



UNIVERSIDAD CARLOS III

ALGORITMOS GENÉTICOS Y EVOLUTIVOS

Práctica 1: Optimización de Sensores en Smart Cities

Alba Reinders Sánchez
100383444@alumnos.uc3m.es

23 de octubre de 2020

Índice

1. Introducción	2
2. Configuración del algoritmo	3
2.1. Etapa de <i>Selección</i>	3
2.2. Etapa de <i>Cruce</i>	3
2.3. Etapa de <i>Mutación</i>	3
2.4. Condición de Parada	4
3. Experimentos	5
4. Análisis de resultados	6
4.1. Comparativa de los mejores experimentos	10
4.2. Mejor resultado obtenido	11
5. Conclusiones y problemas encontrados	12

1. Introducción

El contexto en el que se encuentra el problema a resolver es el de las *Smart Cities*, éstas podrían mejorar la calidad de vida de las personas que viven en las grandes ciudades, así como el impacto medioambiental.

En concreto se centra en la ciudad de **Madrid** y en sus 24 **estaciones de control del aire**. Lo que se plantea es optimizar el número de sensores necesarios para reducir el endeudamiento de la ciudad.

Para llevar a cabo esta tarea, se configura un **algoritmo genético** que consiga **reducir el número de sensores** que se deben instalar en una estación para que el coste sea mínimo y el sacrificio en precisión no se vea afectado.

El documento consiste en una breve explicación de la configuración de las etapas del algoritmo, seguido de los experimentos que se han realizado y el análisis de los resultados obtenidos, y para finalizar una serie de conclusiones y problemas encontrados.

2. Configuración del algoritmo

El algoritmo codifica el problema utilizando *cromosomas binarios* donde un 0 representa si el sensor no se instala en la estación, y un 1 si el sensor sí se instala.

Durante la experimentación, el simulador que se proporciona para calcular la función *fitness* de un cromosoma solo permite tener 4 estaciones. Como cada estación tiene 16 sensores, los **cromosomas** tienen **64 genes** (uno por cada sensor).

Con el objetivo de minimizar la función de *fitness*, a continuación se muestran los parámetros propuestos.

2.1. Etapa de *Selección*

Una vez se tiene una población y se evalúa a sus individuos, es el momento de realizar la selección. Para la experimentación se han tenido en cuenta dos posibles variaciones de este operador: los torneos y el elitismo.

Torneos

Los torneos tienen inicialmente un tamaño del 5% de la población, aunque si éste no llega a 2 tienen, consecuentemente, 2 individuos ya que es el mínimo para que se pueda llevar a cabo un torneo.

Elitismo

Por otro lado se han realizado torneos con elitismo. Para ello se decide el número de individuos que se quiera para la élite, éstos no participarán en los torneos y pasarán directamente a la población de seleccionados.

2.2. Etapa de *Cruce*

En este caso se han planteado los 3 tipos de cruces principales:

- Cruce uniforme
- Cruce simple
- Cruce de dos puntos

2.3. Etapa de *Mutación*

Los métodos de mutación que se han probado son los siguientes:

Poca probabilidad de mutación de todos

Se basa en que todos los individuos tienen la misma probabilidad de que alguno de sus genes mute, no influye si la evaluación de un individuo es mejor o peor. Esta probabilidad es muy baja, ya que es de $1/\text{tamaño cromosoma}$.

Mayor probabilidad de mutación de los peores

Esta mutación consiste en hacer mutar sólo a los peores individuos según su función de *fitness*. Además, se aumenta esta probabilidad a $(1 / \text{tamaño cromosoma}) * 2$, mientras que los mejores individuos, se ha decidido que sea un 20 % de la población, no muta.

2.4. Condición de Parada

Por último, el parámetro que queda por detallar es la condición de parada. En un primer momento se utilizó el **número de ciclos**.

Sin embargo, esta condición no es lo suficientemente óptima, tal y como se explica en la sección de *Análisis de resultados*, así que se lleva a cabo otra condición. Ésta consiste en especificar el **número de ciclos sin mejora**.

