E-04	7.00E+02
8.00E+02	8.00E+02	8.00E+02	5.44E-05	8.00E+02	8.00E+02	8.01E+02	2.11E-04	8.00E+02
9.13E+02	9.07E+02	9.21E+02	1.43E-02	1.01E+03	9.63E+02	1.05E+03	1.21E-01	9.00E+02
1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	5.11E-04	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	1.11E-03	1.00E+03
1.46E+03	1.12E+03	1.96E+03	3.25E-01	3.69E+03	2.96E+03	4.70E+03	2.36E+00	1.10E+03
1.20E+03	1.20E+03	1.20E+03	1.77E-04	1.20E+03	1.20E+03	1.20E+03	1.31E-04	1.20E+03
1.30E+03	1.30E+03	1.30E+03	2.36E-04	1.30E+03	1.30E+03	1.30E+03	4.25E-04	1.30E+03
1.40E+03	1.40E+03	1.40E+03	2.50E-04	1.40E+03	1.40E+03	1.40E+03	2.81E-04	1.40E+03
1.50E+03	1.50E+03	1.51E+03	1.79E-03	1.52E+03	1.51E+03	1.53E+03	1.17E-02	1.50E+03
1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03	1.45E-03	1.61E+03	1.61E+03	1.61E+03	6.37E-03	1.60E+03
4.31E+04	3.62E+03	1.41E+05	2.43E+01	3.00E+06	4.98E+05	6.52E+06	1.76E+03	1.70E+03
1.25E+04	1.90E+03	3.83E+04	5.95E+00	2.21E+04	6.59E+03	6.14E+04	1.13E+01	1.80E+03
1.90E+03	1.90E+03	1.90E+03	6.49E-04	1.92E+03	1.91E+03	1.99E+03	9.50E-03	1.90E+03
4.19E+03	2.00E+03	1.39E+04	1.09E+00	1.37E+04	5.81E+03	3.73E+04	5.85E+00	2.00E+03
Total			6.38E+03	Total			1.35E+05	

3.2. Comparativa Tanabe10

	CoDE	D-SHADE	EPSDE	JADE	L-SHADE	POP-aCM	SHADE11	SaDE	HyNP-IDM	MAES-IL	YYOP
F1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.55E+00	2.17E-07	0.00E+00	5.85E+05
F2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.63E+04
F3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.17E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.25E+03
F4	1.05E+01	3.08E+01	0.00E+00	2.76E+01	2.94E+01	2.82E+00	2.95E+01	1.81E+01	3.32E+00	1.44E+01	2.60E+01
F5	1.84E+01	1.77E+01	2.00E+01	1.73E+01	1.41E+01	1.81E+01	1.80E+01	1.58E+01	1.60E+01	1.47E+01	2.00E+01
F6	1.65E-06	0.00E+00	3.04E+00	1.76E-01	1.75E-02	3.31E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.10E+00
F7	3.76E-02	5.31E-03	1.76E-02	1.19E-02	3.04E-03	0.00E+00	9.78E-03	7.24E-03	4.97E-03	0.00E+00	4.00E-01
F8	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.70E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.54E-01	4.35E-02
F9	3.88E+00	3.08E+00	3.69E+00	3.51E+00	2.34E+00	3.26E-01	3.14E+00	3.58E+00	3.86E+00	9.75E-02	1.28E+01
F10	3.55E-02	4.90E-02	4.41E-02	6.12E-03	8.57E-03	9.16E+01	1.22E-02	1.96E-02	2.45E-03	1.22E+02	5.11E-01
F11	7.60E+01	5.49E+01	3.23E+02	8.37E+01	3.21E+01	1.17E+02	6.32E+01	1.96E+02	1.36E+02	8.59E+00	3.57E+02
F12	4.34E-02	5.29E-02	3.21E-01	2.50E-01	6.82E-02	1.01E-02	1.36E-01	4.35E-01	3.11E-01	6.50E-02	2.12E-01
F13	7.98E-02	4.89E-02	1.22E-01	8.40E-02	5.16E-02	1.09E-02	7.40E-02	1.25E-01	1.19E-01	9.11E-03	3.07E-01
F14	1.07E-01	9.01E-02	1.36E-01	1.11E-01	8.14E-02	2.82E-01	1.06E-01	1.86E-01	1.35E-01	1.55E-01	3.50E-01
F15	6.52E-01	4.03E-01	7.54E-01	5.78E-01	3.66E-01	5.47E-01	5.05E-01	7.90E-01	7.82E-01	7.23E-01	2.68E+00
F16	1.13E+00	1.34E+00	2.54E+00	1.65E+00	1.24E+00	2.53E+00	1.56E+00	1.97E+00	1.59E+00	1.91E+00	2.32E+00
F17	2.66E+00	3.38E+00	5.33E+01	3.09E+01	9.77E-01	3.89E+01	1.56E+00	2.83E+01	2.62E+00	2.10E+01	4.14E+04
F18	4.31E-01	4.75E-01	1.20E+00	2.39E-01	2.44E-01	3.58E+00	2.37E-01	1.65E+00	4.41E-01	5.26E-01	1.07E+04
F19	7.45E-02	2.05E-01	1.43E+00	2.55E-01	7.73E-02	8.28E-01	1.92E-01	6.69E-02	1.22E-01	7.08E-01	1.23E+00
F20	2.39E-02	2.73E-01	1.65E-01	3.24E-01	1.85E-01	1.32E+00	2.43E-01	1.08E-01	4.15E-02	8.04E-01	2.19E+03
TOTAL	1.14E+02	1.13E+02	4.10E+02	1.67E+02	8.13E+01	2.82E+02	1.18E+02	2.70E+02	1.66E+02	1.86E+02	7.39E+05

3.3. Comparativa Tanabe30

	CoDE	D-SHADE	EPSDE	JADE	L-SHADE	POP-aCM	SHADE11	SaDE	HyNPN-jDE	CMAES-IL	YYOP
F1	2.63E+04	5.04E-03	2.42E+04	4.48E+02	0.00E+00	0.00E+00	4.81E+02	2.99E+05	4.65E+04	0.00E+00	1.29E+07
F2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.41E+05
F3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.63E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.43E+01	0.00E+00	0.00E+00	1.58E+04
F4	2.52E+00	5.03E-09	3.21E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.72E+01	2.04E+00	0.00E+00	1.20E+02
F5	2.01E+01	2.00E+01	2.03E+01	2.03E+01	2.01E+01	2.05E+01	2.01E+01	2.05E+01	2.03E+01	2.00E+01	2.01E+01
F6	1.99E+00	5.92E-02	1.89E+01	9.42E+00	1.38E-07	7.14E-01	5.29E-01	5.46E+00	1.20E+00	4.00E-03	1.71E+01
F7	1.45E-04	0.00E+00	2.08E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.83E-04	1.23E-02	0.00E+00	0.00E+00	5.09E-01
F8	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.98E+00	0.00E+00	7.80E-02	0.00E+00	2.42E+00	1.68E-01
F9	4.04E+01	8.70E+00	4.44E+01	2.62E+01	6.78E+00	3.24E+00	1.58E+01	3.81E+01	3.39E+01	2.57E+00	1.09E+02
F10	5.00E-01	3.51E-02	2.01E-01	5.31E-03	1.63E-02	6.36E+02	1.27E-02	2.69E-01	4.08E-03	1.45E+02	1.11E+00
F11	1.95E+03	1.30E+03	3.56E+03	1.64E+03	1.23E+03	7.31E+02	1.40E+03	3.15E+03	1.95E+03	7.38E+01	2.59E+03
F12	6.00E-02	9.67E-02	5.25E-01	2.71E-01	1.61E-01	1.32E-02	1.62E-01	7.94E-01	3.62E-01	2.83E-02	1.57E-01
F13	2.31E-01	1.34E-01	2.43E-01	2.20E-01	1.24E-01	3.89E-02	2.04E-01	2.52E-01	2.53E-01	2.95E-02	5.53E-01
F14	2.39E-01	2.32E-01	2.78E-01	2.34E-01	2.42E-01	3.28E-01	2.25E-01	2.29E-01	2.66E-01	1.70E-01	3.93E-01
F15	3.18E+00	1.89E+00	5.67E+00	3.10E+00	2.15E+00	2.14E+00	2.56E+00	4.14E+00	4.76E+00	2.51E+00	1.76E+01
F16	9.26E+00	8.52E+00	1.11E+01	9.37E+00	8.50E+00	1.06E+01	9.15E+00	1.09E+01	9.22E+00	1.09E+01	1.02E+01
F17	1.45E+03	2.10E+02	4.61E+04	9.67E+03	1.88E+02	8.52E+02	1.06E+03	1.15E+04	9.58E+02	1.05E+03	3.00E+06
F18	1.34E+01	1.04E+01	3.32E+02	3.58E+02	5.91E+00	1.15E+02	4.99E+01	4.44E+02	2.10E+01	9.61E+01	2.03E+04
F19	2.70E+00	3.53E+00	1.33E+01	4.44E+00	3.68E+00	5.70E+00	4.31E+00	4.00E+00	3.91E+00	6.46E+00	1.81E+01
F20	1.09E+01	4.20E+00	5.00E+01	2.89E+03	3.08E+00	2.40E+01	1.26E+01	1.25E+02	8.53E+00	3.35E+01	1.17E+04
	2.98E+04	1.57E+03	7.43E+04	1.51E+04	1.47E+03	2.41E+03	3.05E+03	3.14E+05	4.95E+04	1.44E+03	1.67E+07

