

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Comparación de algoritmos genéticos para resolver el  
problema de asignación de horarios y profesores en los cursos  
del departamento de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica de  
la Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Oscar Manolo Capilla Domínguez  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2018

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



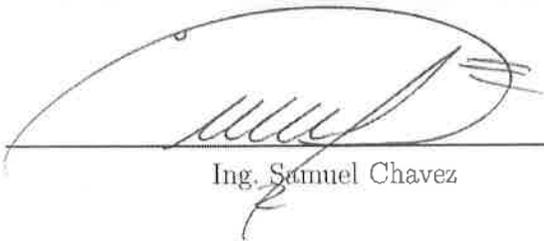
**Comparación de algoritmos genéticos para resolver el  
problema de asignación de horarios y profesores en los cursos  
del departamento de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica de  
la Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Oscar Manolo Capilla Domínguez  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

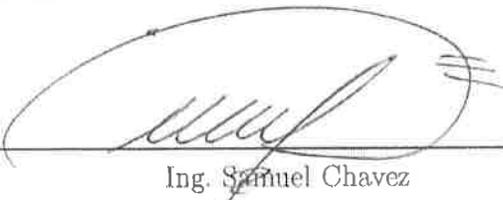
Guatemala,

2018

Vo.Bo.:

(f)   
Ing. Samuel Chavez

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Samuel Chavez

(f)   
MBA. Patricia Blanco

(f)   
MSc. Carlos Esquit

Fecha de aprobación: Guatemala, 4 de Diciembre de 2018.

Este trabajo de graduación surgió de la necesidad del departamento por explorar diferentes maneras de atacar el problema de los horarios debido a que esto consume una cantidad de tiempo significativo para el departamento. Experimentar con algoritmos genéticos me pareció muy interesante debido a como se relaciona el comportamiento evolutivo de la naturaleza con la resolución de problemas complejos como este. La idea de utilizar los algoritmos genéticos es debido a que funcionan como un método de optimización multi-objetivo, por otra parte tener la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación sobre este tema realmente me apasiona.

<b>Prefacio</b>	<b>III</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de cuadros</b>	<b>X</b>
<b>Resumen</b>	<b>XI</b>
<b>Abstract</b>	<b>XII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>2</b>
<b>3. Justificación</b>	<b>3</b>
<b>4. Objetivos</b>	<b>4</b>
4.1. Objetivo general . . . . .	4
4.2. Objetivos específicos . . . . .	4
<b>5. Alcance</b>	<b>5</b>
<b>6. Marco teórico</b>	<b>6</b>
6.1. Introducción a algoritmos evolutivos . . . . .	6
6.1.1. Inicios históricos . . . . .	6
6.1.2. Principios básicos de la naturaleza . . . . .	6
6.1.3. Ciclo básico de los algoritmos evolutivos . . . . .	7
6.1.4. Configuración de parámetros de algoritmos evolutivos . . . . .	8
6.1.5. Aplicaciones . . . . .	9
6.2. Algoritmos genéticos . . . . .	9
6.2.1. Espacio de búsqueda . . . . .	9
6.2.2. Inicialización . . . . .	10

6.2.3.	Fitness (Función de aptitud)	10
6.2.4.	Selección	10
6.2.5.	Crossover (cruzado)	11
6.2.6.	Mutación	11
6.3.	Complejidad de un problema de tipo programación de horarios	11
6.3.1.	NP-hardness	11
6.3.2.	Otras posibles soluciones	13
6.4.	Información del departamento	13
6.4.1.	Archivos de información	13
6.4.2.	Laboratorios	14
6.5.	Programación funcional utilizando Python	14
<b>7.</b>	<b>Introducción al problema de programación de horarios</b>	<b>15</b>
7.1.	Información necesaria para resolver el problema	16
7.1.1.	Demanda del departamento	16
7.1.2.	Programas de estudios	16
7.1.3.	Horario de laboratorios	16
7.1.4.	Horario de profesores	17
7.1.5.	Horarios prohibidos	18
<b>8.</b>	<b>Diseño de algoritmo genético</b>	<b>20</b>
8.1.	Ingreso de datos	21
8.2.	Extracción de datos	21
8.2.1.	Modelado de los individuos	22
8.2.2.	Códigos de Sección	23
8.3.	Selección	24
8.3.1.	FITNESS (Función de aptitud)	24
8.4.	Crossover (Cruzamiento)	25
8.4.1.	Corte de punto medio	25
8.4.2.	Corte de punto aleatorio	25
8.4.3.	Crossover aleatorio	26
8.5.	Mutación	26
8.6.	Salida de datos	27
8.6.1.	Archivo: Horario estudiantes	27
8.6.2.	Archivo: Horario profesores	28
8.6.3.	Archivo: Horario laboratorios	28
<b>9.</b>	<b>Resultados</b>	<b>30</b>
9.0.1.	Parámetros generales: Horarios prohibidos	31
9.0.2.	Parámetros generales: Profesores	32
9.0.3.	Parámetros generales: Otros parámetros	34
9.1.	Variación 1: Mutación elevada	35
9.1.1.	Gráficas	35
9.1.2.	Salidas en generación: 1	37
9.1.3.	Salidas en generación: 200	42
9.2.	Variación 2	46
9.2.1.	Gráficas	47

9.2.2. Salidas en generación: 200 . . . . .	48
9.3. Variación 3 . . . . .	52
9.4. Comparación de variaciones . . . . .	59
9.5. Otras comparaciones . . . . .	59
9.5.1. Análisis individual por generación: Horario prohibido . . . . .	59
<b>10. Conclusiones</b>	<b>63</b>
<b>11. Recomendaciones</b>	<b>64</b>
<b>12. Bibliografía</b>	<b>65</b>
<b>13. Anexos</b>	<b>67</b>
<b>14. Glosario</b>	<b>68</b>

---

## Lista de figuras

---

1.	Diagrama de Euler de la familia de problemas . . . . .	12
2.	Periodos disponibles de los laboratorios . . . . .	17
3.	Información de profesores . . . . .	18
4.	Información de horarios prohibidos . . . . .	19
5.	Diagrama de flujo del algoritmo genético . . . . .	20
6.	Diagrama UML: objetos del horario . . . . .	21
7.	Codificación de individuos (Horarios) . . . . .	22
8.	Ejemplo codificación de Sección de teoría . . . . .	23
9.	Ejemplo codificación de Sección de Laboratorio . . . . .	23
10.	Crossover con corte de punto medio . . . . .	25
11.	Crossover con corte de punto aleatorio . . . . .	26
12.	Crossover aleatorio . . . . .	26
13.	Mutación de un individuo . . . . .	27
14.	Archivo de salida de estudiantes . . . . .	27
15.	Archivo de salida de profesores . . . . .	28
16.	Archivo de salida los laboratorios . . . . .	29
17.	Parámetros generales para horarios prohibidos - Año 1 . . . . .	31
18.	Parámetros generales para horarios prohibidos - Año 2 . . . . .	31
19.	Parámetros generales para horarios prohibidos - Año 3 . . . . .	32
20.	Parámetros generales de profesores - profesor 1 . . . . .	32
21.	Parámetros generales de profesores - profesor 2 . . . . .	33
22.	Parámetros generales de profesores - profesor 3 . . . . .	33
23.	Parámetros generales de profesores - profesor 4 . . . . .	34
24.	Parámetros generales de profesores - profesor 5 . . . . .	34
25.	Cantidad de secciones generadas por la demanda . . . . .	35
26.	Mejor score de generación vs tiempo . . . . .	36
27.	Mejor score de generación vs generación . . . . .	36
28.	Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 1 - año 1	37
29.	Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 1 - año 2	37
30.	Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 1 - año 3	38

31.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 1 - profesor 1	38
32.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 1 - profesor 2	39
33.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 1 - profesor 3	39
34.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 1 - profesor 4	40
35.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 1 - profesor 5	40
36.	Salida archivo Laboratorios con alta mutación en generación 1 - laboratorio 0 . . . . .	41
37.	Salida archivo Laboratorios con alta mutación en generación 1 - laboratorio 1 . . . . .	41
38.	Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 200 - año 1	42
39.	Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 200 - año 2	42
40.	Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 200 - año 3	43
41.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 1 . . . . .	43
42.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 2 . . . . .	44
43.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 3 . . . . .	44
44.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 4 . . . . .	45
45.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 5 . . . . .	45
46.	Salida archivo Laboratorios con alta mutación en generación 200 - laboratorio 0 . . . . .	46
47.	Salida archivo Laboratorios con alta mutación en generación 200 - laboratorio 1 . . . . .	46
48.	Mejor score de generación vs tiempo . . . . .	47
49.	Mejor score de generación vs generación . . . . .	47
50.	Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 200 - año 1	48
51.	Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 200 - año 2	48
52.	Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 200 - año 3	49
53.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 1 . . . . .	49
54.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 2 . . . . .	50
55.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 3 . . . . .	50
56.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 4 . . . . .	51
57.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 5 . . . . .	51
58.	Salida archivo Laboratorios con alta mutación en generación 200 - laboratorio 0 . . . . .	52
59.	Salida archivo Laboratorios con alta mutación en generación 200 - laboratorio 1 . . . . .	52
60.	Mejor score de generacion vs generación . . . . .	53

61.	Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 500 - año 1	54
62.	Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 500 - año 2	54
63.	Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 500 - año 3	55
64.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 500 - profesor 1 . . . . .	55
65.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 500 - profesor 2 . . . . .	56
66.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 500 - profesor 3 . . . . .	56
67.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 500 - profesor 4 . . . . .	57
68.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 500 - profesor 5 . . . . .	57
69.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 6 . . . . .	58
70.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 500 - profesor 7 . . . . .	58
71.	Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 500 - profesor 8 . . . . .	59
72.	Salida optimizando únicamente horarios prohibidos GEN 1 - Año 1 .	60
73.	Salida optimizando únicamente horarios prohibidos GEN 25 - Año 1 .	60
74.	Salida optimizando únicamente horarios prohibidos GEN 1 - Año 2 .	61
75.	Salida optimizando únicamente horarios prohibidos GEN 25 - Año 2 .	61
76.	Salida optimizando únicamente horarios prohibidos GEN 1 - Año 3 .	62
77.	Salida optimizando únicamente horarios prohibidos GEN 25 - Año 3 .	62

---

Lista de cuadros

---

1.	Aplicaciones de algoritmos evolutivos . . . . .	9
2.	Archivos con información para diseñar horarios en el departamento . .	13
3.	Estructura archivo de demanda . . . . .	16
4.	Planes de estudios . . . . .	16
5.	Restricciones de la función de aptitud . . . . .	24
6.	Archivos de salida de datos . . . . .	27
7.	Parámetros del programa . . . . .	30
8.	Parámetros generales de la experimentación del algoritmo genético . .	34
10.	Parámetros para FITNESS generales . . . . .	35
9.	Parámetros mutación elevada . . . . .	35
11.	Parámetros mutación elevada . . . . .	47
12.	Parámetros para FITNESS Varación . . . . .	53

Uno de los aspectos claves en la administración de los departamentos de las universidades es la asignación de los diferentes horarios y profesores que deben tener cada uno de los cursos en los diferentes años de cada programa de estudios. Debido a que durante un plan de estudios los cursos son impartidos por diferentes departamentos, especialmente durante los primeros dos años. Una de las restricciones más importantes a tomar en cuenta en este modelo por el departamento de Electrónica y Mecatrónica son los horarios prohibidos, posibles periodos ya ocupados por otros departamentos, a cada estudiante de diferente año en cursos que debe asignarse para satisfacer su programa de estudios. La programación de los horarios es una tarea que puede consumir tiempo significativo al cuerpo administrativo, la cual podría solucionarse o acercarse a una solución computacionalmente para reducir el tiempo invertido por el departamento. Un problema de asignación de horarios es considerado un problema de tipo NP-Hard dentro de la teoría de complejidad computacional. La utilización de algoritmos metaheurísticos es muy efectiva y aplicable en este tipo de problemas de optimización combinatoria.

En los resultados obtenidos en este trabajo de graduación se puede observar como actúan las diferentes variaciones de un algoritmo genético frente a los parámetros de entrada y como lograr su convergencia. Entre los resultados más relevantes se pudo demostrar que una mutación pequeña como uno de cada cien periodos es suficiente para lograr una convergencia en el programa de algoritmo genético. Los parámetros de entrada del algoritmo son los que definen el comportamiento en la convergencia de una solución ya que estos deben ser posibles de lograr en el horario cumpliendo todas las restricciones.

One of the key aspects in the administration of an university department is scheduling courses for teachers and students. Because the courses in a study program usually are taught by different departments, in the case of Del Valle university most frequently by the first two years of the study programs. Take care about all the restrictions to schedule every new semester takes significantly time for career directors, this could be solved computationally reducing the time inverted in the department. A schedule problem is considered a NP-Hard problem inside the computational complex theory. Use metaheuristics algorithms is effective and applicable in this type of problems. In the results we observe how different variations of genetic algorithms converge and evolve.

El presente trabajo de graduación se enfoca en el diseño y comparación de algoritmos genéticos frente al problema de programación de horarios en el departamento de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica de la Universidad del Valle de Guatemala. Se creó un programa que implementa todos los pasos de un algoritmo genético frente al problema de horarios utilizando como entradas el plan de estudios, horarios prohibidos y el archivo de demanda. En su función de aptitud Fitness se enfoca en tratar de resolver las restricciones como la capacidad de laboratorio, la asignación completa de toda la demanda con su respectivo profesor y horario, evitar conflictos de horario para estudiantes del mismo año, evitar conflictos de horario a los profesores. El programa fue implementado en el lenguaje Python para ser multi-plataforma utilizando programación funcional y orientada a objetos. También se creó para el programa como salida varios archivos de hoja de cálculo que poseen la solución para Estudiantes de cada año, laboratorios y profesores.

Existe una gran cantidad de investigación sobre el problema de asignación de horarios, se han presentado varias en PATAT (Practice and Theory of Automated Timetabling). Debido a su complejidad, NP-Hard, múltiples investigadores se han sentido atraídos a probar diferentes técnicas de optimización tales como algoritmos genéticos, algoritmos meméticos, colonia de hormigas, búsqueda tabú etc. De 2007 a 2008 Automated Scheduling, Optimisation and Planning (ASAP) ya había presentado más de 100 documentos entre capítulos de libro, revistas y documentos científicos [1].

Realizando una búsqueda simple en internet se puede encontrar una cantidad considerable de trabajos similares en diferentes niveles tales como grado, master y doctorado. En la universidad de Dalarna, en 2009 se implementaron algoritmos genéticos para resolver horarios universitarios por Ossam Chohan como trabajo para obtención de un master [2]. En la Universidad Veracruzana se realizó la misma implementación para un grado de maestría, restringiendo el problema a su departamento de psicología [1]. En Universidad de Leicester se publicó un documento científico sobre el problema de asignación de horarios y cursos utilizando algoritmos genéticos [3].