Por otro lado, también se ha probado a especificar un número de ciclos concretos (20) donde se realiza *exploración* y a continuación otros ciclos (5) donde se realiza *explotación*.

- En el caso de la *exploración*, la selección es por torneos, el cruzamiento uniforme y la probabilidad de mutación se aumenta por cuatro y afecta a toda la población.
- En el caso de la *explotación*, la selección es por elitismo, el cruzamiento simple y la probabilidad de mutación de toda la población es muy baja.

3. Experimentos

La lógica que se sigue a la hora de realizar los experimentos es básicamente hacer un experimento y a partir de su configuración original, crear otros subexperimentos que varíen sólo uno o alguno de los parámetros de forma que se acerquen más a una buena configuración (por ejemplo, reducir el número de ciclos).

Cada experimento se realiza **8** veces, salvo algunas excepciones donde se realiza solamente 6 debido a que sino se producía un error del servidor. En total se hacen **17 experimentos** contando los subexperimentos.

- Los primeros experimentos que se realizan son aquellos en los que la condición de parada es un número de ciclos específico. En la tabla sólo se muestra el último de este tipo ya que el resto eran pruebas del correcto funcionamiento del algoritmo. (**Ex. 0**)
- A continuación, se realizan los que utilizan un número de ciclos sin mejora, éstos varían entre 3 y 5. (**Ex. 1, 1-a, 1-b, 2, 2-a, 2-b, 3, 3-a, 4, 5, 6**)
- Por último los que se corresponden con la configuración especial *exploración-explotación* descrita en el apartado anterior. (**Ex. 7, 7-a, 7-b, 7-c**)

CONFIGURACIÓN						
		Tamaño población	Condición de parada	Selección	Cruzamiento	Mutación
			Ciclos sin mejora			
EXPERIMENTOS	Ex. 1	50	3	Torneo	Uniforme	Todos
	a	100	3	Torneo	Uniforme	Todos
	b	100	5	Torneo	Uniforme	Todos
	Ex. 2	100	3	Elitismo	Uniforme	Todos
	a	100	5	Elitismo	Uniforme	Todos
	b	150	5	Elitismo	Uniforme	Todos
	Ex. 3	100	5	Elitismo	Uniforme	Solo peores
	a	100	5	Torneo	Uniforme	Solo peores
	Ex. 4	100	5	Elitismo	Simple	Todos
	Ex. 5	100	5	Elitismo	2 puntos	Todos
	Ex. 6	100	5	Elitismo (10)	Uniforme	Todos
	a	100	5	Elitismo (2)	Uniforme	Todos
			Número de ciclos			
	Ex. 0	100	15	Torneo	Uniforme	Todos
	Ex. 7	100	20 ciclos explora	Torneo	Uniforme	Todos (mucha prob)
			5 ciclos explota	Elitismo	Simple	Todos (poca prob)
	a	100	15 ciclos explora	Torneo	Uniforme	Todos (mucha prob)
			10 ciclos explota	Elitismo	Simple	Todos (poca prob)
	b	200	20 ciclos explora	Torneo	Uniforme	Todos (mucha prob)
			5 ciclos explota	Elitismo	Simple	Todos (poca prob)
	c	200	15 ciclos explora	Torneo	Uniforme	Todos (mucha prob)
			10 ciclos explota	Elitismo	Simple	Todos (poca prob)

* El tamaño del elitismo si no se especifica es 5

4. Análisis de resultados

Dadas las configuraciones de los experimentos que se han mostrado en la sección anterior, se va a analizar y comparar cuáles funcionan mejor, es decir, con qué combinación de parámetros el algoritmo tarda menos tiempo en converger o realiza menor número de evaluaciones de media.

También se comprueba si la evaluación del mejor individuo llega a 0 en cada una de las veces que se lleva a cabo el experimento que se esté estudiando o si por lo menos ha llegado en alguna de ellas.