3.4. Comparativa DE

	D10			D30		
	DE-BIN	DE-Exp	YYOP	DE-BIN	DE-Exp	YYOP
F1	0.00E+00	0.00E+00	5.85E+05	8.87E+04	2.95E+05	1.29E+07
F2	0.00E+00	0.00E+00	9.63E+04	0.00E+00	0.00E+00	7.41E+05
F3	0.00E+00	0.00E+00	3.25E+03	0.00E+00	0.00E+00	1.58E+04
F4	2.16E+01	2.19E+01	2.60E+01	6.13E+00	3.30E+01	1.20E+02
F5	2.02E+01	2.01E+01	2.00E+01	2.09E+01	2.04E+01	2.01E+01
F6	5.84E-01	1.84E-01	3.10E+00	3.74E+00	1.76E+01	1.71E+01
F7	3.66E-02	3.58E-02	4.00E-01	1.90E-03	0.00E+00	5.09E-01
F8	4.35E+00	3.98E-02	4.35E-02	1.39E+01	0.00E+00	1.68E-01
F9	1.20E+01	8.79E+00	1.28E+01	1.34E+02	8.17E+01	1.09E+02
F10	5.20E+01	1.15E+01	5.11E-01	4.87E+02	4.96E+00	1.11E+00
F11	4.44E+02	5.55E+02	3.57E+02	6.11E+03	3.76E+03	2.59E+03
F12	4.26E-01	4.39E-01	2.12E-01	2.45E+00	6.60E-01	1.57E-01
F13	1.14E-01	1.12E-01	3.07E-01	3.00E-01	3.78E-01	5.53E-01
F14	1.76E-01	1.63E-01	3.50E-01	3.06E-01	3.00E-01	3.93E-01
F15	1.77E+00	1.24E+00	2.68E+00	1.45E+01	8.69E+00	1.76E+01
F16	2.34E+00	2.35E+00	2.32E+00	1.23E+01	1.09E+01	1.02E+01
F17	1.64E+01	8.49E+00	4.14E+04	3.27E+03	2.24E+03	3.00E+06
F18	5.40E-01	5.54E-01	1.07E+04	1.79E+01	4.21E+01	2.03E+04
F19	3.11E-01	4.53E-01	1.23E+00	3.99E+00	6.23E+00	1.81E+01
F20	2.04E-01	6.60E-02	2.19E+03	1.36E+01	2.66E+01	1.17E+04
TOTAL	5.77E+02	6.32E+02	7.39E+05	9.88E+04	3.01E+05	1.67E+07

3.5. Análisis de resultados

Como vemos los resultados no podrían ser menos prometedores, y este es el resultado para los mejores parámetros evaluados —para las dos dimensionalidades distintas—. Durante los siguientes apartados iremos analizando por qué sucede esto y aplicando mejores que obtengan mejores resultados.

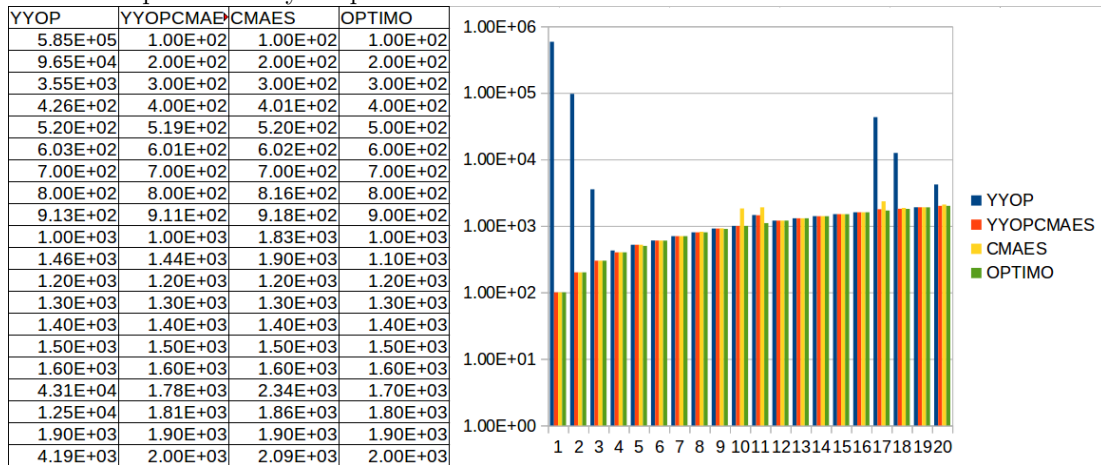
4. Mejoras sobre el algoritmo

La idea para realizar las mejoras es ir realizando actuaciones sucesivas que no deteriores en resultado de la mejora anterior, y siempre tomando la que a mi juicio es la más gravosa.

4.1. Falta de convergencia

Este algoritmo tiene una capacidad extraordinaria para explorar el mapa pero en espacios con tantísima dimensionalidad y mínimos locales tiene problemas para converger y aplicar una intensificación exitosa que estabilice el punto 1, por lo tanto la primer mejores que vamos a aplicar es realizar una búsqueda local con el 10 % de las evaluaciones para obtener un punto 1 satisfactorio. Esta conclusión la extraje analizando el número de cambios entre el punto uno y el dos, cuando el punto explorador encuentra una solución mejor que el punto uno y se intercambian. Probé también a aplicar la búsqueda local tras la aplicación del YYPO pero los resultados no eran tan buenos, confirmando mi hipótesis de que el algoritmo estaba teniendo dificultades para hayar satisfactoriamente mínimo interesantes debido a la irregularidad del espacio solución.

La búsqueda local que mejor resultado ha dado ha sido CMAES con el rango de exploración 0,1. Aquí una comparativa ilustrativa para YYOP, YYOP-CMAES, CMAES solo —asignándole como máximo el número máximo de evaluaciones del problema— y el óptimo.



Como se puede observar, la falta de convergencia en varias de las funciones del CEC2014 se ha podido solucionar significativamente, y la aplicación de YYOP mejora de forma consistente los resultados de CMAES aplicado de forma aislada. Aunque vemos que CMAES por sí solo es capaz de superar los resultados de YYPO sin modificaciones.

4.1.1. Resultados YYPO

Dimensión 10				Dimensión 30				ÓPTIMO
MEDIA	MEJOR	PEOR	ERROR	MEDIA	MEJOR	PEOR	ERROR	
1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	0.00E+00	1.86E+03	1.72E+02	8.47E+03	1.76E+03	1.00E+02
2.00E+02	2.00E+02	2.00E+02	0.00E+00	2.00E+02	2.00E+02	2.00E+02	0.00E+00	2.00E+02
3.00E+02	3.00E+02	3.00E+02	0.00E+00	3.00E+02	3.00E+02	3.00E+02	0.00E+00	3.00E+02
4.00E+02	4.00E+02	4.04E+02	3.19E-01	4.07E+02	4.05E+02	4.12E+02	7.33E+00	4.00E+02
5.19E+02	5.06E+02	5.20E+02	1.95E+01	5.20E+02	5.20E+02	5.20E+02	2.02E+01	5.00E+02
6.01E+02	6.00E+02	6.04E+02	1.21E+00	6.04E+02	6.00E+02	6.12E+02	3.77E+00	6.00E+02
7.00E+02	7.00E+02	7.00E+02	9.50E-03	7.00E+02	7.00E+02	7.00E+02	1.30E-03	7.00E+02
8.00E+02	8.00E+02	8.00E+02	3.69E-02	8.00E+02	8.00E+02	8.00E+02	9.64E-02	8.00E+02
9.11E+02	9.04E+02	9.17E+02	1.11E+01	9.51E+02	9.38E+02	9.80E+02	5.13E+01	9.00E+02
1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	2.75E-01	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	1.07E+00	1.00E+03
1.44E+03	1.11E+03	1.96E+03	3.44E+02	3.37E+03	2.35E+03	4.59E+03	2.27E+03	1.10E+03
1.20E+03	1.20E+03	1.20E+03	1.43E-01	1.20E+03	1.20E+03	1.20E+03	1.64E-01	1.20E+03
1.30E+03	1.30E+03	1.30E+03	1.12E-01	1.30E+03	1.30E+03	1.30E+03	2.65E-01	1.30E+03
1.40E+03	1.40E+03	1.40E+03	2.55E-01	1.40E+03	1.40E+03	1.40E+03	4.36E-01	1.40E+03
1.50E+03	1.50E+03	1.50E+03	9.65E-01	1.50E+03	1.50E+03	1.50E+03	3.53E+00	1.50E+03
1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03	2.25E+00	1.61E+03	1.61E+03	1.61E+03	1.01E+01	1.60E+03
1.78E+03	1.70E+03	1.91E+03	7.79E+01	3.07E+03	2.21E+03	3.77E+03	1.37E+03	1.70E+03
1.81E+03	1.80E+03	1.82E+03	8.45E+00	1.89E+03	1.83E+03	1.96E+03	8.89E+01	1.80E+03
1.90E+03	1.90E+03	1.90E+03	1.10E+00	1.91E+03	1.91E+03	1.92E+03	1.40E+01	1.90E+03
2.00E+03	2.00E+03	2.01E+03	2.33E+00	2.05E+03	2.02E+03	2.13E+03	5.15E+01	2.00E+03
Total			4.70E+02	Total			5.65E+03	