Actualmente en el departamento de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica de la Universidad del Valle de Guatemala se realiza la programación de los horarios de los cursos con sus respectivos profesores por medio de un método manual, lo cual es una actividad que consume tiempo significativo al director del departamento. Por ello se desea explorar diferentes métodos para solucionar el problema. Entre los métodos más destacados para resolver problemas como los de asignación de horarios, que poseen una complejidad debido al número de restricciones dentro de ellos, están los algoritmos genéticos. Con un programa que implemente un algoritmo genético cambiando los parámetros del mismo se pueden explorar diferentes soluciones que posiblemente no se habían tomado en cuenta al realizarlo de manera manual, que con parámetros adecuados puede lograr una solución o acercarse a una de ellas reduciendo el tiempo empleado en la asignación de cursos del departamento.

### 4.1. Objetivo general

Comparar las diferentes soluciones obtenidas por tres algoritmos genéticos para el problema de asignación de horarios y profesores a los cursos del departamento de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica de la Universidad del Valle de Guatemala

### 4.2. Objetivos específicos

- Diseñar tres algoritmos genéticos para la programación de los horarios y profesores en los cursos del departamento de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica de la Universidad del Valle de Guatemala.
- Los algoritmos deben cumplir con las restricciones: no se debe permitir el traslapes entre cursos de un mismo semestre, se debe tomar en cuenta que un mismo profesor puede dar clases a estudiantes de diferentes años, se debe tomar en cuenta la disponibilidad de los laboratorios.
- Los algoritmos deberán correr en múltiples plataformas.
- El algoritmo debe tener como entradas: el plan de estudios, horarios prohibidos y cantidad de secciones por curso

En este trabajo de graduación se logró implementar un programa que recibe diferentes parámetros, con el que se pueden comparar diferentes variaciones de algoritmos genéticos para analizar el comportamiento de estos y lograr conseguir una solución cercana o completa que ayude al departamento a guiarse en ella para reducir significativamente el tiempo que empleado en la programación de horarios con su respectivo profesor en los cursos del departamento de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica de la Universidad del Valle. El programa puede recibir cualquier cantidad de planes de estudio pero en el trabajo se utilizan los nuevos planes para analizar las variaciones de los algoritmos genéticos.

## 6.1. Introducción a algoritmos evolutivos

### 6.1.1. Inicios históricos

Desde los finales de la década de los 50's y principios de los 60's el biólogo Alex S. Fraser ya trabajaba la evolución de sistemas biológicos en una computadora digital [4, p. 605]. Fraser concretó el primer paso para utilizar la evolución como inspiración en los algoritmos genéticos. En 1962 Bremermann publicó [5, see] donde innovaba siendo el primero en ver la evolución como un proceso de optimización, utilizando simulaciones con cadenas binarias y aplicando los términos de reproducción, selección y mutación. Los algoritmos evolutivos son basados en una meta-heurística de optimización, inspirados en mecanismos biológicos tales como la mutación, el cruzado (crossover), selección natural, y la supervivencia del más apto a través de la iteración de generaciones. [6]

### 6.1.2. Principios básicos de la naturaleza

En 1859 se publicó *El origen de las especies* de Darwin [7] en este libro se explican los principios de la selección natural y supervivencia del más apto como herramientas impulsoras en la evolución biológica. En la naturaleza es constante la competencia por obtener recursos como un refugio, comida, agua, etc. Se observa que incluso miembros de la misma especie deben competir entre ellos mismos para encontrar un compañero y lograr reproducirse. Los compañeros más aptos son los que tienen una probabilidad mayor a sobrevivir y directamente proporcional es la probabilidad de producir un número mayor de descendientes. Los algoritmos genéticos son una analogía directa a lo que sucede en el comportamiento de la naturaleza.

### 6.1.3. Ciclo básico de los algoritmos evolutivos

Los algoritmos evolutivos se pueden clasificar en dos ramas: los que son simple-objetivo y los multi-objetivo estos últimos tratan de optimizar más de una variable, que en muchos casos es conflictivo y resulta más conveniente permitir al algoritmo converger a una solución óptima utilizando los conceptos de la evolución. Los MOEA nos permiten obtener una optimización con múltiples criterios en base de una evolución artificial [8].

Todo el proceso de evolución de un algoritmo evolutivo es el siguiente:

1. **Población inicial:** Se genera una población con individuos  $p$  creados con un genoma base aleatorio.
2. **Evaluación:** Se califica cada uno de los individuos de la población según los valores de su genoma utilizando una función Fitness.
3. **Selección:** Utilizando los valores de los individuos generados por la función Fitness se seleccionan los individuos más aptos.
4. **Reproducción:** Se generan nuevos individuos copiando los padres más óptimos.
5. **Crossover:** Utilizando la reproducción se crean individuos con características de dos padres considerados aptos y diferentes.
6. **Mutación:** Se añaden variaciones aleatorias en los genomas de los individuos generados después de aplicar el crossover.

#### 6.1.4. Configuración de parámetros de algoritmos evolutivos

Los parámetros básicos que deben ser configurados en los algoritmos evolutivos están ilustrados en la Figura de ellos depende el desempeño de un algoritmo evolutivo.

1. **Parámetros básicos:** La definición del tamaño de la población, tipos de cruzamiento y tasas de mutación.
2. **Archivado de datos:** Se debe tomar en cuenta el espacio utilizado y selección de tecnología empleada para simular el algoritmo evolutivo, evitando un overflow de los datos
3. **Proceso de calificación Fitness:** Se deben definir las cualidades que deben tener los individuos para tener claro cuales cualidades merecen recompensa y cuales una penalización, así también el criterio de selección de los individuos más aptos.
4. **Espacio y operaciones de búsqueda:** Definir el espacio de búsqueda. Definir las operaciones de búsqueda.
5. **Mapeo de genotipo-fenotipo:** Se debe hacer una relación entre los genotipos y fenotipos para conectar el espacio de búsqueda con el espacio del problema.

### 6.1.5. Aplicaciones

Las aplicaciones de los algoritmos evolutivos son diversas, en el cuadro 1 están algunas de ellas. El cuadro completo puede verse en [9, p.105].

Aplicación	Referencia
Optimización de funciones	[10]
Optimización multi-objetivo	[11]
Optimización combinatorial	[12]
Ingeniería estructural	[13]
Economía y finanzas	[14]
Biología	[15]
Minería de datos y análisis de datos	[16]

Cuadro 1: Aplicaciones de algoritmos evolutivos

## 6.2. Algoritmos genéticos

### 6.2.1. Espacio de búsqueda

Los algoritmos genéticos se pueden restringir como métodos de optimización que por lo general son dados de la siguiente manera [17]:

$$\text{Encontrar un } x_0 \in X \text{ tal que } f \text{ sea máxima en } x_0 \text{ donde } f : X \rightarrow R \quad (1)$$

es una función arbitraria de valores reales.

En la práctica es casi imposible obtener soluciones globales como en 1 en función del contexto puede ser suficiente encontrar un óptimo local que sea suficientemente cercano al óptimo global. En el espacio  $X$  se puede hacer la analogía a un sistema con cierta configuración, en la cual las variables se utilizan como herramienta para medir su calificación. Nos interesa de esta manera obtener sistemas con una configuración que proporcione una calificación mayor.

**Definición 6.2.1.** *Asumiendo que  $S$  es una lista de objetos que poseen la estructura de las variables necesarias para calificar el sistema.  $X$  es el espacio de búsqueda de optimización. Entonces una función*

$$c : X \longrightarrow S, x \longmapsto c(x)$$

llamada **función de codificación** [17]. En caso contrario una función de forma

$$\tilde{c} : S \longrightarrow X, s \longmapsto \tilde{c}(s)$$

es llamada **función de decodificación** [17].

En la práctica es de notar que las funciones a codificar o decodificar, que son muy diferentes según las necesidades del problema a resolver, no son necesariamente biyectivas. En muchos casos es útil trabajar con funciones de decodificación inyectivas.

$$c \circ \tilde{c} \equiv id_s$$

Por lo que podemos decir que en general la codificación de maximización sería

Encontrar un  $s_0 \in S$  tal que  $f = (f \circ c)$  tan grande como sea posible

### 6.2.2. Inicialización

La inicialización es el primer paso de un algoritmo genético, se generan de manera aleatoria los *individuos* de la primera generación. Dentro de cada *generación* existen diferentes *individuos* donde cada uno de ellos es una solución del problema a resolver. Cada individuo posee diferentes variables denominadas *genes*. El conjunto de todos los *genes* de un individuo es llamado  *cromosoma*.

### 6.2.3. Fitness (Función de aptitud)

La función de aptitud denominada *fitness* determina un valor objetivo para cada individuo. La probabilidad de supervivencia de un individuo es directamente proporcional a su valor de fitness por lo que las soluciones compiten por sobrevivir.

### 6.2.4. Selección

El objetivo principal del paso de selección es utilizar los valores de la función de aptitud para elegir y guiar a los mejores individuos que serán padres de los nuevos individuos en la siguiente generación.

### 6.2.5. Crossover (cruzado)

El *crossover* es una parte importante y crítica en un algoritmo genético. Se crean nuevos hijos a partir de los genes de dos padres óptimos para el cruce. Este mecanismo es una herramienta muy poderosa ya que introduce nuevo material genético y mantiene la diversidad en las soluciones. Está determinado que el *crossover* es una de las razones por las cuales la reproducción sexual se adapta más rápido que la reproducción asexual [17]. Uno de los principales tipos de *crossover* de los algoritmos genéticos son los denominados *One-point crossover* a continuación se mencionarán diferentes tipos de crossover.

**Crossover de N-Puntos:** En lugar de elegir solo un punto específico, se genera un número N aleatorio para dividir el cromosoma del individuo en N así intercambiar la mitad de las partes entre cromosomas.

**Crossover segmentado:** Es una variación del crossover de N-Puntos donde la cantidad de puntos de quiebre puede variar.

**Crossover uniforme:** para gen se decide de manera aleatoria si este será o no será cruzado.

### 6.2.6. Mutación

En el paso de mutación para un algoritmo genético se deforma la solución para garantizar la diversidad de los individuos. Todos los genes dentro de un individuo deben tener la misma probabilidad de ser o no mutados que los demás genes. Además la mutación previene que el algoritmo se estanque en una convergencia prematura.

## 6.3. Complejidad de un problema de tipo programación de horarios

Suponiendo que se tiene una lista de tareas asignadas a un procesador. Cada una de estas tareas consumen una cierta cantidad de tiempo y ganancia. Para obtener un beneficio la tarea debe ser finalizada. Un algoritmo óptimo es aquel que utilizando el mismo número de tareas logra una ganancia máxima.

### 6.3.1. NP-hardness

**P:** clase de problemas que pueden ser solucionados en tiempo polinomial, **NP:** Clase de problemas que se pueden verificar en tiempo polinomial, pero aún no se conocen algoritmos polinomiales.

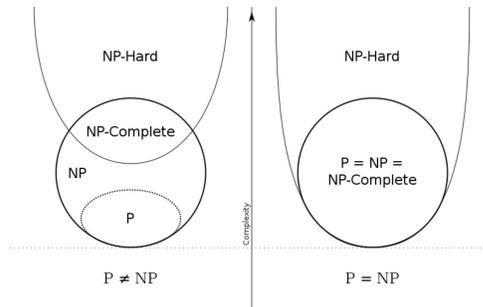


Figura 1: Diagrama de Euler de la familia de problemas

Dentro de los problemas NP tenemos un subconjunto peculiar, los NP-Completos, problemas que pueden reducirse partiendo de otro problema NP, podemos observarlo en la Figura 1. **NP-Hard:** son problemas que se sabe al menos son tan difíciles como uno de clase NP-Completo.

### 6.3.2. Otras posibles soluciones

El objetivo de la programación de horarios es optimizar el tiempo de forma multi-objetiva por lo que es necesario utilizar métodos que nos proporcionen soluciones en función de varias restricciones. Otros posibles métodos para resolver el problema de programación de horarios se encuentran la programación con restricciones, búsqueda local, programación matemática, simulación de recocido, sistema inmunitario artificial etc [18].

## 6.4. Información del departamento

Actualmente en la Universidad del Valle de Guatemala, en el departamento de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica, los horarios se diseñan de manera manual, lo cual consume tiempo no despreciable para el cuerpo administrativo del departamento.

### 6.4.1. Archivos de información

Actualmente existen varios archivos que contienen la información necesaria para diseñar los horarios en el departamento de ingeniería Electrónica y Mecatrónica de la Universidad del Valle de Guatemala, el cual de ahora en adelante llamaremos *el departamento*. A continuación se listarán todos los archivos proporcionados por el departamento en el cuadro 2.

Nombre del archivo	Descripción
demanda2018Ciclo2	Archivo que contiene la demanda por curso para el semestre a asignar. En este archivo se tiene el número de posibles alumnos que puedan y posiblemente quieran asignarse un curso en específico.
planE2016	Contiene en formato csv el plan de estudios 2016 para estudiantes de Ingeniería Electrónica.
planM2016	Contiene en formato csv el plan de estudios 2016 para estudiantes de Ingeniería Mecatrónica

Cuadro 2: Archivos con información para diseñar horarios en el departamento

### 6.4.2. Laboratorios

El departamento cuenta con dos laboratorios para realizar las sesiones de prácticas en los cursos. Los laboratorios están disponibles durante los diecisiete periodos al día que pueden ser impartidos en la universidad de lunes a viernes. Por lo que uno de los retos en el espacio de búsqueda encontrar una configuración de periodos que permitan satisfacer la demanda de estudiantes en los dos laboratorios.

## 6.5. Programación funcional utilizando Python

Python permite implementar códigos con estilo de programación funcional. La programación funcional permite descomponer un problema en una lista de funciones, idealmente son funciones que únicamente poseen entradas y sus salidas, estas no poseen estados internos que afecten las salidas producidas [19]. Un diseño funcional nos proporciona ventajas como una lógica demostrativa, modularidad, capacidad de compilación y facilidad de depuración y pruebas.

Uno de los principales beneficios dentro de la programación funcional de Python es la modularidad que ofrece, donde es obligatorio partir el problema en pequeñas piezas. Debido a la programación funcional, se deben escribir cierto número de funciones que varían sus entradas y salidas, algunas de estas funciones son inevitablemente especializadas para una aplicación específica, pero algunas otras podrán ser recicladas en otros programas y aplicarlas en diferentes situaciones. Teniendo funciones generalmente pequeñas y claramente específicas las pruebas y depuraciones son más fáciles de aplicar [19].

---

## Introducción al problema de programación de horarios

---

El problema de programación de horarios posee una complejidad de tipo NP-Hard. Actualmente en el departamento de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica de la Universidad del Valle de Guatemala se realiza este proceso de manera manual, esto claramente consume un tiempo significativo al cuerpo administrativo del departamento. Se usarán algoritmos genéticos como método de optimización para encontrar una solución a partir de las restricciones actuales en el departamento. La cantidad de restricciones que conlleva la asignación de horarios en el departamento no es despreciable entre ellas tenemos la cantidad de laboratorios disponibles para los alumnos, el horario disponible de los profesores, jornada preferida ya sea en la mañana para los estudiantes de primer y segundo año y en la tarde para los estudiantes de tercer año en adelante. Los horarios prohibidos, que son horarios en los que otros departamentos como el departamento de matemática, mecánica o computación ya han colocado y por lo mismo ya están ocupados.