La siguiente tabla muestra los resultados de todos los experimentos. Siendo la estructura igual a la de la tabla anterior pero añadiendo las columnas de resultados obtenidos:

- Tiempo transcurrido de media en segundos
- Número de evaluaciones de media
- Evaluación mejor individuo
- Evaluación llega a 0

		RESULTADOS								
		Tamaño población	Condición de parada	Tiempo transcurrido de media (s)	Número de evaluaciones de media	Selección	Cruzamiento	Mutación	Evaluación mejor individuo	Evaluación llega a 0
			<i>Ciclos sin mejora</i>							
EXPERIMENTOS	Ex. 1	50	3	63	1206	Torneo	Uniforme	Todos	550,76	Nunca
	a	100	3	113,44	2075	Torneo	Uniforme	Todos	0	Algunas veces
	b	100	5	144,26	2625	Torneo	Uniforme	Todos	0	Siempre
	Ex. 2	100	3	124,7	2150	Elitismo	Uniforme	Todos	0	Algunas veces
	a	100	5	125,02	2275	Elitismo	Uniforme	Todos	0	Siempre
	b	150	5	158,73	3000	Elitismo	Uniforme	Todos	0	Siempre
	Ex. 3	100	5	317,88	6125	Elitismo	Uniforme	Solo peores	0	Algunas veces
	a	100	5	269,66	5325	Torneo	Uniforme	Solo peores	0	Algunas veces
	Ex. 4	100	5	175,08	3200	Elitismo	Simple	Todos	0	Siempre
	Ex. 5	100	5	157,2	2837,5	Elitismo	2 puntos	Todos	0	Siempre
	Ex. 6	100	5	148,67	2750	Elitismo (10)	Uniforme	Todos	0	La mayoría de veces
	a	100	5	139,16	2425	Elitismo (2)	Uniforme	Todos	0	Siempre
			<i>Número de ciclos</i>							
	Ex. 0	100	15	79,32	1500	Torneo	Uniforme	Todos	3,65	Nunca
	Ex. 7	100	20 ciclos explora	174,23	2500	Torneo	Uniforme	Todos (mucha prob)	231,64	Nunca
			5 ciclos explota			Elitismo	Simple	Todos (poca prob)		
	a	100	15 ciclos explora	136,55	2500	Torneo	Uniforme	Todos (mucha prob)	34,56	Nunca
			10 ciclos explota			Elitismo	Simple	Todos (poca prob)		
	b	200	20 ciclos explora	275,38	5000	Torneo	Uniforme	Todos (mucha prob)	3,65	Nunca
			5 ciclos explota			Elitismo	Simple	Todos (poca prob)		
	c	200	15 ciclos explora	289,87	5000	Torneo	Uniforme	Todos (mucha prob)	0	Siempre
			10 ciclos explota			Elitismo	Simple	Todos (poca prob)		

* El tamaño del elitismo si no se especifica es 5

Experimento 0

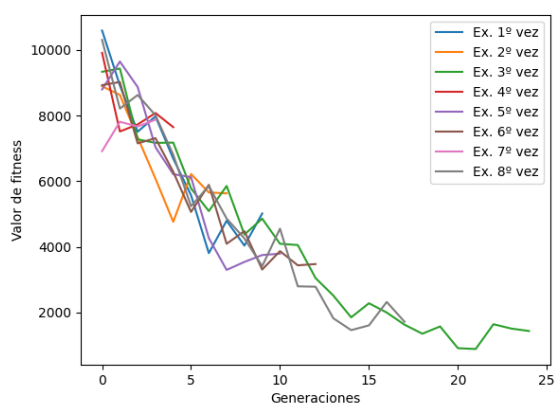
Es el último experimento de una serie de experimentos iniciales con los que se comienza la experimentación. Éstos se han llevado a cabo para comprobar que el algoritmo esté correctamente programado y por tanto no es de gran relevancia analizarlos. El único con algo más de importancia es el que se ha añadido en la tabla anterior (Ex. 0).