4.1.2. Comparativa Tanabe10

	CoDE	D-SHADE	EPSDE	JADE	L-SHADE	POP-aCM	SHADE11	SaDE	HyNP-jDE	CMAES-IL*	YYOP
F1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.55E+00	2.17E-07	0.00E+00	0.00E+00
F2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.17E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F4	1.05E+01	3.08E+01	0.00E+00	2.76E+01	2.94E+01	2.82E+00	2.95E+01	1.81E+01	3.32E+00	1.44E+01	3.19E-01
F5	1.84E+01	1.77E+01	2.00E+01	1.73E+01	1.41E+01	1.81E+01	1.80E+01	1.58E+01	1.60E+01	1.47E+01	1.95E+01
F6	1.65E-06	0.00E+00	3.04E+00	1.76E-01	1.75E-02	3.31E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.21E+00
F7	3.76E-02	5.31E-03	1.76E-02	1.19E-02	3.04E-03	0.00E+00	9.78E-03	7.24E-03	4.97E-03	0.00E+00	9.50E-03
F8	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.70E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.54E-01	3.69E-02
F9	3.88E+00	3.08E+00	3.69E+00	3.51E+00	2.34E+00	3.26E-01	3.14E+00	3.58E+00	3.86E+00	9.75E-02	1.11E+01
F10	3.55E-02	4.90E-02	4.41E-02	6.12E-03	8.57E-03	9.16E+01	1.22E-02	1.96E-02	2.45E-03	1.22E+02	2.75E-01
F11	7.60E+01	5.49E+01	3.23E+02	8.37E+01	3.21E+01	1.17E+02	6.32E+01	1.96E+02	1.36E+02	8.59E+00	3.44E+02
F12	4.34E-02	5.29E-02	3.21E-01	2.50E-01	6.82E-02	1.01E-02	1.36E-01	4.35E-01	3.11E-01	6.50E-02	1.43E-01
F13	7.98E-02	4.89E-02	1.22E-01	8.40E-02	5.16E-02	1.09E-02	7.40E-02	1.25E-01	1.19E-01	9.11E-03	1.12E-01
F14	1.07E-01	9.01E-02	1.36E-01	1.11E-01	8.14E-02	2.82E-01	1.06E-01	1.86E-01	1.35E-01	1.55E-01	2.55E-01
F15	6.52E-01	4.03E-01	7.54E-01	5.78E-01	3.66E-01	5.47E-01	5.05E-01	7.90E-01	7.82E-01	7.23E-01	9.65E-01
F16	1.13E+00	1.34E+00	2.54E+00	1.65E+00	1.24E+00	2.53E+00	1.56E+00	1.97E+00	1.59E+00	1.91E+00	2.25E+00
F17	2.66E+00	3.38E+00	5.33E+01	3.09E+01	9.77E-01	3.89E+01	1.56E+00	2.83E+01	2.62E+00	2.10E+01	7.79E+01
F18	4.31E-01	4.75E-01	1.20E+00	2.39E-01	2.44E-01	3.58E+00	2.37E-01	1.65E+00	4.41E-01	5.26E-01	8.45E+00
F19	7.45E-02	2.05E-01	1.43E+00	2.55E-01	7.73E-02	8.28E-01	1.92E-01	6.69E-02	1.22E-01	7.08E-01	1.10E+00
F20	2.39E-02	2.73E-01	1.65E-01	3.24E-01	1.85E-01	1.32E+00	2.43E-01	1.08E-01	4.15E-02	8.04E-01	2.33E+00
TOTAL	1.14E+02	1.13E+02	4.10E+02	1.67E+02	8.13E+01	2.82E+02	1.18E+02	2.70E+02	1.66E+02	1.86E+02	4.70E+02

4.1.3. Comparativa Tanabe30

	CoDE	D-SHADE	EPSDE	JADE	L-SHADE	POP-aCM	SHADE11	SaDE	dynNP-jDE	MAES-IL	YYOP
F1	2.63E+04	5.04E-03	2.42E+04	4.48E+02	0.00E+00	0.00E+00	4.81E+02	2.99E+05	4.65E+04	0.00E+00	1.76E+03
F2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.63E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.43E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F4	2.52E+00	5.03E-09	3.21E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.72E+01	2.04E+00	0.00E+00	7.33E+00
F5	2.01E+01	2.00E+01	2.03E+01	2.03E+01	2.01E+01	2.05E+01	2.01E+01	2.05E+01	2.03E+01	2.00E+01	2.02E+01
F6	1.99E+00	5.92E-02	1.89E+01	9.42E+00	1.38E-07	7.14E-01	5.29E-01	5.46E+00	1.20E+00	4.00E-03	3.77E+00
F7	1.45E-04	0.00E+00	2.08E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.83E-04	1.23E-02	0.00E+00	0.00E+00	1.30E-03
F8	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.98E+00	0.00E+00	7.80E-02	0.00E+00	2.42E+00	9.64E-02
F9	4.04E+01	8.70E+00	4.44E+01	2.62E+01	6.78E+00	3.24E+00	1.58E+01	3.81E+01	3.39E+01	2.57E+00	5.13E+01
F10	5.00E-01	3.51E-02	2.01E-01	5.31E-03	1.63E-02	6.36E+02	1.27E-02	2.69E-01	4.08E-03	1.45E+02	1.07E+00
F11	1.95E+03	1.30E+03	3.56E+03	1.64E+03	1.23E+03	7.31E+02	1.40E+03	3.15E+03	1.95E+03	7.38E+01	2.27E+03
F12	6.00E-02	9.67E-02	5.25E-01	2.71E-01	1.61E-01	1.32E-02	1.62E-01	7.94E-01	3.62E-01	2.83E-02	1.64E-01
F13	2.31E-01	1.34E-01	2.43E-01	2.20E-01	1.24E-01	3.89E-02	2.04E-01	2.52E-01	2.53E-01	2.95E-02	2.65E-01
F14	2.39E-01	2.32E-01	2.78E-01	2.34E-01	2.42E-01	3.28E-01	2.25E-01	2.29E-01	2.66E-01	1.70E-01	4.36E-01
F15	3.18E+00	1.89E+00	5.67E+00	3.10E+00	2.15E+00	2.14E+00	2.56E+00	4.14E+00	4.76E+00	2.51E+00	3.53E+00
F16	9.26E+00	8.52E+00	1.11E+01	9.37E+00	8.50E+00	1.06E+01	9.15E+00	1.09E+01	9.22E+00	1.09E+01	1.01E+01
F17	1.45E+03	2.10E+02	4.61E+04	9.67E+03	1.88E+02	8.52E+02	1.06E+03	1.15E+04	9.58E+02	1.05E+03	1.37E+03
F18	1.34E+01	1.04E+01	3.32E+02	3.58E+02	5.91E+00	1.15E+02	4.99E+01	4.44E+02	2.10E+01	9.61E+01	8.89E+01
F19	2.70E+00	3.53E+00	1.33E+01	4.44E+00	3.68E+00	5.70E+00	4.31E+00	4.00E+00	3.91E+00	6.46E+00	1.40E+01
F20	1.09E+01	4.20E+00	5.00E+01	2.89E+03	3.08E+00	2.40E+01	1.26E+01	1.25E+02	8.53E+00	3.35E+01	5.15E+01
	2.98E+04	1.57E+03	7.43E+04	1.51E+04	1.47E+03	2.41E+03	3.05E+03	3.14E+05	4.95E+04	1.44E+03	5.65E+03