El departamento utiliza la demanda brindada por la secretaria de la universidad para conocer la cantidad de estudiantes posibles a asignarse a un curso dentro de su departamento, conociendo la cantidad de alumnos posibles a asignarse un curso en específico se define la cantidad máxima de estudiantes en una sección para calcular la cantidad de secciones necesarias para ese curso. Es vital tener una idea de la cantidad de secciones en función de la demanda para contratar profesores y suplirla. Debido a la cantidad de restricciones es conveniente utilizar un método multi-objetivo para resolver el problema, implementar un algoritmo genético como meta-heurística nos ayudan a escapar de óptimos locales y lograr encontrar una solución más conveniente para el departamento.

## 7.1. Información necesaria para resolver el problema

### 7.1.1. Demanda del departamento

La demanda proporciona la información necesaria para saber cuántas personas querrán asignarse un curso, tomando en cuenta los requisitos superados por los estudiantes. La información está contenida en un archivo de hoja de cálculo de la siguiente manera en la Tabla 7.

Código	Nombre del Curso	En Tiempo: NO	En Tiempo: SI	Total
IE...	Circui...	x	y	x+y

Cuadro 3: Estructura archivo de demanda

### 7.1.2. Programas de estudios

Los programas de estudio son archivos con valores separados por comas, CSV por sus siglas en inglés. Los programas de estudio son generados en el departamento y contienen los cursos correspondientes para cada semestre, cantidad de periodos de laboratorio, cantidad de periodos de teoría, código del curso y nombre del curso. Actualmente en el departamento debido al cambio de pensum se utilizan cuatro diferentes programas de estudios listados en el Cuadro 4.

Nombre de Archivo	Descripción
PlanE2016	Plan de estudios Electrónica 2016
PlanM2016	Plan de estudios Mecatrónica 2016
PlanE2010	Plan de estudios Electrónica 2010
PlanM2010	Plan de estudios Mecatrónica 2010

Cuadro 4: Planes de estudios

### 7.1.3. Horario de laboratorios

Actualmente el departamento posee a su disposición dos laboratorios para realizar las prácticas en los cursos, el tiempo en estos dos laboratorios debe ser administrado de manera correcta para lograr satisfacer la demanda de periodos durante el semestre. Los laboratorios puede ser utilizado por alumnos de Electrónica y Mecatrónica en todos los años de la carrera. El laboratorio tiene diecisiete periodos disponibles desde las 7:00 A.M hasta las 9:15 P.M como podemos observar en la Figura 2.

Laboratorio							
Código							
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes
1	7:00	7:45					
2	7:50	8:35					
3	8:40	9:25					
4	9:30	10:15					
Receso	10:15	10:40					
5	10:40	11:25					
6	11:30	12:15					
7	12:20	13:05					
8	13:10	13:55					
9	14:00	14:45					
10	14:50	15:35					
11	15:40	16:25					
12	16:30	17:15					
13	17:20	18:05					
14	18:10	18:55					
15	19:00	19:45					
16	19:50	20:35					
17	20:40	21:15					

Figura 2: Periodos disponibles de los laboratorios

#### 7.1.4. Horario de profesores

Los profesores deben poder seleccionar el horario que tienen disponible para impartir los cursos y la cantidad de secciones de teoría y laboratorio que se desea estén a su cargo. Para poder implementar esta información dentro de un algoritmo genético se crearon archivos de hoja de cálculo donde se coloca un símbolo de  $x$  en los periodos que el profesor está disponible para impartir los cursos, así también existen las columnas para ingresar los datos del código de curso a impartir, cantidad de secciones de teoría y cantidad de secciones de laboratorio en casos donde el curso lo requiera. Este archivo se encuentra dentro de la carpeta data del proyecto y tiene el nombre de *profesores.xlsx*.

Profesor								Cursos		
Nombres:				Profesor4				Codigo	Secciones Teoría	Secciones Lab
Apellidos:				Apellido1 Apellido2						
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes			
1	7:00	7:45	x	x	x	x	x	IE2011	1	0
2	7:50	8:35	x	x	x	x	x	IE2010	3	2
3	8:40	9:25	x	x	x	x	x	IE2013	1	0
4	9:30	10:15	x	x	x	x	x			
Receso	10:15	10:40								
5	10:40	11:25	x	x	x	x	x			
6	11:30	12:15	x	x	x	x	x			
7	12:20	13:05	x	x	x	x	x			
8	13:10	13:55	x	x	x	x	x			
9	14:00	14:45	x	x	x	x	x			
10	14:50	15:35	x	x	x	x	x			
11	15:40	16:25	x	x	x	x	x			
12	16:30	17:15	x	x	x	x	x			
13	17:20	18:05	x	x	x	x	x			
14	18:10	18:55	x	x	x	x	x			
15	19:00	19:45	x	x	x	x	x			
16	19:50	20:35	x	x	x	x	x			
17	20:40	21:15	x	x	x	x	x			

Figura 3: Información de profesores

Al hacer la introducción de los datos con este modelo, la cantidad de periodos disponibles del profesor debe ser igual o mayor a los periodos necesarios totales solicitados en la columna de cursos es una restricción implícita para permitir al algoritmo ejecutarse sobre un espacio de búsqueda válido.

### 7.1.5. Horarios prohibidos

Cada semestre mientras se diseñan los horarios del departamento surgen varios conflictos por ejemplo, el departamento de matemáticas necesita que los periodos de cálculo 1 se impartan los martes y jueves en los periodos 4, 5 y 6. Para resolver los conflictos entre departamentos se definen los , periodos específicos que no deben ser asignados por el departamento para prevenir este tipo de errores.

Para ingresar los horarios se creó una hoja de cálculo con la matriz de horarios de lunes a viernes donde se debe llenar los periodos prohibidos con una  $x$ . Esta restricción es en función del año en la carrera, para asegurar que todos los estudiantes que deben llevar dicho curso en el plan de estudios, no tengan problema al momento de hacerlo.

Horarios prohibidos							
Año:				1			
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes
1	7:00	7:45					x
2	7:50	8:35					x
3	8:40	9:25					x
4	9:30	10:15					x
Receso	10:15	10:40					
5	10:40	11:25	x	x	x	x	x
6	11:30	12:15	x	x	x	x	x
7	12:20	13:05	x	x	x	x	x
8	13:10	13:55					
9	14:00	14:45					
10	14:50	15:35					
11	15:40	16:25					
12	16:30	17:15					
13	17:20	18:05					
14	18:10	18:55					
15	19:00	19:45					
16	19:50	20:35					
17	20:40	21:15					

Figura 4: Información de horarios prohibidos

Diseño de algoritmo genético

Se utilizó como base el principio de la naturaleza que tienen los algoritmos genéticos, se poseen varios individuos en una generación inicial. Por medio de la calificación de la función de aptitud se crean parejas de individuos que posteriormente serán cruzadas. Después de realizar el crossover se aplica la mutación donde en función de una probabilidad se destruye un gen de los individuos y se crea uno nuevo.

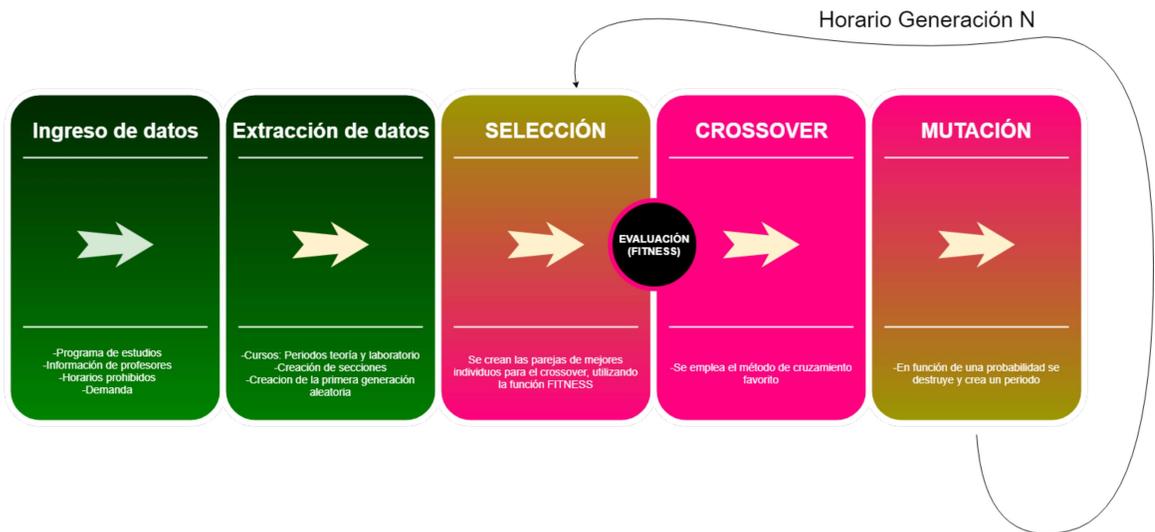


Figura 5: Diagrama de flujo del algoritmo genético

## 8.1. Ingreso de datos

El ingreso de datos necesita el archivo de la demanda, el horario y cursos seleccionados por los profesores como en la Figura 3, número de laboratorios disponibles y horarios prohibidos de cada año como en la Figura 4.

## 8.2. Extracción de datos

Después de tener los archivos correspondientes con la información mínima necesaria, se ejecuta la extracción de datos. Se calculan las secciones necesarias para satisfacer la demanda, se crean los objetos tipo curso, sección, periodo, profesor, laboratorio, periodo prohibido y laboratorio. Esto podemos verlo en el siguiente diagrama UML de los objetos en la Figura 6.

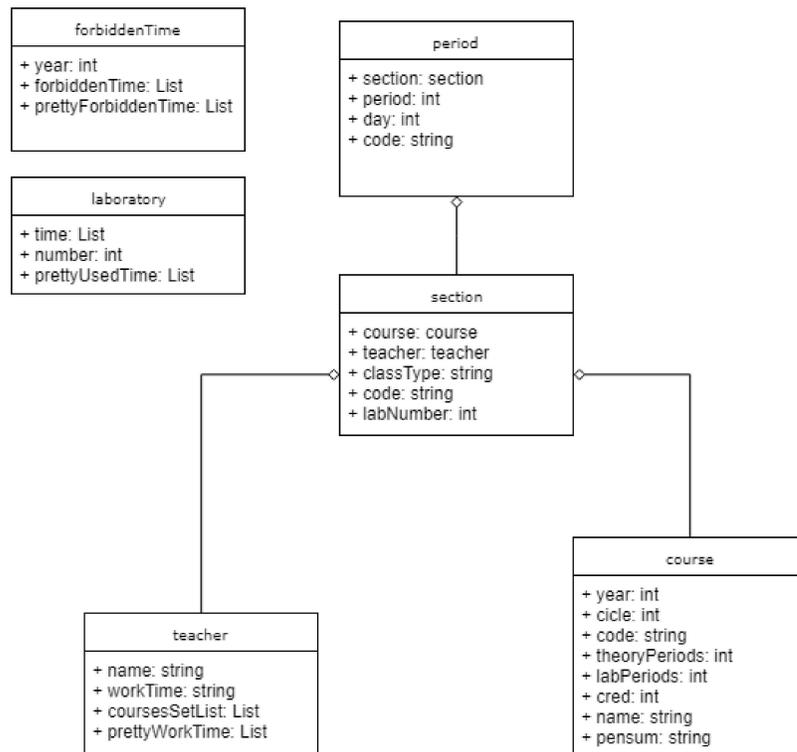


Figura 6: Diagrama UML: objetos del horario

A partir de la demanda se crean las secciones, con su profesor generado aleatoriamente, luego cada sección posee un número específico de periodos de laboratorio y teoría, a partir de esta información de los archivos de los planes de estudio del Cuadro 6, se crean los periodos con sus respectivos parámetros generados aleatoriamente: periodo (posición) y día.

### 8.2.1. Modelado de los individuos

Cada generación posee un número  $N$  de individuos, los individuos están representados por medio de una lista en la cual no importa la posición en la que se encuentran de la siguiente manera:

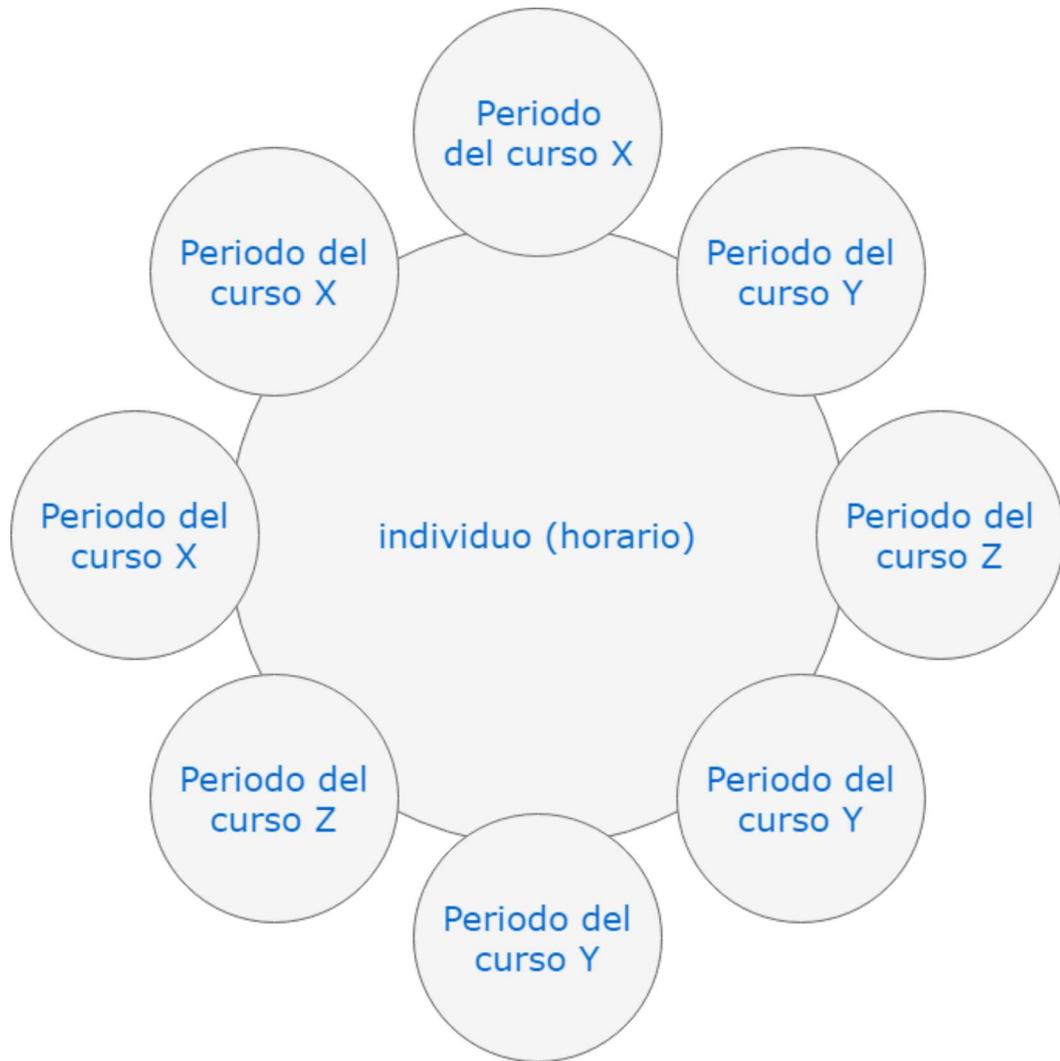


Figura 7: Codificación de individuos (Horarios)

Podemos notar en la estructura de los individuos de la Figura 7, donde cada gen de este es un objeto tipo periodo el cual dentro de su estructura posee una sección, un periodo (Estos pueden ser entre las 7:00 A.M y las 9:15 P.M haciendo un total de 17 periodos codificados del 0 al 16), día (codificado entre 0 y 4 ya sea de lunes a viernes) y el código de la sección.