Los resultados obtenidos con pocos ciclos de ejecución no son buenos y por ello es necesario subir a 15, lo que aumenta el tiempo y el número de evaluaciones medias. Además, no se alcanza nunca una evaluación de 0, la del mejor individuo es 3.65.

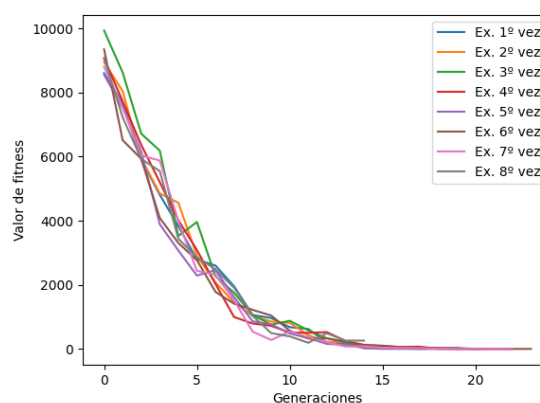
Experimentos 1 y 2

Al comprobar que si se establece un número de ciclos estáticos como condición de parada no es del todo eficaz, se plantea la condición de un número de ciclos sin mejora en la evaluación del mejor individuo de una población.

Esto se observa ya en los experimentos 1 y 2 donde se prueba a variar entre 3 y 5 el número de ciclos, así como el tamaño de la población (50, 100 y 150). Cómo afecta el cambio en el número de individuos es muy representativo entre los experimentos 1 y 1_a, donde la configuración es la misma salvo por el tamaño de la población, 50 y 100 respectivamente.



Ex. 1



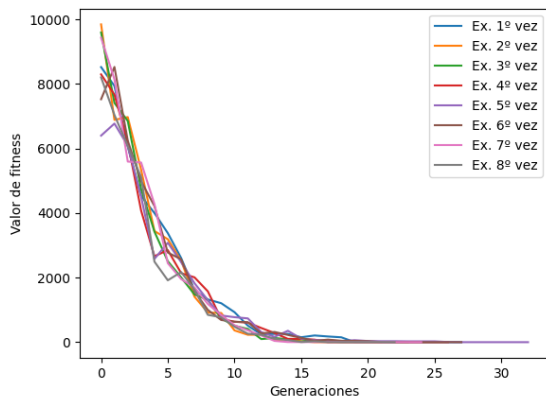
Ex. 1_a

Respecto a la comparativa del experimento 1 y 2, la diferencia más significativa es que el segundo utiliza, además del torneo, el elitismo en selección.

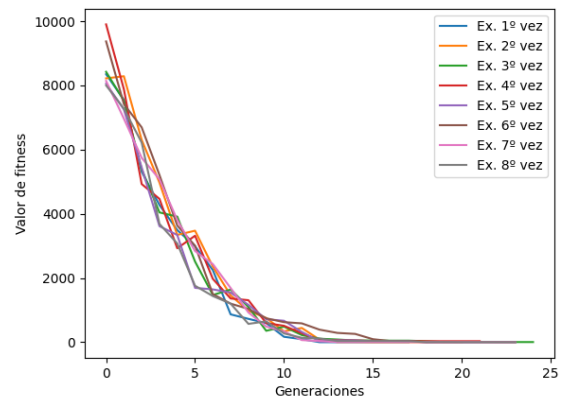
Esto se observa en las siguientes gráficas donde se muestra los dos mejores subexperimentos en cuanto a tiempo y número de ciclos. Ambos llegan a un *fitness* de 0 en todas las ocasiones que se realiza la ejecución.

Sin embargo, se puede ver que en la primera gráfica, donde la selección es por torneo exclusivamente, es algo más lenta ya que se llevan a cabo 30 generaciones, mientras que en la otra tarda solo 25 y posee elitismo.

Estas gráficas corresponden a los mejores subexperimentos dentro de cada experimento.