4.1.4. Comparativa DE

	D10			D30		
	DE-BIN	DE-Exp	YYOP	DE-BIN	DE-Exp	YYOP
F1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.87E+04	2.95E+05	1.76E+03
F2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F4	2.16E+01	2.19E+01	3.19E-01	6.13E+00	3.30E+01	7.33E+00
F5	2.02E+01	2.01E+01	1.95E+01	2.09E+01	2.04E+01	2.02E+01
F6	5.84E-01	1.84E-01	1.21E+00	3.74E+00	1.76E+01	3.77E+00
F7	3.66E-02	3.58E-02	9.50E-03	1.90E-03	0.00E+00	1.30E-03
F8	4.35E+00	3.98E-02	3.69E-02	1.39E+01	0.00E+00	9.64E-02
F9	1.20E+01	8.79E+00	1.11E+01	1.34E+02	8.17E+01	5.13E+01
F10	5.20E+01	1.15E+01	2.75E-01	4.87E+02	4.96E+00	1.07E+00
F11	4.44E+02	5.55E+02	3.44E+02	6.11E+03	3.76E+03	2.27E+03
F12	4.26E-01	4.39E-01	1.43E-01	2.45E+00	6.60E-01	1.64E-01
F13	1.14E-01	1.12E-01	1.12E-01	3.00E-01	3.78E-01	2.65E-01
F14	1.76E-01	1.63E-01	2.55E-01	3.06E-01	3.00E-01	4.36E-01
F15	1.77E+00	1.24E+00	9.65E-01	1.45E+01	8.69E+00	3.53E+00
F16	2.34E+00	2.35E+00	2.25E+00	1.23E+01	1.09E+01	1.01E+01
F17	1.64E+01	8.49E+00	7.79E+01	3.27E+03	2.24E+03	1.37E+03
F18	5.40E-01	5.54E-01	8.45E+00	1.79E+01	4.21E+01	8.89E+01
F19	3.11E-01	4.53E-01	1.10E+00	3.99E+00	6.23E+00	1.40E+01
F20	2.04E-01	6.60E-02	2.33E+00	1.36E+01	2.66E+01	5.15E+01
TOTAL	5.77E+02	6.32E+02	4.70E+02	9.88E+04	3.01E+05	5.65E+03

4.1.5. Análisis de resultados

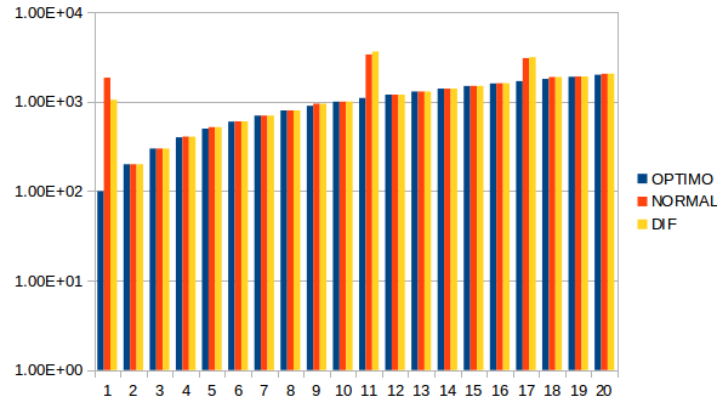
Vemos como el uso de la búsqueda local ha mejorado significativamente los resultados, aunque seguimos siendo los últimos para $D = 10$ en la comparativa de Tanabe, hemos conseguido abandonar la última posición para $D = 30$ con unos resultados mediocres pero mejores; y hemos conseguido superar ya el rendimiento global de Differential Evolution en sus dos modalidades. Parece que estamos en la senda correcta. Sin duda la mayor parte del mérito es de CMAES que por sus características tiene una componente de exploración que nos permite arrancar de una muy buena solución inicial, consistentemente mejor que el resultado que pueda alcanzar YYOP por sí solo.

4.2. Differential evolution sobre el Archivo

Para intentar aplicar una estrategia de generación de soluciones más exitosa apliqué una etapa de cruce justo antes de cada etapa de archivo, forzando los cruces exclusivamente entre los puntos del archivo correspondientes al punto uno y aquellos del punto 2. Probé las dos estrategias, sin restringir los cruces y restringiéndolos a no cruzarse si pertenecen a la misma trayectoria de un punto; y la segunda opción, seguramente por no sobreestimar la intensificación que ya de por sí realiza el punto 1, da mejores resultados. Para el cruce, se genera una matriz del mismo tamaño que el archivo, y se van cogiendo los puntos de tres en tres aleatoriamente, la base que será una solución perteneciente a la trayectoria del punto uno y una pareja de dos puntos —tipo uno y tipo dos— que definirán la transformación gen a gen con probabilidad 0.5 según la siguiente fórmula donde A es el archivo y M la matriz de cruces y r_i un número aleatorio menor al tamaño de la población elegido para cada cromosoma.

$$M_{i,j} = A_{r_1,j} + F * (A_{r_2,j} - A_{r_3,j})$$

Al 10 por ciento de la nueva población se le aplica un búsqueda local Simplex con número de evaluaciones igual a la mitad del tamaño de la clase, para hacerla ligeramente más competitiva, este es el valor que mejores resultados arrojaba pues hacía a las soluciones con potencial poder competir con las otras en la etapa de archivo inmediatamente posterior y sin embargo no grava en exceso al límite total de evaluaciones que aprovechan más exitosamente otros módulos del algoritmo. A continuación una gráfica comparando la versión del apartado anterior, la nueva versión con DE añadido y el óptimo para $D = 30$.



	OPTIMO	NORMAL	DIF
F1	1.00E+02	1.86E+03	1.05E+03
F2	2.00E+02	2.00E+02	2.00E+02
F3	3.00E+02	3.00E+02	3.00E+02
F4	4.00E+02	4.07E+02	4.06E+02
F5	5.00E+02	5.20E+02	5.20E+02
F6	6.00E+02	6.04E+02	6.04E+02
F7	7.00E+02	7.00E+02	7.00E+02
F8	8.00E+02	8.00E+02	8.00E+02
F9	9.00E+02	9.51E+02	9.50E+02
F10	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03
F11	1.10E+03	3.37E+03	3.64E+03
F12	1.20E+03	1.20E+03	1.20E+03
F13	1.30E+03	1.30E+03	1.30E+03
F14	1.40E+03	1.40E+03	1.40E+03
F15	1.50E+03	1.50E+03	1.50E+03
F16	1.60E+03	1.61E+03	1.61E+03
F17	1.70E+03	3.07E+03	3.14E+03
F18	1.80E+03	1.89E+03	1.89E+03
F19	1.90E+03	1.91E+03	1.91E+03
F20	2.00E+03	2.05E+03	2.06E+03

Vemos que los resultados para la función 1 son bastante mejores, con una diferencia de error de 800, que compensa el rendimiento ligeramente peor en las funciones 11 y 17. Como el resultado en la función 1 es el que más deteriora el rendimiento global del algoritmo conservamos la mejora, aunque no ha sido suficiente para obtener resultados significativamente mejores. El deterioro en el rendimiento en las funciones 11 y 17 se puede deber sencillamente a la aleatoriedad de los resultados, pues corresponden a la función de Schwefel y una función compuesta, ambas con un espacio de búsqueda con muchísimos óptimos locales que entorpecen la vocación de equilibrio entre exploración y explotación y que provocan que el punto uno y dos estén constantemente intercambiándose sin conseguir converger en ningún punto, agotando sencillamente el máximo número de evaluaciones sin encontrar el mínimo global o un punto próximo a éste.

Por lo anterior, probé reservando el 20 % de las evaluaciones para una búsqueda

local, la primera como estaba configurada y una segunda al final de la ejecución con el rango de búsqueda muy restringido, para que deje de explorar y optimice el mejor punto que haya encontrado cuando se agoten el número de evaluaciones permitidas —el total menos dos búsquedas locales—. El ratio que mejor resultados ha dado ha sido el 6 % de las evaluaciones para un LS anterior, el 14 % para una búsqueda local posterior, la primera con el rango de búsqueda a 0,1 y la segunda a 0,0004. Con esto conseguimos los siguientes resultados.