### 8.2.2. Códigos de Sección

En la codificación de los individuos permanece la codificación actual de secciones de teoría y laboratorio. Donde para cada código de sección, el primer dígito pertenece al número de sección en general, si el segundo dígito es cero entonces pertenece a una sección de teoría, si el segundo dígito es un entero mayor a cero entonces pertenece a una sección de laboratorio y ese entero es su código de sección de laboratorio.



Figura 8: Ejemplo codificación de Sección de teoría



Figura 9: Ejemplo codificación de Sección de Laboratorio

### 8.3. Selección

En la Figura 5 tenemos el diagrama de flujo del algoritmo genético, el paso previo a realizar el crossover es la selección. La selección es el paso del algoritmo que define quienes son los individuos que merecen combinar sus genes con otros, para esto se utiliza la función FITNESS. Se mide la aptitud de cada individuo y se generan parejas de padres que posteriormente serán cruzadas.

#### 8.3.1. FITNESS (Función de aptitud)

La función de aptitud es utilizada para calificar a cada uno de los individuos y conocer a la élite dentro de cada generación, así mismo nos permite conocer a los individuos más aptos, que serán elegidos para hacer el crossover. La función de aptitud para un problema como la programación de horarios en el departamento de Electrónica y Mecatrónica de la Universidad del Valle de Guatemala debe contener las siguientes restricciones:

<b>Profesores</b>	
<b>Restricción</b>	<b>Descripción</b>
Curso para el profesor	El curso perteneciente al periodo está dentro de los necesitados para su profesor.
Horario profesor	La posición del periodo está dentro de las seleccionadas por el profesor.
No repetidos	El profesor no debe tener dos periodos a la misma tiempo.
<b>Periodos de teoría y laboratorio</b>	
<b>Restricción</b>	<b>Descripción</b>
Periodo cercano	El periodo posee en su casilla superior o inferior un periodo de la misma sección
No repetidos	Una sección no puede tener sus periodos el mismo día y en la misma posición.
Día	Es preferible que al menos tres periodos, si el curso lo permite, se impartan de manera continua.
<b>Periodos prohibidos</b>	
<b>Restricción</b>	<b>Descripción</b>
Periodos prohibidos	Los periodos de cada sección no pueden posicionarse en los horarios prohibidos para el año de ese curso.
<b>Año</b>	
<b>Restricción</b>	<b>Descripción</b>
No repetir	No se pueden tener dos periodos en la misma posición para un mismo año.
Buen tiempo	Para cada año, el horario preferible de impartir los cursos, por ejemplo: Primer año en la mañana, tercer año por la tarde.

Cuadro 5: Restricciones de la función de aptitud

## 8.4. Crossover (Cruzamiento)

El cruzamiento obtiene de la selección las parejas de individuos que compartirán sus genes de diferentes maneras según el tipo de cruzamiento. En la implementación del algoritmo se utilizaron tres diferentes tipos de crossover.

### 8.4.1. Corte de punto medio

En el crossover con corte de punto medio se dividen justamente por la mitad a los dos individuos padres para crear el nuevo individuo hijo con el nuevo horario proveniente de la mezcla de dos individuos con una aptitud alta definida por la función FITNESS.

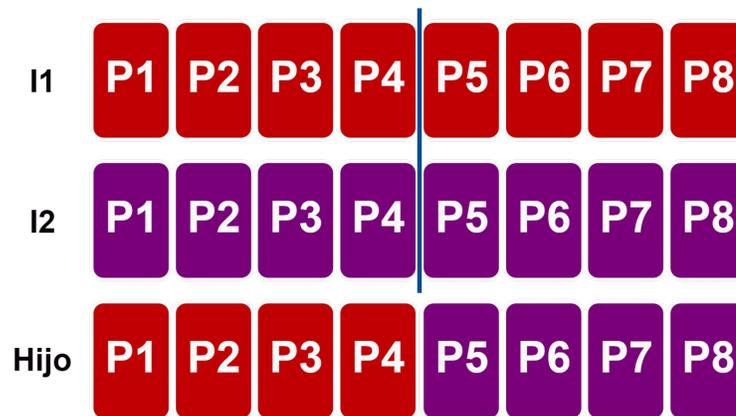


Figura 10: Crossover con corte de punto medio

### 8.4.2. Corte de punto aleatorio

En el crossover con corte de punto aleatorio se divide en dos partes a los padres de forma parecida al crossover con corte de punto medio pero en este caso no es necesariamente simétrico.

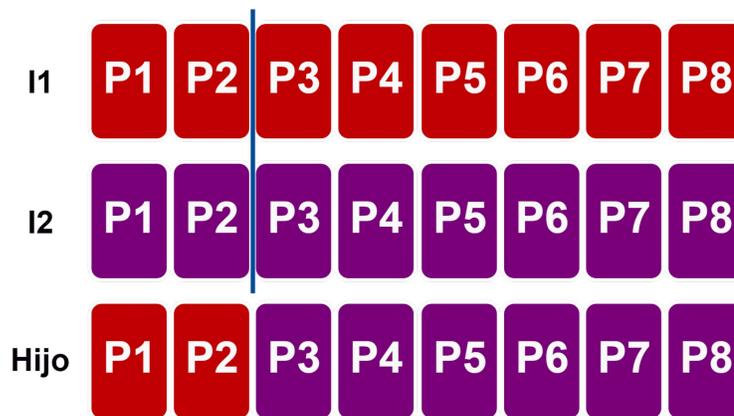


Figura 11: Crossover con corte de punto aleatorio

### 8.4.3. Crossover aleatorio

En el crossover aleatorio para cada gen dentro del individuo se le permite a los dos padres heredar ese gen con la misma probabilidad. En otras palabras se tira una moneda para cada gen y en un caso este gen lo hereda el individuo padre 1, y para el caso contrario lo hereda el individuo padre 2.

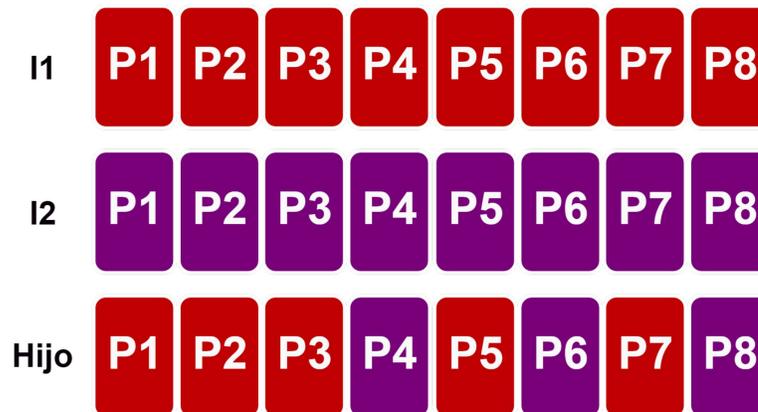


Figura 12: Crossover aleatorio

## 8.5. Mutación

La mutación permite la diversidad dentro de los individuos y ayuda a escapar de óptimos locales. La probabilidad de mutación de los genes de un individuo debe poder ser ingresada antes de correr el algoritmo para poder observar como se comportan los horarios a la tasa de mutación del algoritmo. Prácticamente se define una probabilidad para mutar un gen y si es positiva se destruye el gen y se vuelve a crear uno nuevo mutado, con nuevos valores aleatorios.



Figura 13: Mutación de un individuo

## 8.6. Salida de datos

La salida de los datos procesados por el algoritmo es por medio de hojas de cálculo. El algoritmo genético permite escribir tres hojas de cálculo que contienen el horario de los estudiantes agrupado por año, el horario de los laboratorios agrupado para cada laboratorio y el horario de los profesores agrupado para cada profesor. En el Cuadro 6 tenemos la descripción de cada uno de estos archivos.

Nombre del archivo	Descripción
horarioEstudiantes	Horario de estudiantes agrupado por año
horarioLaboratorios	Horario de los laboratorios agrupado por laboratorio.
horarioProfesores	Horario de profesores agrupado por profesor.

Cuadro 6: Archivos de salida de datos

### 8.6.1. Archivo: Horario estudiantes

El archivo *horarioEstudiantes* contempla la salida agrupada por año de los estudiantes, divididas por hoja. Posee dos columnas donde se muestra la lista completa de códigos asignados para el año específico.

Año								Secciones			
Código			1					Código	Profesor	Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes				
1	7:00	7:45						10IE2016	profesor1_apellidoapellido2		
2	7:50	8:35		10IE2016							
3	8:40	9:25		10IE2016							
4	9:30	10:15		10IE2016							
Receso	10:15	10:40									
5	10:40	11:25									
6	11:30	12:15									
7	12:20	13:05									
8	13:10	13:55									
9	14:00	14:45									
10	14:50	15:35									
11	15:40	16:25									
12	16:30	17:15									
13	17:20	18:05									
14	18:10	18:55									
15	19:00	19:45									
16	19:50	20:35									
17	20:40	21:15									

	Periodo Prohibido
	Periodo Error: Posible Cruzado
	Periodo Libre

Figura 14: Archivo de salida de estudiantes

Dentro de la hoja de cálculo las celdas pintadas de color amarillo representan los periodos prohibidos para el año. Las celdas pintadas de color rojo representa cuando una posición específica posee dos secciones al mismo tiempo, en caso de ser dos secciones del mismo tipo de curso no habría problema. En el caso donde se repiten dos periodos de la misma sección a la misma hora es un error en el horario.

### 8.6.2. Archivo: Horario profesores

El archivo *horarioProfesores* contempla la salida agrupada por un profesor en cada una de sus hojas. Se tiene también una columna con la lista de secciones que el profesor debe impartir en la solución.

No. Per.	Profesor							Secciones				
	Nombre		profesor1_apellidoap					Código	Profesor		Código	Profesor
	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes					
1	7:00	7:45						12IE3028	profesor1_apellidoapellido2			
2	7:50	8:35		21IE3028				21IE2009	profesor1_apellidoapellido2			
3	8:40	9:25	21IE3028					10IE2016	profesor1_apellidoapellido2			
4	9:30	10:15	21IE3028		21IE3028			10IE2010	profesor1_apellidoapellido2			
Receso	10:15	10:40						30IE2009	profesor1_apellidoapellido2			
5	10:40	11:25						10IE3049	profesor1_apellidoapellido2			
6	11:30	12:15										
7	12:20	13:05										
8	13:10	13:55			21IE3028							
9	14:00	14:45	12IE3028		21IE3028							
10	14:50	15:35										
11	15:40	16:25					21IE2009					
12	16:30	17:15					21IE2009					
13	17:20	18:05					21IE3028					
14	18:10	18:55					21IE3028					
15	19:00	19:45					21IE2009					
16	19:50	20:35	21IE3028									
17	20:40	21:15		21IE3028	21IE3028							

Figura 15: Archivo de salida de profesores

### 8.6.3. Archivo: Horario laboratorios

Como podemos observar en el Cuadro 6, el archivo *horarioLaboratorios* agrupa el horario por laboratorios en cada hoja. Los periodos rojos representan los periodos en la misma posición, generando un conflicto en el horario.

Laboratorio								Secciones			
Código			0					Código	Profesor	Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes				
1	7:00	7:45			22IE2009		21IE2010	21IE2010	Profesor4_Apellido1Apellido2		
2	7:50	8:35		11IE2009				22IE2010	Profesor4_Apellido1Apellido2		
3	8:40	9:25	31IE2010	12IE2010				22IE2009	Profesor4_Apellido1Apellido2		
4	9:30	10:15			11IE3048			11IE3048	profesor5_Apellido1Apellido2		
Receso	10:15	10:40						31IE2010	Profesor4_Apellido1Apellido2		
5	10:40	11:25		12IE2010, 21IE3028	22IE2009, 11IE3048			32IE2010	profesor5_Apellido1Apellido2		
6	11:30	12:15	31IE2010	11IE2009	32IE2010			12IE2010	profesor5_Apellido1Apellido2		
7	12:20	13:05	31IE2010	23IE2010, 12IE2010, 11IE3049, 11IE2009	22IE2009			11IE2013	MaurucioRodrigo_Apellido1Apellido2		
8	13:10	13:55	11IE2013	11IE2013	22IE2010			11IE3049	profesor5_Apellido1Apellido2		
9	14:00	14:45		11IE3049	22IE2010		21IE2010	11IE2009	MaurucioRodrigo_Apellido1Apellido2		
10	14:50	15:35			22IE2010			21IE3028	MaurucioRodrigo_Apellido1Apellido2		
11	15:40	16:25	11IE2013								
12	16:30	17:15			11IE3048						
13	17:20	18:05		21IE3028	32IE2010						
14	18:10	18:55		11IE3049	32IE2010						
15	19:00	19:45									
16	19:50	20:35		21IE3028							
17	20:40	21:15									

Figura 16: Archivo de salida los laboratorios

En la sección de resultados se mostrará la convergencia de cada una de las variaciones individualmente para posteriormente en la sección de comparación definir cual se adapta mejor a las restricciones definidas por el departamento. En el modelo actual del algoritmo genético para creación de horarios del departamento se tienen que tomar en cuenta las siguientes entradas: Horarios prohibidos, Información de profesores y demanda descritos en el Cuadro 7, adicionalmente en el programa principal se deben ingresar la cantidad de la población, número máximo de generaciones, Porcentaje máximo de sobrevivientes y el número máximo de parejas.

Parámetro	Descripción
Población	Población inicial
Número máximo de generaciones	Número máximo de generaciones
Porcentaje máximo de sobrevivientes	Número máximo de población en todo momento.
Número máximo de parejas	De todas las parejas se dejaran un cantidad de ellas, el resto serán desechadas.