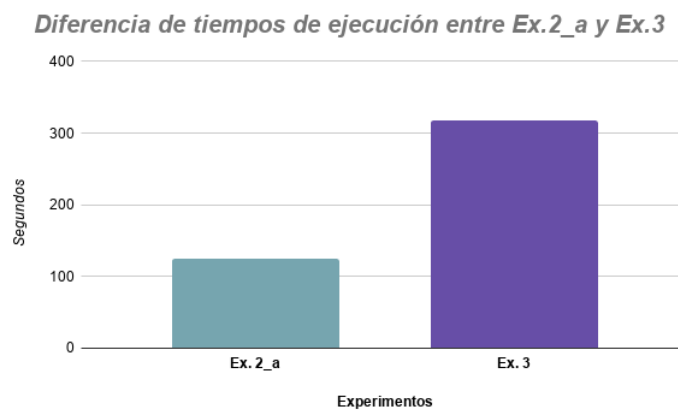
Ex. 1_b



Ex. 2_a

Experimento 3

En este caso se prueba la mutación de sólo los peores individuos de la población tanto con selección por torneo como por elitismo. Los resultados que se obtienen no son los esperados, porque aunque la evaluación del mejor individuo llega a 0, no siempre es así.

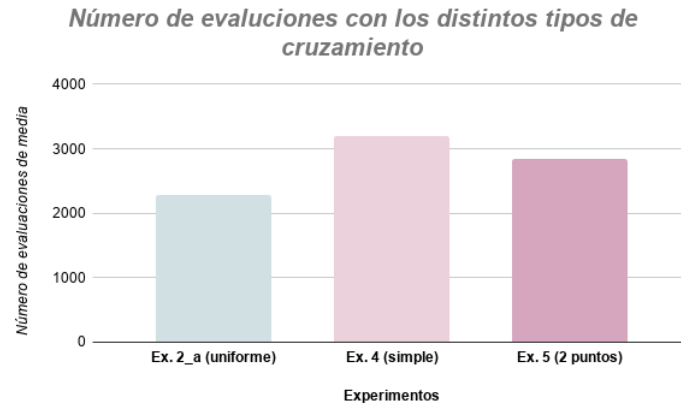


Como se ve en la gráfica, debido a la implementación de este tipo de mutación, se realizan el doble de evaluaciones, lo que aumenta el tiempo de ejecución.

Experimento 4 y 5

Con estos dos experimentos se quiere probar los otros dos tipos de cruzamientos que se han programado. Todos los experimentos anteriores son con cruzamiento *uniforme*.

El experimento 5 con cruzamiento *2 puntos* consigue mejor tiempo que el experimento 4 con cruzamiento *simple*, aún así no es mejor que el del experimento 2_a con cruzamiento *uniforme*.

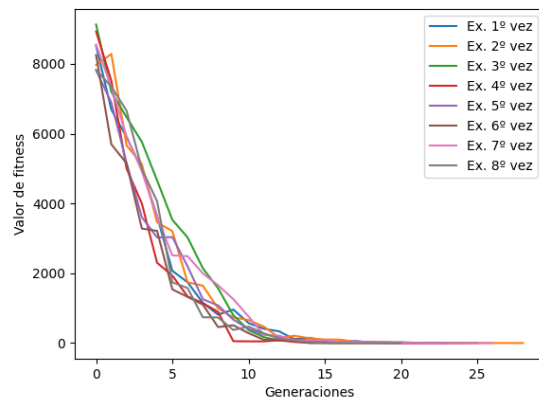
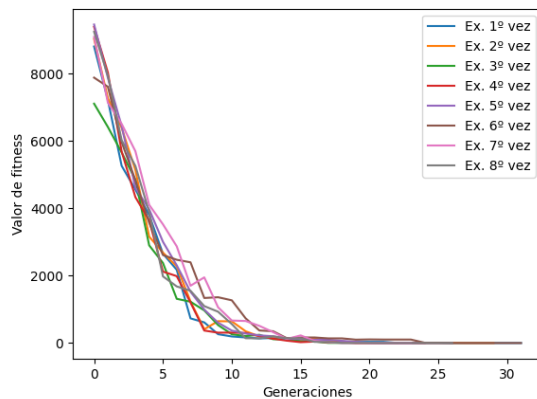


Experimento 6

Se basa en la configuración del experimento 2_a pero con un tamaño de elitismo distinto. Si no se especifica éste toma el valor 5, pero en el caso del experimento 6 y 6_a se prueba con 10 y 2 respectivamente.