4.2.1. Resultados YYPO

Dimensión 10				Dimensión 30				ÓPTIMO
MEDIA	MEJOR	PEOR	ERROR	MEDIA	MEJOR	PEOR	ERROR	
1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	0.00E+00	1.03E+02	1.00E+02	1.20E+02	3.50E+00	1.00E+02
2.00E+02	2.00E+02	2.00E+02	0.00E+00	2.00E+02	2.00E+02	2.00E+02	0.00E+00	2.00E+02
3.00E+02	3.00E+02	3.00E+02	0.00E+00	3.00E+02	3.00E+02	3.00E+02	0.00E+00	3.00E+02
4.00E+02	4.00E+02	4.04E+02	3.19E-01	4.00E+02	4.00E+02	4.04E+02	1.59E-01	4.00E+02
5.20E+02	5.20E+02	5.20E+02	2.00E+01	5.20E+02	5.20E+02	5.20E+02	2.00E+01	5.00E+02
6.02E+02	6.00E+02	6.05E+02	1.50E+00	6.04E+02	6.00E+02	6.08E+02	4.07E+00	6.00E+02
7.00E+02	7.00E+02	7.00E+02	9.50E-03	7.00E+02	7.00E+02	7.00E+02	1.20E-03	7.00E+02
8.00E+02	8.00E+02	8.00E+02	0.00E+00	8.00E+02	8.00E+02	8.00E+02	0.00E+00	8.00E+02
9.13E+02	9.05E+02	9.26E+02	1.27E+01	9.44E+02	9.30E+02	9.73E+02	4.43E+01	9.00E+02
1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	7.10E-01	1.00E+03	1.00E+03	1.01E+03	1.02E+00	1.00E+03
1.43E+03	1.12E+03	1.77E+03	3.31E+02	3.52E+03	2.73E+03	4.41E+03	2.42E+03	1.10E+03
1.20E+03	1.20E+03	1.20E+03	8.20E-02	1.20E+03	1.20E+03	1.20E+03	5.00E-02	1.20E+03
1.30E+03	1.30E+03	1.30E+03	1.08E-01	1.30E+03	1.30E+03	1.30E+03	2.55E-01	1.30E+03
1.40E+03	1.40E+03	1.40E+03	2.68E-01	1.40E+03	1.40E+03	1.40E+03	3.96E-01	1.40E+03
1.50E+03	1.50E+03	1.50E+03	9.26E-01	1.50E+03	1.50E+03	1.51E+03	3.45E+00	1.50E+03
1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03	2.13E+00	1.61E+03	1.61E+03	1.61E+03	1.02E+01	1.60E+03
1.78E+03	1.70E+03	2.04E+03	7.73E+01	3.07E+03	2.17E+03	3.76E+03	1.37E+03	1.70E+03
1.81E+03	1.80E+03	1.81E+03	7.73E+00	1.89E+03	1.84E+03	1.99E+03	9.11E+01	1.80E+03
1.90E+03	1.90E+03	1.90E+03	9.37E-01	1.91E+03	1.91E+03	1.92E+03	1.36E+01	1.90E+03
2.00E+03	2.00E+03	2.01E+03	2.39E+00	2.07E+03	2.01E+03	2.18E+03	6.80E+01	2.00E+03
Total			4.58E+02	Total			4.05E+03	

4.2.2. Comparativa Tanabe10

	CoDE	D-SHADE	EPSDE	JADE	L-SHADE	POP-aCM	SHADE11	SaDE	HyNP-ID	CMAS-IL	YYOP
F1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.55E+00	2.17E-07	0.00E+00	0.00E+00
F2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.17E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F4	1.05E+01	3.08E+01	0.00E+00	2.76E+01	2.94E+01	2.82E+00	2.95E+01	1.81E+01	3.32E+00	1.44E+01	3.19E-01
F5	1.84E+01	1.77E+01	2.00E+01	1.73E+01	1.41E+01	1.81E+01	1.80E+01	1.58E+01	1.60E+01	1.47E+01	2.00E+01
F6	1.65E-06	0.00E+00	3.04E+00	1.76E-01	1.75E-02	3.31E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.50E+00
F7	3.76E-02	5.31E-03	1.76E-02	1.19E-02	3.04E-03	0.00E+00	9.78E-03	7.24E-03	4.97E-03	0.00E+00	9.50E-03
F8	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.70E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.54E-01	0.00E+00
F9	3.88E+00	3.08E+00	3.69E+00	3.51E+00	2.34E+00	3.26E-01	3.14E+00	3.58E+00	3.86E+00	9.75E-02	1.27E+01
F10	3.55E-02	4.90E-02	4.41E-02	6.12E-03	8.57E-03	9.16E+01	1.22E-02	1.96E-02	2.45E-03	1.22E+02	7.10E-01
F11	7.60E+01	5.49E+01	3.23E+02	8.37E+01	3.21E+01	1.17E+02	6.32E+01	1.96E+02	1.36E+02	8.59E+00	3.31E+02
F12	4.34E-02	5.29E-02	3.21E-01	2.50E-01	6.82E-02	1.01E-02	1.36E-01	4.35E-01	3.11E-01	6.50E-02	8.20E-02
F13	7.98E-02	4.89E-02	1.22E-01	8.40E-02	5.16E-02	1.09E-02	7.40E-02	1.25E-01	1.19E-01	9.11E-03	1.08E-01
F14	1.07E-01	9.01E-02	1.36E-01	1.11E-01	8.14E-02	2.82E-01	1.06E-01	1.86E-01	1.35E-01	1.55E-01	2.68E-01
F15	6.52E-01	4.03E-01	7.54E-01	5.78E-01	3.66E-01	5.47E-01	5.05E-01	7.90E-01	7.82E-01	7.23E-01	9.26E-01
F16	1.13E+00	1.34E+00	2.54E+00	1.65E+00	1.24E+00	2.53E+00	1.56E+00	1.97E+00	1.59E+00	1.91E+00	2.13E+00
F17	2.66E+00	3.38E+00	5.33E+01	3.09E+01	9.77E-01	3.89E+01	1.56E+00	2.83E+01	2.62E+00	2.10E+01	7.73E+01
F18	4.31E-01	4.75E-01	1.20E+00	2.39E-01	2.44E-01	3.58E+00	2.37E-01	1.65E+00	4.41E-01	5.26E-01	7.73E+00
F19	7.45E-02	2.05E-01	1.43E+00	2.55E-01	7.73E-02	8.28E-01	1.92E-01	6.69E-02	1.22E-01	7.08E-01	9.37E-01
F20	2.39E-02	2.73E-01	1.65E-01	3.24E-01	1.85E-01	1.32E+00	2.43E-01	1.08E-01	4.15E-02	8.04E-01	2.39E+00
TOTAL	1.14E+02	1.13E+02	4.10E+02	1.67E+02	8.13E+01	2.82E+02	1.18E+02	2.70E+02	1.66E+02	1.86E+02	4.58E+02

4.2.3. Comparativa Tanabe30

	CoDE	D-SHADE	EPSDE	JADE	L-SHADE	POP-aCM	SHADE11	SaDE	lynNP-jDE	MAES-IL	YYOP
F1	2.63E+04	5.04E-03	2.42E+04	4.48E+02	0.00E+00	0.00E+00	4.81E+02	2.99E+05	4.65E+04	0.00E+00	3.50E+00
F2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.63E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.43E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F4	2.52E+00	5.03E-09	3.21E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.72E+01	2.04E+00	0.00E+00	1.59E-01
F5	2.01E+01	2.00E+01	2.03E+01	2.03E+01	2.01E+01	2.05E+01	2.01E+01	2.05E+01	2.03E+01	2.00E+01	2.00E+01
F6	1.99E+00	5.92E-02	1.89E+01	9.42E+00	1.38E-07	7.14E-01	5.29E-01	5.46E+00	1.20E+00	4.00E-03	4.07E+00
F7	1.45E-04	0.00E+00	2.08E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.83E-04	1.23E-02	0.00E+00	0.00E+00	1.20E-03
F8	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.98E+00	0.00E+00	7.80E-02	0.00E+00	2.42E+00	0.00E+00
F9	4.04E+01	8.70E+00	4.44E+01	2.62E+01	6.78E+00	3.24E+00	1.58E+01	3.81E+01	3.39E+01	2.57E+00	4.43E+01
F10	5.00E-01	3.51E-02	2.01E-01	5.31E-03	1.63E-02	6.36E+02	1.27E-02	2.69E-01	4.08E-03	1.45E+02	1.02E+00
F11	1.95E+03	1.30E+03	3.56E+03	1.64E+03	1.23E+03	7.31E+02	1.40E+03	3.15E+03	1.95E+03	7.38E+01	2.42E+03
F12	6.00E-02	9.67E-02	5.25E-01	2.71E-01	1.61E-01	1.32E-02	1.62E-01	7.94E-01	3.62E-01	2.83E-02	5.00E-02
F13	2.31E-01	1.34E-01	2.43E-01	2.20E-01	1.24E-01	3.89E-02	2.04E-01	2.52E-01	2.53E-01	2.95E-02	2.55E-01
F14	2.39E-01	2.32E-01	2.78E-01	2.34E-01	2.42E-01	3.28E-01	2.25E-01	2.29E-01	2.66E-01	1.70E-01	3.96E-01
F15	3.18E+00	1.89E+00	5.67E+00	3.10E+00	2.15E+00	2.14E+00	2.56E+00	4.14E+00	4.76E+00	2.51E+00	3.45E+00
F16	9.26E+00	8.52E+00	1.11E+01	9.37E+00	8.50E+00	1.06E+01	9.15E+00	1.09E+01	9.22E+00	1.09E+01	1.02E+01
F17	1.45E+03	2.10E+02	4.61E+04	9.67E+03	1.88E+02	8.52E+02	1.06E+03	1.15E+04	9.58E+02	1.05E+03	1.37E+03
F18	1.34E+01	1.04E+01	3.32E+02	3.58E+02	5.91E+00	1.15E+02	4.99E+01	4.44E+02	2.10E+01	9.61E+01	9.11E+01
F19	2.70E+00	3.53E+00	1.33E+01	4.44E+00	3.68E+00	5.70E+00	4.31E+00	4.00E+00	3.91E+00	6.46E+00	1.36E+01
F20	1.09E+01	4.20E+00	5.00E+01	2.89E+03	3.08E+00	2.40E+01	1.26E+01	1.25E+02	8.53E+00	3.35E+01	6.80E+01
	2.98E+04	1.57E+03	7.43E+04	1.51E+04	1.47E+03	2.41E+03	3.05E+03	3.14E+05	4.95E+04	1.44E+03	4.05E+03