Cuadro 7: Parámetros del programa

Para poder comparar las diferentes variaciones se utilizarán únicamente los planes nuevos de estudio (planE2016 y planM2016), por lo que en la demanda el programa refleja únicamente cursos entre primer y tercer año, aún así el programa permite agregar cualquier número de planes de estudio y es posible agregar los planes viejos. También se ingresarán las mismas configuraciones de profesores, horarios prohibidos, demanda y algunos otros parámetros generales de la siguiente manera:

### 9.0.1. Parámetros generales: Horarios prohibidos

Horarios prohibidos							
Año:			1				
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes
1	7:00	7:45					x
2	7:50	8:35		x		x	x
3	8:40	9:25		x		x	x
4	9:30	10:15					x
Receso	10:15	10:40					
5	10:40	11:25					x
6	11:30	12:15			x		x
7	12:20	13:05			x		x
8	13:10	13:55					x
9	14:00	14:45					
10	14:50	15:35					
11	15:40	16:25					
12	16:30	17:15					
13	17:20	18:05					
14	18:10	18:55					
15	19:00	19:45					
16	19:50	20:35					
17	20:40	21:15					

Figura 17: Parámetros generales para horarios prohibidos - Año 1

Horarios prohibidos							
Año:			2				
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes
1	7:00	7:45	x				x
2	7:50	8:35	x				x
3	8:40	9:25					x
4	9:30	10:15			x		
Receso	10:15	10:40			x		
5	10:40	11:25					
6	11:30	12:15					
7	12:20	13:05	x		x		x
8	13:10	13:55	x		x		x
9	14:00	14:45					
10	14:50	15:35					
11	15:40	16:25					
12	16:30	17:15					
13	17:20	18:05					
14	18:10	18:55					
15	19:00	19:45					
16	19:50	20:35					
17	20:40	21:15					

Figura 18: Parámetros generales para horarios prohibidos - Año 2

Horarios prohibidos							
Año:				3			
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes
1	7:00	7:45					
2	7:50	8:35					
3	8:40	9:25					
4	9:30	10:15					
Receso	10:15	10:40					
5	10:40	11:25					
6	11:30	12:15					
7	12:20	13:05	x				x
8	13:10	13:55	x				x
9	14:00	14:45	x				x
10	14:50	15:35			x		
11	15:40	16:25			x		
12	16:30	17:15					
13	17:20	18:05					
14	18:10	18:55		x		x	
15	19:00	19:45		x		x	
16	19:50	20:35		x		x	
17	20:40	21:15					

Figura 19: Parámetros generales para horarios prohibidos - Año 3

### 9.0.2. Parámetros generales: Profesores

Profesor								Cursos		
Nombres:				profesor 1				Codigo	Secciones Teoría	Secciones Lab
Apellidos:				apellido apellido2						
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes			
1	7:00	7:45	x	x	x	x	x	IE3049	1	1
2	7:50	8:35	x	x	x	x	x	IE3048	1	0
3	8:40	9:25	x	x	x	x	x	IE2016	1	0
4	9:30	10:15								
Receso	10:15	10:40								
5	10:40	11:25								
6	11:30	12:15								
7	12:20	13:05								
8	13:10	13:55								
9	14:00	14:45								
10	14:50	15:35								
11	15:40	16:25								
12	16:30	17:15	x	x						
13	17:20	18:05	x	x						
14	18:10	18:55	x	x	x	x	x			
15	19:00	19:45	x	x	x	x	x			
16	19:50	20:35	x	x	x	x	x			
17	20:40	21:15	x	x	x	x	x			

Figura 20: Parámetros generales de profesores - profesor 1

Profesor								Cursos		
Nombres:				profesor 2				Codigo	Secciones Teoría	Secciones Lab
Apellidos:				Apellido1 Apellido2						
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes			
1	7:00	7:45	x	x	x	x	x	IE3048	0	1
2	7:50	8:35	x	x	x	x	x	IE2008	1	0
3	8:40	9:25	x	x	x	x	x	IE2009	2	2
4	9:30	10:15	x	x	x	x	x			
Receso	10:15	10:40								
5	10:40	11:25	x	x	x	x	x			
6	11:30	12:15	x	x	x	x	x			
7	12:20	13:05	x	x	x	x	x			
8	13:10	13:55			x					
9	14:00	14:45			x					
10	14:50	15:35			x					
11	15:40	16:25			x					
12	16:30	17:15			x					
13	17:20	18:05			x					
14	18:10	18:55			x					
15	19:00	19:45			x					
16	19:50	20:35			x					
17	20:40	21:15			x					

Figura 21: Parámetros generales de profesores - profesor 2

Profesor								Cursos		
Nombres:				profesor3				Codigo	Secciones Teoría	Secciones Lab
Apellidos:				Apellido1 Apellido2						
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes			
1	7:00	7:45						IE2008	0	1
2	7:50	8:35	x	x	x	x	x	IE2009	1	3
3	8:40	9:25	x	x	x	x	x	IE3028	2	3
4	9:30	10:15								
Receso	10:15	10:40	x	x	x	x	x			
5	10:40	11:25	x	x	x	x	x			
6	11:30	12:15	x	x	x	x	x			
7	12:20	13:05								
8	13:10	13:55	x	x	x	x	x			
9	14:00	14:45	x	x	x	x	x			
10	14:50	15:35	x	x	x	x	x			
11	15:40	16:25	x	x	x	x	x			
12	16:30	17:15	x	x	x	x	x			
13	17:20	18:05	x	x	x	x	x			
14	18:10	18:55	x	x	x	x	x			
15	19:00	19:45								
16	19:50	20:35								
17	20:40	21:15								

Figura 22: Parámetros generales de profesores - profesor 3

Profesor								Cursos		
Nombres:		profesor4						Codigo	Secciones Teoría	Secciones Lab
Apellidos:		Apellido1 Apellido2								
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes			
1	7:00	7:45	x	x	x	x	x	IE2011	1	0
2	7:50	8:35	x	x	x	x	x	IE2010	3	2
3	8:40	9:25	x	x	x	x	x	IE2013	1	0
4	9:30	10:15	x	x	x	x	x			
Receso	10:15	10:40								
5	10:40	11:25	x	x	x	x	x			
6	11:30	12:15	x	x	x	x	x			
7	12:20	13:05	x	x	x	x	x			
8	13:10	13:55	x	x	x	x	x			
9	14:00	14:45	x	x						
10	14:50	15:35	x	x						
11	15:40	16:25	x	x						
12	16:30	17:15	x	x						
13	17:20	18:05	x	x						
14	18:10	18:55	x	x						
15	19:00	19:45								
16	19:50	20:35								
17	20:40	21:15								

Figura 23: Parámetros generales de profesores - profesor 4

Profesor								Cursos		
Nombres:		profesor 5						Codigo	Secciones Teoría	Secciones Lab
Apellidos:		Apellido1 Apellido2								
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes			
1	7:00	7:45	x	x	x	x	x	IE2011	0	2
2	7:50	8:35	x	x	x	x	x	IE2010	0	4
3	8:40	9:25	x	x	x	x	x	IE2013	0	2
4	9:30	10:15	x	x	x	x	x			
Receso	10:15	10:40								
5	10:40	11:25	x	x	x	x	x			
6	11:30	12:15	x	x	x	x	x			
7	12:20	13:05	x	x	x	x	x			
8	13:10	13:55	x	x	x	x	x			
9	14:00	14:45	x	x	x	x	x			
10	14:50	15:35	x	x	x	x	x			
11	15:40	16:25				x	x			
12	16:30	17:15				x	x			
13	17:20	18:05				x	x			
14	18:10	18:55				x	x			
15	19:00	19:45				x	x			
16	19:50	20:35				x	x			
17	20:40	21:15				x	x			

Figura 24: Parámetros generales de profesores - profesor 5

### 9.0.3. Parámetros generales: Otros parámetros

Parámetros generales	Valor
Población	20,000
Número máximo de generaciones	200
Porcentaje máximo de sobrevivientes	35 %
Número máximo de parejas	100

Cuadro 8: Parámetros generales de la experimentación del algoritmo genético

Parámetros generales	Puntuación
Curso para el profesor	10
Horario profesor	20
Profesor: No repetido	5
Periodo cercano	100
Periodo: No repetido	10
Periodo: Día	50
Periodos prohibidos	5
Año curso: No repetir	20
Año: Buen tiempo	20

Cuadro 10: Parámetros para FITNESS generales

```
{'IE3049': 1, 'IE3048': 1, 'IE2016': 1, 'IE2008': 1, 'IE2009': 3, 'IE3028': 2, 'IE2011': 1, 'IE2010': 3, 'IE2013': 1}
{'IE3049': 1, 'IE3048': 1, 'IE2008': 1, 'IE2009': 5, 'IE3028': 3, 'IE2011': 2, 'IE2010': 6, 'IE2013': 2}
```

Figura 25: Cantidad de secciones generadas por la demanda

## 9.1. Variación 1: Mutación elevada

En la variación 1 se utilizará principalmente una mutación elevada con los siguientes parámetros:

Parámetros	Valor
Probabilidad de Mutación	50/100
crossover	corde de punto medio

Cuadro 9: Parámetros mutación elevada

### 9.1.1. Gráficas

Utilizando una mutación elevada como 50 de cada 100 periodos podemos notar en base a las Figuras 26 y 27 que no parecen muy eficientes ya que sobrepasar una puntuación anterior le llevo ya sea más de 60 segundos 26 o bien aproximadamente 75 generaciones 27

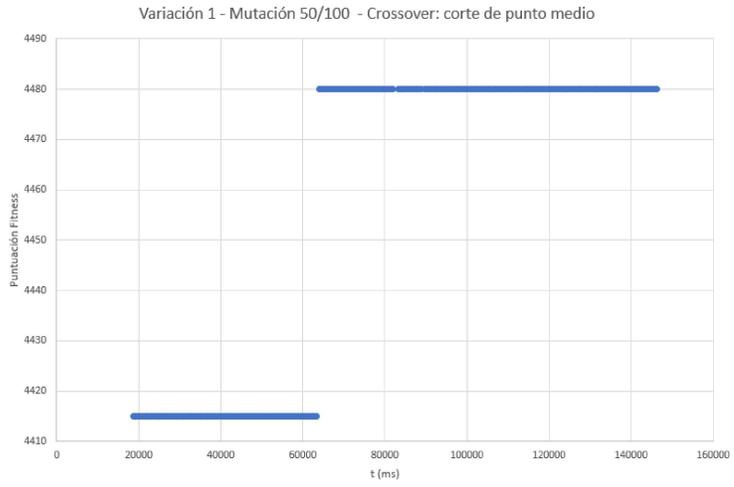


Figura 26: Mejor score de generación vs tiempo

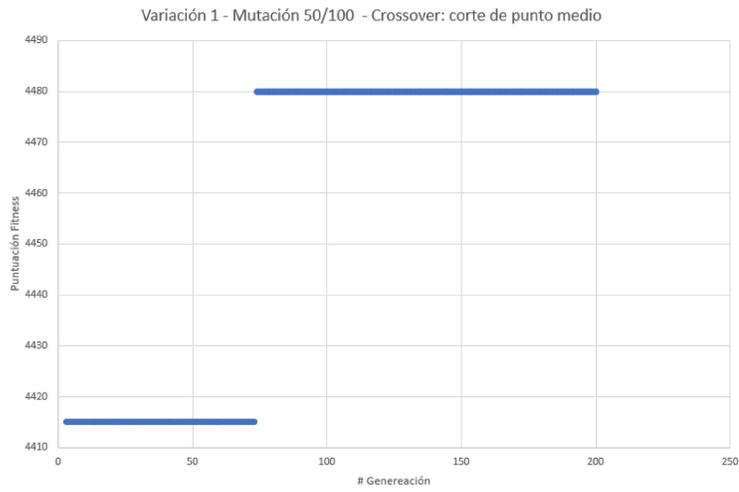


Figura 27: Mejor score de generación vs generación

### 9.1.2. Salidas en generación: 1

#### Salida: Estudiantes

Año								Secc	
Código			1					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						10IE2016 profesor2_Apellido1Apellido2	
2	7:50	8:35							
3	8:40	9:25							
4	9:30	10:15	10IE2016						
Receso	10:15	10:40							
5	10:40	11:25							
6	11:30	12:15							
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15		10IE2016					
13	17:20	18:05							
14	18:10	18:55				10IE2016			
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15							

Figura 28: Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 1 - año 1

Año								Secc	
Código			2					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						20IE2010 profesor2_Apellido1Apellido2	
2	7:50	8:35					10IE2008	20IE2009 profesor1_apellidoapellido2	
3	8:40	9:25	10IE2008					30IE2010 profesor3_Apellido1Apellido2	
4	9:30	10:15					20IE2009	10IE2010 profesor3_Apellido1Apellido2	
Receso	10:15	10:40						10IE2011 profesor1_apellidoapellido2	
5	10:40	11:25					10IE2009	30IE2009 profesor4_Apellido1Apellido2	
6	11:30	12:15	30IE2010			30IE2009		10IE2008 profesor1_apellidoapellido2	
7	12:20	13:05	20IE2010					10IE2009 profesor4_Apellido1Apellido2	
8	13:10	13:55			20IE2010				
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25			30IE2010	10IE2008	10IE2010		
12	16:30	17:15			10IE2011				
13	17:20	18:05				20IE2010			
14	18:10	18:55					30IE2009		
15	19:00	19:45					10IE2010		
16	19:50	20:35			10IE2010				
17	20:40	21:15		10IE2009	30IE2010	20IE2009	10IE2011		

Figura 29: Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 1 - año 2

Año								Secc	
Código			3					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45		10E3028				10E3028	profesor1_apellidoapellido2
2	7:50	8:35		10E3028	20E3028			10E3048	profesor4_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25			10E3049			10E2013	profesor4_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15						10E3049	profesor1_apellidoapellido2
Receso	10:15	10:40						20E3028	profesor5_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25							
6	11:30	12:15					10E2013		
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35				10E3048			
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05	10E3049, 20E3028				10E2013		
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45						10E2013	
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15					10E3049		

Figura 30: Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 1 - año 3

### Salida: Profesores

Profesor								Secc	
Nombre			profesor1_apellidoap					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45		21E3028			11E2008	22E2010	profesor1_apellidoapellido2
2	7:50	8:35		21E3028			21E3028	11E3049	profesor1_apellidoapellido2
3	8:40	9:25	21E3028		21E3028			11E2008	profesor1_apellidoapellido2
4	9:30	10:15					12E2009, 20E2009	12E2009	profesor1_apellidoapellido2
Receso	10:15	10:40						10E3028	profesor1_apellidoapellido2
5	10:40	11:25						20E2009	profesor1_apellidoapellido2
6	11:30	12:15					11E3049	10E2011	profesor1_apellidoapellido2
7	12:20	13:05						10E3049	profesor1_apellidoapellido2
8	13:10	13:55						10E2008	profesor1_apellidoapellido2
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35					12E2009		
11	15:40	16:25	12E2009		11E3049	10E2008			
12	16:30	17:15			21E3028				
13	17:20	18:05	21E3028						
14	18:10	18:55					22E2010, 11E2008		
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35			11E3049				
17	20:40	21:15			22E2010	20E2009,	21E3028		

Figura 31: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 1 - profesor 1

Profesor								Sección	
Nombre			profesor2_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						21E2010	profesor2_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35	12E2011					11E3028	profesor2_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25			11E3028			31E2010	profesor2_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15	21E2010,	11E2009	12E2011			32E2010	profesor2_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						12E2011	profesor2_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25						11E2009	profesor2_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15				32E2010	32E2010	20E2010	profesor2_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05	21E3028					10E2016	profesor2_Apellido1Apellido2
8	13:10	13:55		21E2010	21E3028	12E2011			
9	14:00	14:45		31E2010					
10	14:50	15:35					11E3028		
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15		21E3028					
13	17:20	18:05		11E2009		21E3028	11E3028		
14	18:10	18:55				21E2010,	11E2009,	10E2016	
15	19:00	19:45		32E2010					
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15				31E2010	31E2010		