El experimento 6_a alcanza unos resultados bastante buenos, tanto el tiempo y el número de evaluaciones es de los más bajos obtenidos, y los valores de las evaluaciones del mejor individuo llegan siempre a **0**.

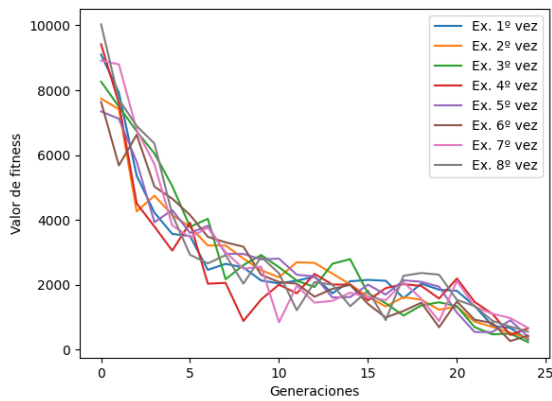
Las siguientes gráficas muestran cómo el experimento 6_a tarda menos generaciones en alcanzar el valor **0** que el experimento 6.



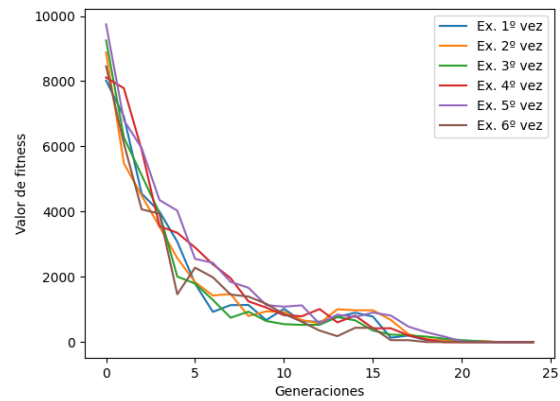
Experimento 7

Tal y como se observa en la tabla de resultados, el único experimento que alcanza un *fitness* de **0** siempre es el 7_c. Estos experimentos usan la condición de parada *exploración-explotación*. Además, el subexperimento 7_c sólo se repite 6 veces porque el servidor fallaba con más repeticiones, ya que la población es de 200 lo que aumenta el número de evaluaciones de media (5000) y como consecuencia el tiempo que tarda.

En las gráficas se muestra a la izquierda el peor experimento, donde nunca llega a 0 y cuya evolución es muy 'picuda' y tarda más en decrecer. Por el contrario, la gráfica de la derecha (Ex. 7_c) tiene una evolución más uniforme y consigue siempre llegar a 0.



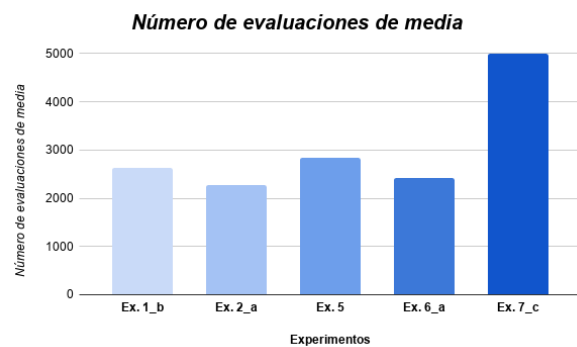
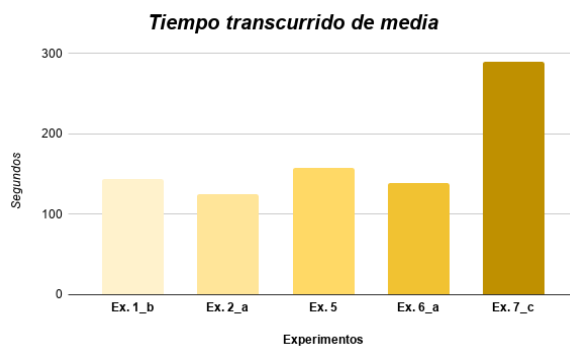
Ex. 7