4.2.4. Comparativa DE

	D10			D30		
	DE-BIN	DE-Exp	YYOP	DE-BIN	DE-Exp	YYOP
F1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.87E+04	2.95E+05	3.50E+00
F2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F4	2.16E+01	2.19E+01	3.19E-01	6.13E+00	3.30E+01	1.59E-01
F5	2.02E+01	2.01E+01	2.00E+01	2.09E+01	2.04E+01	2.00E+01
F6	5.84E-01	1.84E-01	1.50E+00	3.74E+00	1.76E+01	4.07E+00
F7	3.66E-02	3.58E-02	9.50E-03	1.90E-03	0.00E+00	1.20E-03
F8	4.35E+00	3.98E-02	0.00E+00	1.39E+01	0.00E+00	0.00E+00
F9	1.20E+01	8.79E+00	1.27E+01	1.34E+02	8.17E+01	4.43E+01
F10	5.20E+01	1.15E+01	7.10E-01	4.87E+02	4.96E+00	1.02E+00
F11	4.44E+02	5.55E+02	3.31E+02	6.11E+03	3.76E+03	2.42E+03
F12	4.26E-01	4.39E-01	8.20E-02	2.45E+00	6.60E-01	5.00E-02
F13	1.14E-01	1.12E-01	1.08E-01	3.00E-01	3.78E-01	2.55E-01
F14	1.76E-01	1.63E-01	2.68E-01	3.06E-01	3.00E-01	3.96E-01
F15	1.77E+00	1.24E+00	9.26E-01	1.45E+01	8.69E+00	3.45E+00
F16	2.34E+00	2.35E+00	2.13E+00	1.23E+01	1.09E+01	1.02E+01
F17	1.64E+01	8.49E+00	7.73E+01	3.27E+03	2.24E+03	1.37E+03
F18	5.40E-01	5.54E-01	7.73E+00	1.79E+01	4.21E+01	9.11E+01
F19	3.11E-01	4.53E-01	9.37E-01	3.99E+00	6.23E+00	1.36E+01
F20	2.04E-01	6.60E-02	2.39E+00	1.36E+01	2.66E+01	6.80E+01
TOTAL	5.77E+02	6.32E+02	4.58E+02	9.88E+04	3.01E+05	4.05E+03

4.2.5. Análisis de los resultados

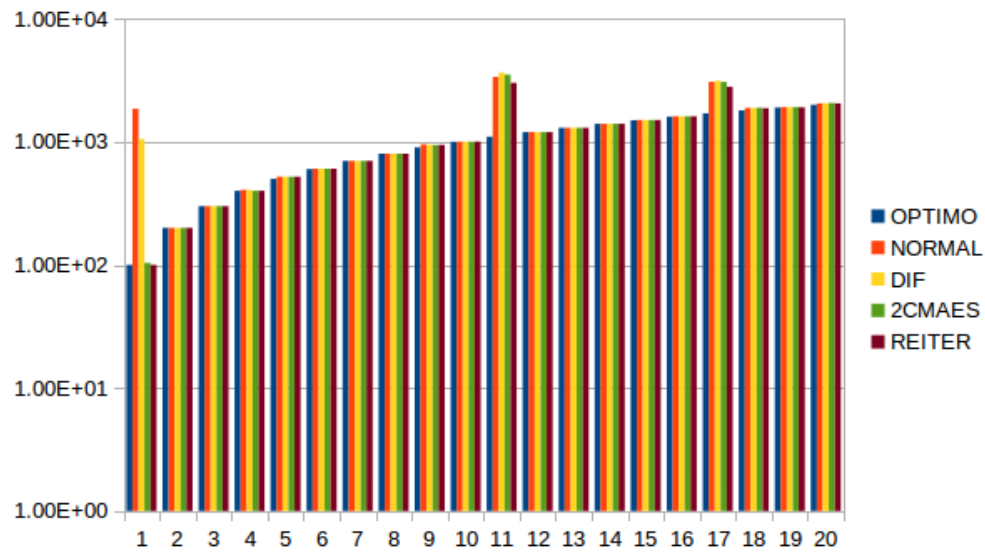
Hemos conseguido reducir el error total para $D = 30$ de 5650 a 4050, sin embargo seguimos lejos de las mejores posiciones para la tabla de Tanabe. Cuando afronté esta mejora intenté ver si el rendimiento mediocre en las soluciones que estaban próximas al óptimo se podía deber a la falta de resolución para la representación de números con coma flotante ya que mi YYOP trabaja entre 0 y 1 aplicando el ajuste a posteriori, sin embargo, CMAES aplicado al final debería haber solucionado esto —pues trabaja con los números reales en su dominio original— pero no fue así.

4.3. Estrategia multiarranque

Llegados a este techo que nos imposibilita la mejora intenté repartir el número máximo de evaluaciones entre sucesivos intentos, sin embargo, CMAES consume muchísimas evaluaciones para conseguir una solución decente, por lo tanto no puedo evaluar el algoritmo sobre distintos puntos de arranque obtenidos mediante CMAES, así que la solución que nos resta es utilizar un único punto de arranque obtenido por CMAES, y viendo que YYOP agota las iteraciones sin encontrar un óptimo global la estrategia es la siguiente: cada vez que YYOP erra en encontrar un punto mejor que en la anterior etapa de archivo por un número arbitrario de veces —ajustado a la dimensionalidad—, guardamos la mejor solución si corresponde, aplicamos una mutación profunda a la mejor actual, reiniciamos el radio de búsqueda y lanzamos otra vez YYOP, asignando al punto dos una solución aleatoria de una distribución uniforme.

La mutación de la mejor solución actual se realiza con un operador $N(0, 0, 3)$ —hay que tener en cuenta que las soluciones están entre 0 y 1— y un valor aleatorio uniforme si está fuera del rango con una probabilidad de mutación del 50 %. A la solución generada se le aplica una búsqueda local Simplex con el máximo de evaluaciones igual a 5 por el tamaño de la solución para hacerla más competitiva con el punto 2 encargado de la exploración. Estos valores para los parámetros son los que mejor resultado han arrojado en un análisis preliminar.

Los resultados obtenidos mejoran consistentemente el desempeño de todas las modificaciones anteriores como podemos ver en esta gráfica.



	OPTIMO	NORMAL	DIF1CMAES	DIF2CMAES	MULTI
F1	1.00E+02	1.86E+03	1.05E+03	1.03E+02	1.00E+02
F2	2.00E+02	2.00E+02	2.00E+02	2.00E+02	2.00E+02
F3	3.00E+02	3.00E+02	3.00E+02	3.00E+02	3.00E+02
F4	4.00E+02	4.07E+02	4.06E+02	4.00E+02	4.00E+02
F5	5.00E+02	5.20E+02	5.20E+02	5.20E+02	5.20E+02
F6	6.00E+02	6.04E+02	6.04E+02	6.04E+02	6.04E+02
F7	7.00E+02	7.00E+02	7.00E+02	7.00E+02	7.00E+02
F8	8.00E+02	8.00E+02	8.00E+02	8.00E+02	8.00E+02
F9	9.00E+02	9.51E+02	9.50E+02	9.44E+02	9.45E+02
F10	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03
F11	1.10E+03	3.37E+03	3.64E+03	3.52E+03	3.01E+03
F12	1.20E+03	1.20E+03	1.20E+03	1.20E+03	1.20E+03
F13	1.30E+03	1.30E+03	1.30E+03	1.30E+03	1.30E+03
F14	1.40E+03	1.40E+03	1.40E+03	1.40E+03	1.40E+03
F15	1.50E+03	1.50E+03	1.50E+03	1.50E+03	1.50E+03
F16	1.60E+03	1.61E+03	1.61E+03	1.61E+03	1.61E+03
F17	1.70E+03	3.07E+03	3.14E+03	3.07E+03	2.80E+03
F18	1.80E+03	1.89E+03	1.89E+03	1.89E+03	1.88E+03
F19	1.90E+03	1.91E+03	1.91E+03	1.91E+03	1.91E+03
F20	2.00E+03	2.05E+03	2.06E+03	2.07E+03	2.05E+03
TOTAL	2.10E+04	2.67E+04	2.62E+04	2.51E+04	2.42E+04