Figura 32: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 1 - profesor 2

Profesor								Sección	
Nombre			profesor3_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45					11E2013	12E2010	profesor3_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35						11E2013	profesor3_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25						12E2013	profesor3_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15						30E2010	profesor3_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						10E2010	profesor3_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25							
6	11:30	12:15	21E3028		12E2013				
7	12:20	13:05		12E2010			12E2010		
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45			12E2013				
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25	11E2013		21E3028		21E3028		
12	16:30	17:15	11E2013						
13	17:20	18:05				12E2013			
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45					21E3028		
16	19:50	20:35			21E3028				
17	20:40	21:15			30E2010				

Figura 33: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 1 - profesor 3

Profesor								Sección	
Nombre			profesor4_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						12IE3028	profesor4_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35				21IE2009		21IE2009	profesor4_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25						22IE2009	profesor4_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15						11IE2010	profesor4_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						10IE3048	profesor4_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25						21IE3028 12IE3028, 10IE2013	profesor4_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15		22IE2009		21IE3028	10IE2013	30IE2009	profesor4_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05						10IE2009	profesor4_Apellido1Apellido2
8	13:10	13:55				21IE2009			
9	14:00	14:45					11IE2010		
10	14:50	15:35				21IE3028			
11	15:40	16:25	22IE2009	22IE2009					
12	16:30	17:15		12IE3028					
13	17:20	18:05				21IE3028			
14	18:10	18:55	11IE2010		12IE3028		21IE3028		
15	19:00	19:45					21IE3028		
16	19:50	20:35					21IE2009		
17	20:40	21:15	11IE2010	21IE3028					

Figura 34: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 1 - profesor 4

Profesor								Sección	
Nombre			profesor5_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45			11IE2011, 31IE2009	21IE3028		11IE3048	profesor5_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35			21IE3028			11IE2011	profesor5_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25			31IE2009			31IE2009	profesor5_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15						21IE3028	profesor5_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						20IE3028	profesor5_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25							
6	11:30	12:15			11IE3048				
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35			31IE2009				
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15					21IE3028		
13	17:20	18:05	21IE3028	11IE3048, 11IE2011	21IE3028				
14	18:10	18:55					11IE2011		
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15			11IE3048				

Figura 35: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 1 - profesor 5

Salida: Laboratorios

Laboratorio								Sección	
Código			0					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45			11E2011		11E2013	21E2010	profesor2_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35	12E2011					22E2009	profesor4_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25						11E3048	profesor5_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15		21E2010	12E2011		12E2009	32E2010	profesor2_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						11E2010	profesor4_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25						12E2010	profesor3_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15		22E2009	11E3048, 12E2013	32E2010	12E2010, 11E3049	11E2011	profesor5_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05		12E2010			12E2010	12E2011	profesor2_Apellido1Apellido2
8	13:10	13:55		21E2010		12E2011		11E2013	profesor3_Apellido1Apellido2
9	14:00	14:45			12E2013		11E2010	12E2013	profesor3_Apellido1Apellido2
10	14:50	15:35				12E2009		11E3049	profesor1_apellidoapellido2
11	15:40	16:25	22E2009, 11E2013, 12E2009	22E2009	11E3049			12E2009	profesor1_apellidoapellido2
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05	11E2013	11E3048, 11E2011		12E2013			
14	18:10	18:55	11E2010			21E2010	11E2011		
15	19:00	19:45		32E2010					
16	19:50	20:35			11E3049				
17	20:40	21:15	11E2010		12E2010				

Figura 36: Salida archivo Laboratorios con alta mutación en generación 1 - laboratorio 0

Laboratorio								Sección	
Código			1					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45			31E2009	21E3028	11E2008	22E2010	profesor1_apellidoapellido2
2	7:50	8:35				21E2009		12E3028	profesor4_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25			11E3028, 31E2009			11E3028	profesor2_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15		11E2009				21E2009	profesor4_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						31E2010	profesor2_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25						31E2009	profesor5_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15					12E3028	11E2008	profesor1_apellidoapellido2
7	12:20	13:05						11E2009	profesor2_Apellido1Apellido2
8	13:10	13:55				21E2009		21E3028	profesor5_Apellido1Apellido2
9	14:00	14:45		31E2010					
10	14:50	15:35			31E2009		11E3028		
11	15:40	16:25				11E2008			
12	16:30	17:15		12E3028			21E3028		
13	17:20	18:05		11E2009	21E3028			11E3028	
14	18:10	18:55			12E3028	22E2010, 11E2008, 31E2009			
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35					21E2009		
17	20:40	21:15			22E2010	31E2010	31E2010		

Figura 37: Salida archivo Laboratorios con alta mutación en generación 1 - laboratorio 1

### 9.1.3. Salidas en generación: 200

#### Salida: Estudiantes

Año								Sección	
Código			1					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Miérc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						10IE2016	profesor2_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35							
3	8:40	9:25			10IE2016				
4	9:30	10:15							
Receso	10:15	10:40							
5	10:40	11:25							
6	11:30	12:15							w
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55				10IE2016			
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05							
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35		10IE2016					
17	20:40	21:15							

Figura 38: Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 200 - año 1

Año								Sección	
Código			2					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Miérc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45				10IE2009		20IE2010	profesor2_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35	20IE2010		10IE2010	20IE2009	20IE2010	20IE2009	profesor1_apellidoapellido2
3	8:40	9:25						30IE2010	profesor2_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15			10IE2011, 10IE2008			10IE2010	profesor5_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						10IE2011	profesor2_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25	10IE2010		10IE2011, 30IE2009			30IE2009	profesor4_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15						10IE2008	profesor4_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05	20IE2010				10IE2010	10IE2009	profesor1_apellidoapellido2
8	13:10	13:55		20IE2009			10IE2008		
9	14:00	14:45	30IE2009			10IE2008			
10	14:50	15:35	30IE2010						
11	15:40	16:25			30IE2010				
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05	30IE2010						
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35				10IE2009			
17	20:40	21:15							

Figura 39: Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 200 - año 2

Año								Sección	
Código			3					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45		10IE3049				10IE3028	profesor3_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35			10IE2013	10IE3049	10IE3028	10IE3048	profesor5_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25			10IE2013			10IE2013	profesor4_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15						10IE3049	profesor2_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						20IE3028	profesor5_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25							
6	11:30	12:15							
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55	10IE3049						
9	14:00	14:45		20IE3028					
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25			10IE3028				
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05			10IE3048	10IE2013			
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15			20IE3028				

Figura 40: Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 200 - año 3

### Salida: Profesores

Profesor								Sección	
Nombre			profesor1_apellidoap					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45				21IE3028		11IE3049	profesor1_apellidoapellido2
2	7:50	8:35				21IE3028	11IE2009	11IE2009	profesor1_apellidoapellido2
3	8:40	9:25						20IE2009	profesor1_apellidoapellido2
4	9:30	10:15		11IE2009				10IE2009	profesor1_apellidoapellido2
Receso	10:15	10:40							
5	10:40	11:25							
6	11:30	12:15							
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55		21IE3028					
9	14:00	14:45		11IE3049					
10	14:50	15:35				11IE3049			
11	15:40	16:25					11IE3049		
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05			11IE2009				
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35				21IE3028			
17	20:40	21:15							

Figura 41: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 1

Profesor								Sección	
Nombre			profesor2_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45		21E3028	21E2009, 12E2011		31E2010	11E3028	profesor2_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35	21E3028			21E3028	21E3028	21E2009	profesor2_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25			11E2013, 10E2016			31E2010	profesor2_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15			21E3028			12E2011	profesor2_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						11E2013	profesor2_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25		21E2009	21E3028			20E2010	profesor2_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15	11E2013					21E2009	profesor2_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05	21E3028		11E2013			30E2010	profesor2_Apellido1Apellido2
8	13:10	13:55	21E3028			21E3028	31E2010	10E2011	profesor2_Apellido1Apellido2
9	14:00	14:45					12E2011	10E3049	profesor2_Apellido1Apellido2
10	14:50	15:35	21E3028						
11	15:40	16:25			21E3028				
12	16:30	17:15					11E3028		
13	17:20	18:05	21E3028				12E2011		
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45			31E2010				
16	19:50	20:35		11E3028, 10E2016					
17	20:40	21:15		11E3028					

Figura 42: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 2

Profesor								Sección	
Nombre			profesor3_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45				11E2008		21E2010	profesor3_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35	12E2009					21E3028	profesor3_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25						12E2010	profesor3_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15					32E2010	11E2008	profesor3_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						12E2009	profesor3_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25						10E3028	profesor3_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15							
7	12:20	13:05			21E2010	12E2010			
8	13:10	13:55	12E2010			11E2008, 12E2009			
9	14:00	14:45				12E2010			
10	14:50	15:35		21E2010		32E2010	11E2008		
11	15:40	16:25			21E3028				
12	16:30	17:15			21E2010				
13	17:20	18:05							
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45		32E2010					
16	19:50	20:35			12E2009				
17	20:40	21:15							

Figura 43: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 3

Profesor								Seccii	
Nombre			profesor4_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						22IE2010	profesor4_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35	12IE2013		21IE3028			11IE2010	profesor4_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25	12IE2013		21IE3028	22IE2010		12IE2013	profesor4_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15	21IE3028		21IE3028			21IE3028	profesor4_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						10IE2013	profesor4_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25			21IE3028			30IE2009	profesor4_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15	12IE2013					10IE2008	profesor4_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55						21IE3028	
9	14:00	14:45	21IE3028			21IE3028			
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15		11IE2010					
13	17:20	18:05	11IE2010			21IE3028			
14	18:10	18:55	22IE2010						
15	19:00	19:45	21IE3028						
16	19:50	20:35	11IE2010						
17	20:40	21:15			22IE2010				

Figura 44: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 4

Profesor								Seccii	
Nombre			profesor5_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45	31IE2009					12IE3028	profesor5_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35			21IE3028			22IE2009	profesor5_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25			11IE2011			11IE3048	profesor5_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15						11IE2011	profesor5_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						31IE2009	profesor5_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25	21IE3028					10IE3048	profesor5_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15						10IE2010	profesor5_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05						11IE3048, 10IE2010	profesor5_Apellido1Apellido2
8	13:10	13:55	11IE2011	22IE2009, 11IE3048				20IE3028	profesor5_Apellido1Apellido2
9	14:00	14:45		21IE3028					
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25			31IE2009				
12	16:30	17:15	11IE2011						
13	17:20	18:05		12IE3028	21IE3028	12IE3028			
14	18:10	18:55			22IE2009				
15	19:00	19:45	11IE3048						
16	19:50	20:35		31IE2009				12IE3028, 22IE2009	
17	20:40	21:15			21IE3028				

Figura 45: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 5

## Salida: Laboratorios

Laboratorio								Sección		
Código			0					Código	Profesor	
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes			
1	7:00	7:45			12E2011			21E2010	profesor3_Apellido1Apellido2	
2	7:50	8:35	12E2013, 12E2009					22E2009	profesor5_Apellido1Apellido2	
3	8:40	9:25	12E2013		11E2011, 11E2013			11E3048	profesor5_Apellido1Apellido2	
4	9:30	10:15					32E2010	32E2010	profesor3_Apellido1Apellido2	
Receso	10:15	10:40						11E2010	profesor4_Apellido1Apellido2	
5	10:40	11:25						12E2010	profesor3_Apellido1Apellido2	
6	11:30	12:15	11E2013, 12E2013					11E2011	profesor5_Apellido1Apellido2	
7	12:20	13:05			21E2010, 11E2013	12E2010		11E3048	12E2011	profesor2_Apellido1Apellido2
8	13:10	13:55	12E2010, 11E2011	22E2009, 11E3048		12E2009		11E2013	profesor2_Apellido1Apellido2	
9	14:00	14:45		11E3049		12E2010	12E2011	12E2013	profesor4_Apellido1Apellido2	
10	14:50	15:35		21E2010		32E2010, 11E3049		11E3049	profesor1_apellidoapellido2	
11	15:40	16:25					11E3049	12E2009	profesor3_Apellido1Apellido2	
12	16:30	17:15	11E2011	11E2010	21E2010					
13	17:20	18:05	11E2010				12E2011			
14	18:10	18:55			22E2009					
15	19:00	19:45	11E3048	32E2010						
16	19:50	20:35	11E2010		12E2009		22E2009			
17	20:40	21:15								

Figura 46: Salida archivo Laboratorios con alta mutación en generación 200 - laboratorio 0

Laboratorio								Sección	
Código			1					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45	31E2009		21E2009	11E2008	31E2010	22E2010	profesor4_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35	21E3028				11E2009	12E3028	profesor5_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25				22E2010		11E3028	profesor2_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15	21E3028	11E2009				21E2009	profesor2_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						31E2010	profesor2_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25		21E2009				31E2009	profesor5_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15					21E2009	11E2008	profesor3_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05						11E2009	profesor1_apellidoapellido2
8	13:10	13:55				11E2008	31E2010	21E3028	profesor4_Apellido1Apellido2
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35					11E2008		
11	15:40	16:25			31E2009				
12	16:30	17:15					11E3028		
13	17:20	18:05		12E3028	11E2009	12E3028			
14	18:10	18:55	22E2010						
15	19:00	19:45	21E3028		31E2010				
16	19:50	20:35		11E3028, 31E2009				12E3028	
17	20:40	21:15		11E3028	22E2010				

Figura 47: Salida archivo Laboratorios con alta mutación en generación 200 - laboratorio 1

Se puede notar la difícil convergencia debido al parámetro de alta mutación.

## 9.2. Variación 2

En la variación 2 se utilizará principalmente una mutación baja en comparación de la variación 1 para demostrar la eficacia del algoritmo frente a una mutación pequeña que ayuda a escapar de óptimos locales sin alterar demasiado a los individuos.

Parámetros	Valor
Probabilidad de Mutación	1/100
crossover	corde de punto medio

Cuadro 11: Parámetros mutación elevada

### 9.2.1. Gráficas

A diferencia que en la variacion 1, utilizando una variación pequeña de 1 periodo de cada 100 para la mutación se puede notar un gran cambio y podemos ver en la gráfica de la Figura 48 que el puntaje respecto al tiempo crece.