Ex. 7_c

4.1. Comparativa de los mejores experimentos

A partir de esta visión general por todos los experimentos planteados, se van a comparar los resultados de los **5 mejores** a través de las siguientes gráficas:



Todos estos experimentos alcanzan siempre un valor de *fitness* de **0**, por lo que se va a decidir cuál es el mejor de todos en función del tiempo que tarda y del número de evaluaciones que realiza.

Se puede ver que la relación *tiempo-número de evaluaciones* es proporcional, lo cual tiene lógica, ya que si se tienen que hacer más evaluaciones el algoritmo tardará más tiempo en converger.

Por otro lado, se ve claramente que todos los experimentos con condición de parada *número de ciclos sin mejora* tardan mucho menos que el último experimento (Ex. 7_c) que tiene la condición especial de *exploración-explotación*.

4.2. Mejor resultado obtenido

Después de este análisis, se concluye con que la configuración de parámetros del algoritmo que ha conseguido el **mejor resultado** es:

	Tamaño pob.	Ciclos sin mejora	Selección	Cruzamiento	Mutación	Evaluación
Ex. 2_a	100	5	Elitismo	Uniforme	Todos	0

- Tiempo transcurrido de media: 125,02 s
- Número de evaluaciones de media: 2275
- Evaluación: 0
- Cromosoma: 0000100111110110011011001010010000001011111101000111001111010010

Por la tanto, para resolver el problema con 4 estaciones, esta es la mejor configuración que se ha encontrado en relación no solo a la evaluación obtenida, pues muchos de los experimentos llegaban a un valor de *fitness* de 0 también, sino porque es la más rápida y la que menor número de evaluaciones requería.

Esto tiene sentido ya que este experimento utiliza los torneos con elitismo, que se ha visto que son mejores ya que es capaz de hacer exploración gracias a los torneos, pero siempre reserva los mejores individuos gracias al elitismo. Además de usar el cruzamiento uniforme y la mutación básica que se han visto que son las mejores estrategias.

5. Conclusiones y problemas encontrados

Respecto a los problemas que han surgido durante la realización de la práctica, son principalmente dos:

Los fallos al hacer llamadas *GET* al servidor cuando el número de llamadas es muy elevado. Esto ha hecho que cuando se aumenta el número de individuos de una población o en algunos casos cuando se usa la mutación de solo los peores, no se pueda llevar a cabo ya que en estos casos se relizan más llamadas al servidor. Sin embargo, se consigue solucionar si en vez de realizar cada experimento 8 veces se realiza 6, lo que disminuye las llamadas.

La gran cantidad de combinaciones posibles de experimentos, aunque sólo se llevan a cabo los que se cree que son más interesantes o útiles, resultan en muchas configuraciones. Lo que hace imposible probar todas y por tanto puede darse el caso de que no se haya encontrado una solución mejor a la propuesta por ello.

En cuanto a la realización de la práctica, se puede decir que ha sido bastante llevadera y no muy complicada de implementar, al menos lo básico para que el algoritmo funcionara. Una vez conseguido esto, las distintas variantes que se han intentado hacer muchas veces no han conseguido las mejoras que se esperaban y los parámetros con los que se ha conseguido la mejor solución no es que sean los más complejos.

Aún así, ha dado pie a indagar más en distintas formas de ajustar el algoritmo para conseguir los mejores resultados posibles y poner en práctica lo aprendido en clase.