4.3.1. Resultados YYPO

Dimensión 10				Dimensión 30				ÓPTIMO
MEDIA	MEJOR	PEOR	ERROR	MEDIA	MEJOR	PEOR	ERROR	
1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	0.00E+00	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	0.00E+00	1.00E+02
2.00E+02	2.00E+02	2.00E+02	0.00E+00	2.00E+02	2.00E+02	2.00E+02	0.00E+00	2.00E+02
3.00E+02	3.00E+02	3.00E+02	0.00E+00	3.00E+02	3.00E+02	3.00E+02	0.00E+00	3.00E+02
4.01E+02	4.00E+02	4.04E+02	7.97E-01	4.00E+02	4.00E+02	4.00E+02	0.00E+00	4.00E+02
5.17E+02	5.00E+02	5.20E+02	1.73E+01	5.20E+02	5.20E+02	5.20E+02	2.00E+01	5.00E+02
6.01E+02	6.00E+02	6.03E+02	8.13E-01	6.04E+02	6.01E+02	6.09E+02	4.25E+00	6.00E+02
7.00E+02	7.00E+02	7.00E+02	1.35E-02	7.00E+02	7.00E+02	7.00E+02	8.00E-04	7.00E+02
8.01E+02	8.00E+02	8.02E+02	6.77E-01	8.00E+02	8.00E+02	8.01E+02	1.19E-01	8.00E+02
9.09E+02	9.04E+02	9.14E+02	8.91E+00	9.45E+02	9.26E+02	9.68E+02	4.46E+01	9.00E+02
1.00E+03	1.00E+03	1.01E+03	3.96E+00	1.00E+03	1.00E+03	1.01E+03	4.69E+00	1.00E+03
1.28E+03	1.12E+03	1.46E+03	1.78E+02	3.01E+03	2.27E+03	3.57E+03	1.91E+03	1.10E+03
1.20E+03	1.20E+03	1.20E+03	7.20E-02	1.20E+03	1.20E+03	1.20E+03	5.40E-02	1.20E+03
1.30E+03	1.30E+03	1.30E+03	9.80E-02	1.30E+03	1.30E+03	1.30E+03	2.62E-01	1.30E+03
1.40E+03	1.40E+03	1.40E+03	1.51E-01	1.40E+03	1.40E+03	1.40E+03	2.53E-01	1.40E+03
1.50E+03	1.50E+03	1.50E+03	9.92E-01	1.50E+03	1.50E+03	1.51E+03	3.59E+00	1.50E+03
1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03	2.01E+00	1.61E+03	1.61E+03	1.61E+03	9.91E+00	1.60E+03
1.87E+03	1.70E+03	2.11E+03	1.68E+02	2.80E+03	2.26E+03	3.96E+03	1.10E+03	1.70E+03
1.82E+03	1.81E+03	1.84E+03	1.71E+01	1.88E+03	1.83E+03	1.93E+03	7.74E+01	1.80E+03
1.90E+03	1.90E+03	1.90E+03	8.68E-01	1.91E+03	1.90E+03	1.91E+03	6.97E+00	1.90E+03
2.01E+03	2.00E+03	2.02E+03	5.46E+00	2.05E+03	2.02E+03	2.10E+03	5.26E+01	2.00E+03
Total			4.06E+02	Total			3.23E+03	

4.3.2. Comparativa Tanabe10

	CoDE	D-SHADE	EPSDE	JADE	L-SHADE	OP-aCM	SHADE11	SaDE	dynNP-jDE	CMAES-IL	YYOP
F1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.55E+00	2.17E-07	0.00E+00	0.00E+00
F2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.17E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F4	1.05E+01	3.08E+01	0.00E+00	2.76E+01	2.94E+01	2.82E+00	2.95E+01	1.81E+01	3.32E+00	1.44E+01	7.97E-01
F5	1.84E+01	1.77E+01	2.00E+01	1.73E+01	1.41E+01	1.81E+01	1.80E+01	1.58E+01	1.60E+01	1.47E+01	1.73E+01
F6	1.65E-06	0.00E+00	3.04E+00	1.76E-01	1.75E-02	3.31E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.13E-01
F7	3.76E-02	5.31E-03	1.76E-02	1.19E-02	3.04E-03	0.00E+00	9.78E-03	7.24E-03	4.97E-03	0.00E+00	1.35E-02
F8	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.70E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.54E-01	6.77E-01
F9	3.88E+00	3.08E+00	3.69E+00	3.51E+00	2.34E+00	3.26E-01	3.14E+00	3.58E+00	3.86E+00	9.75E-02	8.91E+00
F10	3.55E-02	4.90E-02	4.41E-02	6.12E-03	8.57E-03	9.16E+01	1.22E-02	1.96E-02	2.45E-03	1.22E+02	3.96E+00
F11	7.60E+01	5.49E+01	3.23E+02	8.37E+01	3.21E+01	1.17E+02	6.32E+01	1.96E+02	1.36E+02	8.59E+00	1.78E+02
F12	4.34E-02	5.29E-02	3.21E-01	2.50E-01	6.82E-02	1.01E-02	1.36E-01	4.35E-01	3.11E-01	6.50E-02	7.20E-02
F13	7.98E-02	4.89E-02	1.22E-01	8.40E-02	5.16E-02	1.09E-02	7.40E-02	1.25E-01	1.19E-01	9.11E-03	9.80E-02
F14	1.07E-01	9.01E-02	1.36E-01	1.11E-01	8.14E-02	2.82E-01	1.06E-01	1.86E-01	1.35E-01	1.55E-01	1.51E-01
F15	6.52E-01	4.03E-01	7.54E-01	5.78E-01	3.66E-01	5.47E-01	5.05E-01	7.90E-01	7.82E-01	7.23E-01	9.92E-01
F16	1.13E+00	1.34E+00	2.54E+00	1.65E+00	1.24E+00	2.53E+00	1.56E+00	1.97E+00	1.59E+00	1.91E+00	2.01E+00
F17	2.66E+00	3.38E+00	5.33E+01	3.09E+01	9.77E-01	3.89E+01	1.56E+00	2.83E+01	2.62E+00	2.10E+01	1.68E+02
F18	4.31E-01	4.75E-01	1.20E+00	2.39E-01	2.44E-01	3.58E+00	2.37E-01	1.65E+00	4.41E-01	5.26E-01	1.71E+01
F19	7.45E-02	2.05E-01	1.43E+00	2.55E-01	7.73E-02	8.28E-01	1.92E-01	6.69E-02	1.22E-01	7.08E-01	8.68E-01
F20	2.39E-02	2.73E-01	1.65E-01	3.24E-01	1.85E-01	1.32E+00	2.43E-01	1.08E-01	4.15E-02	8.04E-01	5.46E+00
TOTAL	1.14E+02	1.13E+02	4.10E+02	1.67E+02	8.13E+01	2.82E+02	1.18E+02	2.70E+02	1.66E+02	1.86E+02	4.06E+02

4.3.3. Comparativa Tanabe30

	CoDE	D-SHADE	EPSDE	JADE	L-SHADE	POP-aCM	SHADE11	SaDE	dynNP-JDE	CMAES-IL	YYOP
F1	2.63E+04	5.04E-03	2.42E+04	4.48E+02	0.00E+00	0.00E+00	4.81E+02	2.99E+05	4.65E+04	0.00E+00	0.00E+00
F2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.63E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.43E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F4	2.52E+00	5.03E-09	3.21E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.72E+01	2.04E+00	0.00E+00	0.00E+00
F5	2.01E+01	2.00E+01	2.03E+01	2.03E+01	2.01E+01	2.05E+01	2.01E+01	2.05E+01	2.03E+01	2.00E+01	2.00E+01
F6	1.99E+00	5.92E-02	1.89E+01	9.42E+00	1.38E-07	7.14E-01	5.29E-01	5.46E+00	1.20E+00	4.00E-03	4.25E+00
F7	1.45E-04	0.00E+00	2.08E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.83E-04	1.23E-02	0.00E+00	0.00E+00	8.00E-04
F8	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.98E+00	0.00E+00	7.80E-02	0.00E+00	2.42E+00	1.19E-01
F9	4.04E+01	8.70E+00	4.44E+01	2.62E+01	6.78E+00	3.24E+00	1.58E+01	3.81E+01	3.39E+01	2.57E+00	4.46E+01
F10	5.00E-01	3.51E-02	2.01E-01	5.31E-03	1.63E-02	6.36E+02	1.27E-02	2.69E-01	4.08E-03	1.45E+02	4.69E+00
F11	1.95E+03	1.30E+03	3.56E+03	1.64E+03	1.23E+03	7.31E+02	1.40E+03	3.15E+03	1.95E+03	7.38E+01	1.91E+03
F12	6.00E-02	9.67E-02	5.25E-01	2.71E-01	1.61E-01	1.32E-02	1.62E-01	7.94E-01	3.62E-01	2.83E-02	5.40E-02
F13	2.31E-01	1.34E-01	2.43E-01	2.20E-01	1.24E-01	3.89E-02	2.04E-01	2.52E-01	2.53E-01	2.95E-02	2.62E-01
F14	2.39E-01	2.32E-01	2.78E-01	2.34E-01	2.42E-01	3.28E-01	2.25E-01	2.29E-01	2.66E-01	1.70E-01	2.53E-01
F15	3.18E+00	1.89E+00	5.67E+00	3.10E+00	2.15E+00	2.14E+00	2.56E+00	4.14E+00	4.76E+00	2.51E+00	3.59E+00
F16	9.26E+00	8.52E+00	1.11E+01	9.37E+00	8.50E+00	1.06E+01	9.15E+00	1.09E+01	9.22E+00	1.09E+01	9.91E+00
F17	1.45E+03	2.10E+02	4.61E+04	9.67E+03	1.88E+02	8.52E+02	1.06E+03	1.15E+04	9.58E+02	1.05E+03	1.10E+03
F18	1.34E+01	1.04E+01	3.32E+02	3.58E+02	5.91E+00	1.15E+02	4.99E+01	4.44E+02	2.10E+01	9.61E+01	7.74E+01
F19	2.70E+00	3.53E+00	1.33E+01	4.44E+00	3.68E+00	5.70E+00	4.31E+00	4.00E+00	3.91E+00	6.46E+00	6.97E+00
F20	1.09E+01	4.20E+00	5.00E+01	2.89E+03	3.08E+00	2.40E+01	1.26E+01	1.25E+02	8.53E+00	3.35E+01	5.26E+01
TOTAL	2.98E+04	1.57E+03	7.43E+04	1.51E+04	1.47E+03	2.41E+03	3.05E+03	3.14E+05	4.95E+04	1.44E+03	3.23E+03