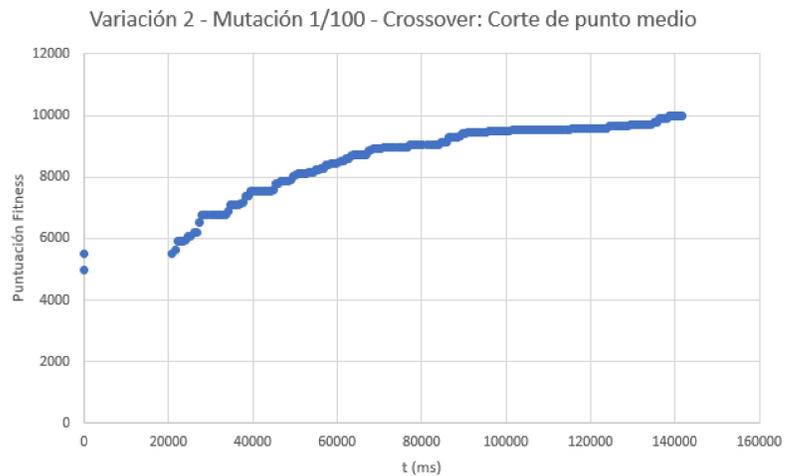


Figura 48: Mejor score de generación vs tiempo

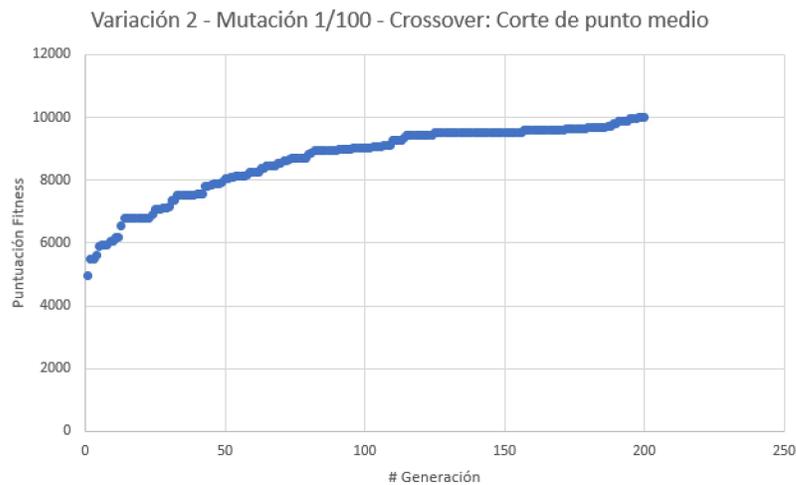


Figura 49: Mejor score de generación vs generación

## 9.2.2. Salidas en generación: 200

### Salida: Estudiantes

Año								Sección	
Código			1					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						10IE2016	profesor1_apellidoapellido2
2	7:50	8:35			10IE2016				
3	8:40	9:25							
4	9:30	10:15	10IE2016						
Receso	10:15	10:40							
5	10:40	11:25							
6	11:30	12:15							
7	12:20	13:05			10IE2016				
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05							
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15							

Figura 50: Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 200 - año 1

Podemos notar en la Figura 51 como el algoritmo trata de evitar los horarios prohibidos (de amarillo), pero aún así con esta configuración para el año dos se tienen tres conflictos de horario.

Año								Sección	
Código			2					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						20IE2010	profesor3_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35						20IE2009	profesor4_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25						10IE2008	profesor1_apellidoapellido2
4	9:30	10:15						10IE2010	profesor4_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						10IE2011	profesor3_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25						10IE2009	profesor3_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15						30IE2009	profesor3_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05						10IE2008	profesor3_Apellido1Apellido2
8	13:10	13:55						10IE2009	profesor4_Apellido1Apellido2
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35	20IE2010	10IE2010					
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15						10IE2008	
13	17:20	18:05	20IE2010						
14	18:10	18:55	20IE2010	10IE2010					
15	19:00	19:45						30IE2010	
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15						10IE2008	

Figura 51: Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 200 - año 2

Año								Sección	
Código			3					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Miérc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						10IE3028	profesor1_apellidoapellido2
2	7:50	8:35						10IE3048	profesor1_apellidoapellido2
3	8:40	9:25						10IE2013	profesor2_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15						10IE3049	profesor4_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						20IE3028	profesor3_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25							
6	11:30	12:15							
7	12:20	13:05			10IE2013				
8	13:10	13:55					10IE3049		
9	14:00	14:45			20IE3028				
10	14:50	15:35			10IE2013				
11	15:40	16:25			10IE3048				
12	16:30	17:15			10IE2013, 20IE3028			10IE3049	
13	17:20	18:05					10IE3049		
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35			10IE3028				
17	20:40	21:15			10IE3028				

Figura 52: Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 200 - año 3

### Salida: Profesores

En la Figura 53 se puede notar como en esta configuración el profesor posee muy poco espacios para los cursos asignados a él lo cual claramente complica el trabajo al algoritmo genético.

Profesor								Sección	
Nombre			profesor1_apellidoap					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Miérc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						22IE2010	profesor1_apellidoapellido2
2	7:50	8:35			21IE3028			11IE3028	profesor1_apellidoapellido2
3	8:40	9:25						32IE2010	profesor1_apellidoapellido2
4	9:30	10:15	21IE3028					11IE2008, 11IE2009, 30IE2010	profesor1_apellidoapellido2
Receso	10:15	10:40						11IE2009	profesor1_apellidoapellido2
5	10:40	11:25			32IE2010			10IE3028	profesor1_apellidoapellido2
6	11:30	12:15						10IE3048	profesor1_apellidoapellido2
7	12:20	13:05			21IE3028			10IE2016	profesor1_apellidoapellido2
8	13:10	13:55						30IE2010	profesor1_apellidoapellido2
9	14:00	14:45			32IE2010, 32IE2010	22IE2010, 11IE2008	11IE3028		
10	14:50	15:35						11IE3028	
11	15:40	16:25			21IE3028				
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05							
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45						21IE3028	
16	19:50	20:35			21IE3028			11IE2009	
17	20:40	21:15			21IE3028				

Figura 53: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 1

Profesor								Sección	
Nombre			profesor2_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45		12IE3028, 31IE2010, 31IE2010				21IE2010	profesor2_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35		12IE2010				12IE3028	profesor2_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25				12IE2009	22IE2009	22IE2009	profesor2_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15						11IE3048	profesor2_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						31IE2010	profesor2_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25		12IE2010		12IE2011		12IE2010	profesor2_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15		12IE2010				12IE2011	profesor2_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05			21IE3028	12IE2009		12IE2013	profesor2_Apellido1Apellido2
8	13:10	13:55				21IE2010		12IE2009	profesor2_Apellido1Apellido2
9	14:00	14:45		12IE3028, 31IE2010			22IE2009	10IE2013	profesor2_Apellido1Apellido2
10	14:50	15:35			21IE3028				
11	15:40	16:25	11IE3048			21IE2010, 21IE2010	22IE2009		
12	16:30	17:15	11IE3048		21IE3028	12IE2009			
13	17:20	18:05	11IE3048	12IE3028					
14	18:10	18:55				12IE2011, 12IE2013			
15	19:00	19:45				12IE2013			
16	19:50	20:35				12IE2011			
17	20:40	21:15				12IE2013			

Figura 54: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 2

Profesor								Sección	
Nombre			profesor3_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						11IE2010	profesor3_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35		11IE2010				11IE2013	profesor3_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25			11IE2013	21IE3028		21IE3028	profesor3_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15			11IE2013	21IE3028		20IE2010	profesor3_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						10IE2011	profesor3_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25						30IE2009	profesor3_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15			21IE3028	21IE3028		10IE2008	profesor3_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05			21IE3028			20IE3028	profesor3_Apellido1Apellido2
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45			21IE3028				
10	14:50	15:35	21IE3028	11IE2010			21IE3028		
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15			21IE3028	21IE3028			
13	17:20	18:05	21IE3028						
14	18:10	18:55	21IE3028						
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35		11IE2010			21IE3028		
17	20:40	21:15			11IE2013	21IE3028	21IE3028		

Figura 55: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 3

Profesor								Sección	
Nombre			profesor4_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45	11E2011					11E2011	profesor4_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35						11E3049	profesor4_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25						20E2009	profesor4_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15				21E3028		10E2010	profesor4_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						10E3049	profesor4_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25				21E3028		10E2009	profesor4_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15	11E2011					21E3028	
7	12:20	13:05						21E3028	
8	13:10	13:55						21E3028	
9	14:00	14:45	11E2011						
10	14:50	15:35		21E3028					
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15						21E3028	
13	17:20	18:05						21E3028	
14	18:10	18:55		11E3049, 10E2010, 10E2010					
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35		11E3049					
17	20:40	21:15		11E3049					

Figura 56: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 4

Profesor								Sección	
Nombre			profesor5_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						21E2009	profesor5_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35				21E2009		31E2009	profesor5_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25				21E2009			
4	9:30	10:15				21E2009, 31E2009			
Receso	10:15	10:40							
5	10:40	11:25						31E2009	
6	11:30	12:15				31E2009			
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05							
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15							

Figura 57: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 5

## Salida: Laboratorios

Laboratorio								Secci	
Código			0					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45		12IE3028				22IE2010	profesor1_apellidoapellido2
2	7:50	8:35		12IE2010				12IE3028	profesor2_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25				22IE2010, 11IE3028, 12IE2009	22IE2009	11IE3028	profesor1_apellidoapellido2
4	9:30	10:15				11IE2009		22IE2009	profesor2_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						11IE3048	profesor2_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25		12IE2010				12IE2010	profesor2_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15		12IE2010				12IE2013	profesor2_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05				12IE2009, 11IE2009		11IE3049	profesor4_Apellido1Apellido2
8	13:10	13:55						12IE2009	profesor2_Apellido1Apellido2
9	14:00	14:45		12IE3028				11IE3028, 22IE2009	profesor1_apellidoapellido2
10	14:50	15:35						11IE3028	
11	15:40	16:25	11IE3048					22IE2009	
12	16:30	17:15	11IE3048					12IE2009	
13	17:20	18:05	11IE3048	12IE3028					
14	18:10	18:55		11IE3049				12IE2013	
15	19:00	19:45						12IE2013	
16	19:50	20:35		11IE3049				11IE2009	
17	20:40	21:15		11IE3049				12IE2013	

Figura 58: Salida archivo Laboratorios con alta mutación en generación 200 - laboratorio 0

Laboratorio								Secci	
Código			1					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45	11IE2011	31IE2010, 31IE2010				21IE2010	profesor2_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35		11IE2010				21IE2009	profesor5_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25			11IE2013	21IE2009		31IE2010	profesor2_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15			11IE2013	21IE2009, 31IE2009, 11IE2008		32IE2010	profesor1_apellidoapellido2
Receso	10:15	10:40						11IE2010	profesor3_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25			32IE2010	12IE2011	31IE2009	11IE2011	profesor4_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15	11IE2011			31IE2009		12IE2011	profesor2_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05				11IE2008		11IE2013	profesor3_Apellido1Apellido2
8	13:10	13:55				21IE2010		31IE2009	profesor5_Apellido1Apellido2
9	14:00	14:45	11IE2011	31IE2010	32IE2010, 32IE2010	11IE2008		11IE2008	profesor1_apellidoapellido2
10	14:50	15:35		11IE2010				21IE3028	profesor3_Apellido1Apellido2
11	15:40	16:25						21IE2010, 21IE2010	
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05							
14	18:10	18:55				12IE2011			
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35		11IE2010		12IE2011		21IE3028	
17	20:40	21:15			11IE2013			21IE3028	

Figura 59: Salida archivo Laboratorios con alta mutación en generación 200 - laboratorio 1

### 9.3. Variación 3

Para la variación 3 se utilizarán diferentes parámetros como un incremento de tres profesores y mayor número de periodos para cada uno para comparar la convergencia.

Parámetros generales	Puntuación
Curso para el profesor	15
Horario Profesor	20
Profesor: No repetido	10
Periodo Cercano	100
Periodo: No repetido	10
Periodo: Día	50
Periodos prohibidos	5
Año curso: No repetir	20
Año: Buen tiempo	20

Cuadro 12: Parámetros para FITNESS Varación

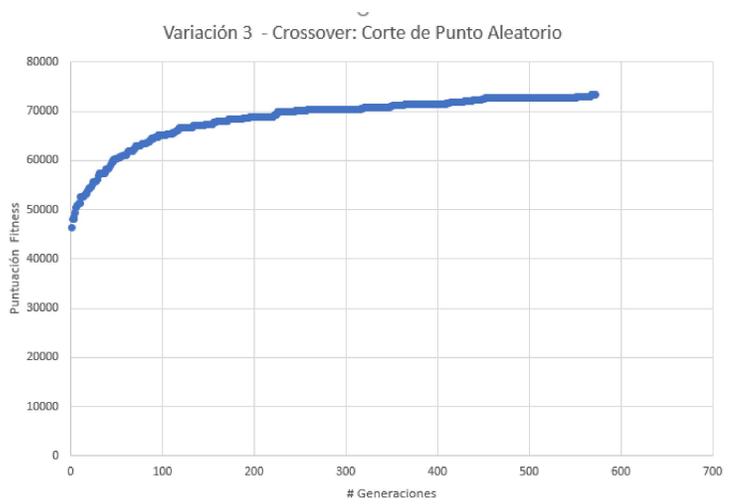


Figura 60: Mejor score de generacion vs generación

Salida: Estudiantes

Código		Año					Sección		
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes	Código	Profesor
1	7:00	7:45						10IE2016	profesor1_apellidoapellido2
2	7:50	8:35							
3	8:40	9:25							
4	9:30	10:15							
Receso	10:15	10:40							
5	10:40	11:25	10IE2016	10IE2016					
6	11:30	12:15							
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05							
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15							

Figura 61: Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 500 - año 1

Código		Año					Sección		
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes	Código	Profesor
1	7:00	7:45						20IE2010	profesor4_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35		10IE2008				20IE2009	profesor3_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25				10IE2010		30IE2010	profesor6_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15						10IE2010	profesor4_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						10IE2011	profesor4_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25		20IE2010, 20IE2010, 20IE2009, 30IE2010		30IE2010		30IE2009	profesor3_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15		30IE2010		10IE2008	10IE2011	10IE2008	profesor2_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05						10IE2009	profesor4_Apellido1Apellido2
8	13:10	13:55				10IE2009			
9	14:00	14:45		30IE2009, 10IE2009					
10	14:50	15:35		10IE2010					
11	15:40	16:25		20IE2010, 10IE2011, 10IE2008		20IE2009			
12	16:30	17:15						10IE2010	
13	17:20	18:05		30IE2009					
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15							

Figura 62: Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 500 - año 2

Año								Sección	
Código			3					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						10IE3028	profesor7_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35						10IE3048	profesor1_apellidoapellido2
3	8:40	9:25						10IE2013	profesor1_apellidoapellido2
4	9:30	10:15						10IE3049	profesor1_apellidoapellido2
Receso	10:15	10:40						20IE3028	profesor5_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25							
6	11:30	12:15			10IE2013				
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35	10IE3028		10IE3049				
11	15:40	16:25	10IE3049				10IE3028		
12	16:30	17:15					10IE2013		
13	17:20	18:05					10IE3048		
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35		20IE3028					
17	20:40	21:15			20IE3028	10IE3049	10IE2013		

Figura 63: Salida archivo Estudiantes con alta mutación en generación 500 - año 3