4.3.4. Comparativa DE

	D10			D30		
	DE-BIN	DE-Exp	YYOP	DE-BIN	DE-Exp	YYOP
F1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.87E+04	2.95E+05	0.00E+00
F2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F4	2.16E+01	2.19E+01	7.97E-01	6.13E+00	3.30E+01	0.00E+00
F5	2.02E+01	2.01E+01	1.73E+01	2.09E+01	2.04E+01	2.00E+01
F6	5.84E-01	1.84E-01	8.13E-01	3.74E+00	1.76E+01	4.25E+00
F7	3.66E-02	3.58E-02	1.35E-02	1.90E-03	0.00E+00	8.00E-04
F8	4.35E+00	3.98E-02	6.77E-01	1.39E+01	0.00E+00	1.19E-01
F9	1.20E+01	8.79E+00	8.91E+00	1.34E+02	8.17E+01	4.46E+01
F10	5.20E+01	1.15E+01	3.96E+00	4.87E+02	4.96E+00	4.69E+00
F11	4.44E+02	5.55E+02	1.78E+02	6.11E+03	3.76E+03	1.91E+03
F12	4.26E-01	4.39E-01	7.20E-02	2.45E+00	6.60E-01	5.40E-02
F13	1.14E-01	1.12E-01	9.80E-02	3.00E-01	3.78E-01	2.62E-01
F14	1.76E-01	1.63E-01	1.51E-01	3.06E-01	3.00E-01	2.53E-01
F15	1.77E+00	1.24E+00	9.92E-01	1.45E+01	8.69E+00	3.59E+00
F16	2.34E+00	2.35E+00	2.01E+00	1.23E+01	1.09E+01	9.91E+00
F17	1.64E+01	8.49E+00	1.68E+02	3.27E+03	2.24E+03	1.10E+03
F18	5.40E-01	5.54E-01	1.71E+01	1.79E+01	4.21E+01	7.74E+01
F19	3.11E-01	4.53E-01	8.68E-01	3.99E+00	6.23E+00	6.97E+00
F20	2.04E-01	6.60E-02	5.46E+00	1.36E+01	2.66E+01	5.26E+01
TOTAL	5.77E+02	6.32E+02	4.06E+02	9.88E+04	3.01E+05	3.23E+03

4.3.5. Análisis de los resultados

Hemos conseguido arañar otros 800 puntos del rendimiento global, sin embargo seguimos estancados en la posición media de la tabla de Tanabe, los resultados se

han estancado y no parece que podamos mejorar significativamente el resultado.

4.4. Mejoras descartadas

La primera mejora que intenté fue —basándome en el posterior trabajo de Punnnathanam y Kotecha (AyyPO, 2016)— utilizar en vez de una probabilidad del 0.5 para qué tipo de etapa de separación sucede, una probabilidad dependiente de la dimensionalidad, sin embargo los resultados que arrojó esta modificación no se podían separar con seguridad de la aleatoriedad del resultado, siendo incluso peores para $D = 30$.

Por otro lado pretendía aplicar algún algoritmo de optimización para el cálculo de los parámetros de mi algoritmo mejorado, sin embargo en un análisis preliminar observé que éstos no alteraban significativamente el resultado, excepto valores muy concretos como era el ratio LS anterior / LS posterior y el rango de búsqueda —lo cual denota la fuerte dependencia de estas mejoras con el excelente resultado de CMAES—. Sin embargo, sobre este punto volveremos en la conclusión.

4.5. Análisis y conclusiones

Hemos visto como YYOP es un algoritmo con potencial competitivo pero no es capaz de salvar ciertos hitos que han supuesto un techo de mejora, como los observados en la función 11 y 17. La estrategia de incrementar sucesivamente las mejoras sobre el algoritmo base nos ha permitido ir subsanando deficiencias puntuales de los resultados pero ha oscurecido un poco la verdadera eficacia de cada mejora, principalmente debido a CMAES que supone una diferencia radical en la capacidad del algoritmo.

Los resultados han sido satisfactorios, hemos conseguido alcanzar una situación competente en la tabla de Tanabe para $D = 30$, no así para $D = 10$, aunque activamente me concentré en mejorar el resultado para la opción de mayor dimensionalidad pues me parece más interesante en problemas del mundo real.

Por otro lado, debido a los largos tiempos de ejecución para $D = 30$ con 25 ejecuciones me centré en exceso en mejorar las funciones 1, 11 y 17 debido a que las otras daban un resultado muy próximo al óptimo, sin embargo ahora viendo los resultados parece que no eran las únicas que necesitaban atención y que en la competición por el mejor algoritmo esos decimales suponían una diferencia relevante, aunque no definitiva, el total del algoritmo con mejor resultado iCMAES-ILS es de $1.44\text{E}+03$, frente a $3.23\text{E}+03$ de nuestro algoritmo, del cual el error de la función 11 y la función 17 supone $3.01\text{E}+03$. Esto quiere decir que aunque hubieramos conseguido el óptimo en todas las demás funciones mediante el ajuste fino de los parámetros —mediante algún algoritmo de optimización o con el análisis y diseño de parámetros dinámicos— no habríamos conseguido superar a los cuatro mejores algoritmos, y el error en f11 y f17 ha sido una barrera que no he conseguido derrumbar con ninguna combinación de parámetros, incluso aunque deterioraran el rendimiento en el resto de funciones, lo cual en cierto modo justifica la decisión de invertir mi tiempo y esfuerzo en estrategias

alternativas y módulos adicionales al algoritmo que enriquecieran la capacidad de búsqueda.

Se me quedaron mejoras en el tintero, principalmente porque habrían alterado en exceso la naturaleza de YYOP o habrían requerido una cantidad de tiempo de la que no dispongo, sin embargo, es evidente que la fase de cruce que añadí antes de la etapa de archivo tiene una bajísima variabilidad genética pues al final en el archivo tan solo hay dos trayectorias de un mismo punto, y el número de iteraciones entre cada etapa de archivo empieza a deteriorar el rendimiento cuando supera las 12. Asimismo, ninguna mejora —más que la búsqueda local anterior y posterior por CMAES— ha conseguido mejorar significativamente el rendimiento.

Visto lo anterior parece sensato pensar que YYOP es un algoritmo competitivo pero no es la panacea, no hemos sido capaces de modificar lo suficiente el algoritmo para competir con los más potentes del CEC2014 y sospecho que se debe a la decisión de los autores de utilizar únicamente dos puntos para explorar y explotar de forma paralela. El algoritmo es tremendamente sintético y parsimonioso, lo cual lo hace muy atractivo, pero la baja variabilidad por el uso de esa especie de trayectorias tan lineales hacia la mejor solución, el riesgo —evidente— de remplazar el punto 2 en la etapa de archivo por un alguna solución perteneciente a la trayectoria del punto 1 y acabar perdiendo iteraciones en un espacio de búsqueda muy reducido cuando hace falta explorar más y más insistentemente hacia soluciones mejores, o el hecho de dedicar el mismo esfuerzo a diversificar y a intensificar en todo momento cuando cada etapa del algoritmo puede requerir una carga de trabajo desigualmente distribuida entre las dos tareas limitan la capacidad del algoritmo para desplazarse con eficacia por el espacio de soluciones, asimismo creo que la forma de explorar tan desinformada —frente a estrategias tan elegantes como la de CMAES— no ayudan tampoco a mejorar los resultados finales del algoritmo.

En definitiva, creo que dedicar más tiempo a modificar este algoritmo y ajustar mejor los parámetros podría conseguir arañar unos decimales de aquellas soluciones próximas a la óptima pero dudo que fuéramos capaces de mejorar sustancialmente la capacidad de búsqueda del YYPO.

5. Bibliografía

1. Punathanam, Varun & Kotecha, Prakash. (2016). Yin-Yang-pair Optimization: A novel lightweight optimization algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 54. 62-79. 10.1016/j.engappai.2016.04.004.
2. Punathanam, Varan & Kotecha, Prakash. (2016). Adaptive Yin-Yang-Pair Optimization on CEC 2016 functions. 2296-2299. 10.1109/TENCON.2016.7848438.