### Salida: Profesores

Profesor								Sección	
Nombre			profesor1_apellidoap					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						32IE2010	profesor1_apellidoapellido2
2	7:50	8:35						11IE3049	profesor1_apellidoapellido2
3	8:40	9:25				21IE3028		10IE3048	profesor1_apellidoapellido2
4	9:30	10:15						10IE2016	profesor1_apellidoapellido2
Receso	10:15	10:40						10IE2013	profesor1_apellidoapellido2
5	10:40	11:25	21IE3028	21IE3028				10IE3049	profesor1_apellidoapellido2
6	11:30	12:15			21IE3028				
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45		32IE2010					
10	14:50	15:35		32IE2010	21IE3028				
11	15:40	16:25	21IE3028	32IE2010					
12	16:30	17:15			11IE3049		21IE3028		
13	17:20	18:05					21IE3028		
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15	11IE3049			21IE3028	10IE2013		

Figura 64: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 500 - profesor 1

Profesor								Sección		
Nombre			profesor2_Apellido1A					Código	Profesor	
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes			
1	7:00	7:45						10IE2008	profesor2_Apellido1Apellido2	
2	7:50	8:35		21IE3028						
3	8:40	9:25								
4	9:30	10:15								
Receso	10:15	10:40								
5	10:40	11:25								
6	11:30	12:15				21IE3028				
7	12:20	13:05								
8	13:10	13:55								
9	14:00	14:45								
10	14:50	15:35								
11	15:40	16:25		21IE3028						
12	16:30	17:15								
13	17:20	18:05								
14	18:10	18:55								
15	19:00	19:45								
16	19:50	20:35								
17	20:40	21:15								

Figura 65: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 500 - profesor 2

Profesor								Sección		
Nombre			profesor3_Apellido1A					Código	Profesor	
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes			
1	7:00	7:45		21IE2009		11IE2008		21IE2009	profesor3_Apellido1Apellido2	
2	7:50	8:35						31IE2009	profesor3_Apellido1Apellido2	
3	8:40	9:25		11IE2009		11IE2009		11IE2008	profesor3_Apellido1Apellido2	
4	9:30	10:15		21IE2009		31IE2009		11IE2009	profesor3_Apellido1Apellido2	
Receso	10:15	10:40						20IE2009	profesor3_Apellido1Apellido2	
5	10:40	11:25		21IE2009, 20IE2009				30IE2009	profesor3_Apellido1Apellido2	
6	11:30	12:15		11IE2009		11IE2008				
7	12:20	13:05								
8	13:10	13:55								
9	14:00	14:45		21IE3028						
10	14:50	15:35								
11	15:40	16:25				21IE3028				
12	16:30	17:15		31IE2009		31IE2009				
13	17:20	18:05		21IE3028						
14	18:10	18:55				11IE2008				
15	19:00	19:45								
16	19:50	20:35								
17	20:40	21:15								

Figura 66: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 500 - profesor 3

Profesor								Sección	
Nombre			profesor4_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						22IE2009	profesor4_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35						12IE2009	profesor4_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25				21IE3028		20IE2010	profesor4_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15		12IE2009				10IE2010	profesor4_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						10IE2011	profesor4_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25		21IE3028, 20IE2010				10IE2009	profesor4_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15			22IE2009		21IE3028		
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55				21IE3028			
9	14:00	14:45		21IE3028					
10	14:50	15:35		12IE2009, 12IE2009, 10IE2010		22IE2009			
11	15:40	16:25		21IE3028, 10IE2011					
12	16:30	17:15				21IE3028			
13	17:20	18:05							
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45				22IE2009			
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15							

Figura 67: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 500 - profesor 4

Profesor								Sección	
Nombre			profesor5_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						21IE2010	profesor5_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35				11IE2010		31IE2010	profesor5_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25						11IE2010	profesor5_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15						11IE2011	profesor5_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						12IE2011	profesor5_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25		21IE2010	11IE2011	31IE2010		20IE3028	profesor5_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15	11IE2010	21IE2010		31IE2010, 12IE2011			
7	12:20	13:05				31IE2010			
8	13:10	13:55			12IE2011				
9	14:00	14:45			12IE2011				
10	14:50	15:35		21IE2010, 11IE2010, 11IE2011		11IE2011			
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05							
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35		21IE3028					
17	20:40	21:15			21IE3028				

Figura 68: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 500 - profesor 5

Profesor								Sección	
Nombre			profesor6_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						22IE2010	profesor6_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35						12IE3028	profesor6_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25						11IE3028	profesor6_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15			11IE3028			11IE3048	profesor6_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						12IE2013	profesor6_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25		22IE2010, 30IE2010		21IE3028		21IE3028	profesor6_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15		21IE3028		22IE2010		30IE2010	profesor6_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45	12IE3028						
10	14:50	15:35				11IE3028			
11	15:40	16:25				22IE2010	21IE3028		
12	16:30	17:15	21IE3028		11IE3048	12IE3028	12IE2013		
13	17:20	18:05			11IE3048	21IE3028			
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45	11IE3048		12IE2013				
16	19:50	20:35					12IE2013		
17	20:40	21:15			11IE3028	12IE3028			

Figura 69: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 200 - profesor 6

Profesor								Sección	
Nombre			profesor7_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						12IE2010	profesor7_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35						10IE3028	profesor7_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25							
4	9:30	10:15							
Receso	10:15	10:40							
5	10:40	11:25							
6	11:30	12:15							
7	12:20	13:05		12IE2010					
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45		12IE2010		12IE2010			
10	14:50	15:35	21IE3028						
11	15:40	16:25					21IE3028		
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05							
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15							

Figura 70: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 500 - profesor 7

Profesor								Sección	
Nombre			profesor8_Apellido1A					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						111E2013	profesor8_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35							
3	8:40	9:25							
4	9:30	10:15							
Receso	10:15	10:40							
5	10:40	11:25							
6	11:30	12:15							
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25			111E2013				
12	16:30	17:15			111E2013				
13	17:20	18:05			111E2013				
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15							

Figura 71: Salida archivo Profesores con alta mutación en generación 500 - profesor 8

## 9.4. Comparación de variaciones

Durante la realización de las prueba, la mutación fue un problema ya que como podemos ver en las gráficas de la variación 1 y 2 tener una mutación pequeña es necesario para lograr una convergencia de la solución. En la variación 1 debido a la mutación elevada no se puede llegar a una solución mientras que en la variación 2 es clara la convergencia y con esa configuración, más tiempo y afinado de los parámetros se podría llegar a un mejor horario. En la variación 3 se dejó correr el programa aún más tiempo y aún así se puede notar como se mantiene la gráfica con una tendencia ascendente respecto a la puntuación.

## 9.5. Otras comparaciones

### 9.5.1. Análisis individual por generación: Horario prohibido

En esta prueba se demostrará la eficacia del algoritmo para optimizar un solo parámetro colocándole 50 veces más peso a horarios prohibidos que a las demás restricciones.

Año								Sección	
Código			1					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						10IE2016	profesor7_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35							
3	8:40	9:25							
4	9:30	10:15							
Receso	10:15	10:40							
5	10:40	11:25							
6	11:30	12:15			10IE2016				
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15			10IE2016				
13	17:20	18:05	10IE2016						
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15							

Figura 72: Salida optimizando únicamente horarios prohibidos GEN 1 - Año 1

Año								Sección	
Código			1					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						10IE2016	profesor6_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35							
3	8:40	9:25							
4	9:30	10:15							
Receso	10:15	10:40							
5	10:40	11:25							
6	11:30	12:15							
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55			10IE2016				
9	14:00	14:45	10IE2016						
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15	10IE2016						
13	17:20	18:05							
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15							

Figura 73: Salida optimizando únicamente horarios prohibidos GEN 25 - Año 1

		Año						Sección	
Código		2						Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc.	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						20IE2010	profesor1_apellidoapellido2
2	7:50	8:35			10IE2010			20IE2009	profesor2_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25					10IE2009	30IE2010	profesor4_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15			30IE2010			10IE2010	profesor1_apellidoapellido2
Receso	10:15	10:40						10IE2011	profesor1_apellidoapellido2
5	10:40	11:25		20IE2010				30IE2009	profesor7_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15						10IE2008	profesor6_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05						10IE2009	profesor5_Apellido1Apellido2
8	13:10	13:55		10IE2008					
9	14:00	14:45		20IE2010, 30IE2010, 30IE2009		20IE2010, 10IE2009			
10	14:50	15:35			20IE2009, 10IE2010				
11	15:40	16:25					10IE2011		
12	16:30	17:15	30IE2009						
13	17:20	18:05		30IE2010					
14	18:10	18:55				30IE2010			
15	19:00	19:45				10IE2008			
16	19:50	20:35			10IE2011				
17	20:40	21:15	10IE2008			20IE2009			

Figura 74: Salida optimizando únicamente horarios prohibidos GEN 1 - Año 2

		Año						Sección	
Código		2						Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc.	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						20IE2010	profesor4_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35		30IE2010, 10IE2010				20IE2009	profesor7_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25						30IE2010	profesor5_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15		20IE2010				10IE2010	profesor2_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						10IE2011	profesor7_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25				20IE2010, 10IE2008		30IE2009	profesor3_Apellido1Apellido2
6	11:30	12:15		10IE2008		30IE2009		10IE2008	profesor3_Apellido1Apellido2
7	12:20	13:05						10IE2009	profesor1_apellidoapellido2
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45		10IE2010		20IE2009, 10IE2009			
10	14:50	15:35			20IE2009, 10IE2008				
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05				30IE2010, 10IE2011			
14	18:10	18:55		30IE2010, 10IE2010		20IE2010, 30IE2009			
15	19:00	19:45			10IE2011				
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15					10IE2009		

Figura 75: Salida optimizando únicamente horarios prohibidos GEN 25 - Año 2

Año								Secci	
Código			3					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45						10IE3028	profesor3_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35						10IE3048	profesor4_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25				10IE3028		10IE2013	profesor7_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15	10IE2013					10IE3049	profesor7_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						20IE3028	profesor5_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25	10IE3049						
6	11:30	12:15					10IE2013		
7	12:20	13:05	20IE3028	10IE3028			20IE3028		
8	13:10	13:55							
9	14:00	14:45							
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15							
13	17:20	18:05							
14	18:10	18:55	10IE3048	10IE3049		10IE2013			
15	19:00	19:45				10IE3049			
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15							

Figura 76: Salida optimizando únicamente horarios prohibidos GEN 1 - Año 3

Año								Secci	
Código			3					Código	Profesor
No. Per.	Inicio	Final	Lunes	Martes	Mierc	Jueves	Viernes		
1	7:00	7:45		10IE2013			20IE3028	10IE3028	profesor4_Apellido1Apellido2
2	7:50	8:35					10IE3048 10IE3049	10IE3048	profesor7_Apellido1Apellido2
3	8:40	9:25						10IE2013	profesor5_Apellido1Apellido2
4	9:30	10:15				10IE3028	10IE2013	10IE3049	profesor2_Apellido1Apellido2
Receso	10:15	10:40						20IE3028	profesor4_Apellido1Apellido2
5	10:40	11:25	10IE2013						
6	11:30	12:15							
7	12:20	13:05							
8	13:10	13:55				10IE3049			
9	14:00	14:45				10IE3049			
10	14:50	15:35							
11	15:40	16:25							
12	16:30	17:15	20IE3028						
13	17:20	18:05				10IE3028			
14	18:10	18:55							
15	19:00	19:45							
16	19:50	20:35							
17	20:40	21:15							

Figura 77: Salida optimizando únicamente horarios prohibidos GEN 25 - Año 3

Claramente se muestra como al pasar únicamente 25 generaciones se logra escapar de los horarios prohibidos, pero al ser esta la única variable a optimizar se nota un número de traslapes de horarios.

El algoritmo genético es muy sensible a sus parámetros, los cuales deben ser analizados detalladamente para garantizar la convergencia del mismo.

- Se diseñó un programa que puede generar diferentes tipos de algoritmos genéticos cambiando los parámetros de entrada.
- Se logró ingresar diferentes restricciones que cumplen con: evitar traslapes entre cursos del mismo semestre, evitar traslapes entre los cursos de un profesor en diferentes años y que toma en cuenta la disponibilidad de horario.
- Se implementó un programa para comparar algoritmos genéticos en el lenguaje Python de múltiples plataformas.
- Se logró que el programa tenga como entrada el plan de estudios, los horarios prohibidos y la cantidad de secciones por curso definidas por la demanda.
- Los algoritmos genéticos presentes en este trabajo funcionan notablemente mejor utilizando un factor de mutación pequeño.

- Diseñar detalladamente los parámetros de entrada del algoritmo para asegurar convergencia en la solución.
- Correr el programa de forma paralela en un clúster.
- Correr más tiempo el programa, con una mayor población y colocando un peso mayor a las restricciones más importantes para el departamento.
- Colocar horarios más flexibles a los profesores para mejorar la convergencia de las soluciones.

- [1] J. Fermín, *Uso de algoritmos evolutivos para resolver el problema de asignación de horarios escolares en la Facultad de psicología de la Universidad Veracruzana*. Universidad Veracruzana, 2011.
- [2] O. Chohan, *University Scheduling using Genetic Algorithm*. Dalarna University, 2009.
- [3] S. N. J. S. Yang, *A Guided Search Genetic Algorithm for the University Course Timetabling Problem*. University of Leicester, 2009.
- [4] A. S. Fraser, *SIMULATION OF GENETIC SYSTEMS*. Aust. J. Biol. Sci., 1958, vol. 9, págs. 484-491.
- [5] H. Bremermann, *Optimization through evolution and recombination*. M.C. Yovitts et al., Spartan Books, Washington, D.C., 1962, págs. 93-106.
- [6] T. Bäck, *Proceedings of The Seventh International Conference on Genetic Algorithms*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1962, págs. 93-106.
- [7] C. Darwin, *On the Origin of Species*. John Murray, sixth edition, 1859, págs. 93-106.
- [8] C. A. Ceollo, *Knowledge and Information Systems*. SpringerVerlag, Agosto 1999, vol. 1, págs. 269-308.
- [9] T. Weise, *Global Optimization Algorithms – Theory and Application*. Segunda Edición., 2009, págs. 95-105, Disponible en: <http://www.it-weise.de/projects/book.pdf>.
- [10] M. Oltean., *Proceedings of the 5th International Workshop on Frontiers in Evolutionary Algorithms*. Springer, Singapore, 2003, págs. 95-105.
- [11] C. M. Fonseca y P. J. Fleming., *Evolutionary Computation*. University of Sheffield, 2003, pág. 15.
- [12] P. A. N. Bosman y D. Thierens, *Evolutionary Computation*. University of Sheffield, 2003, pág. 15.
- [13] A. S. Fukunaga y A. D. Stechert., : *Proceedings of the 10th international conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems*. Goose Pond Press, Atlanta, Georgia., 1997, págs. 1-6.

- [14] S.-H. Chen, *Physica-Verlag Heidelberg*, Computer Science Department of Leiden University, 2002.
- [15] G. B. Fogel y D. W. Corne, *Evolutionary Computation in Bioinformatics*. Academic Press. Elsevier LTD, Oxford, 2002, pág. 345.
- [16] S. A. Thomas Weise, *Evolutionary Algorithms in Data Mining*. University of Kassel, University of Kassel, University of Kassel, 2007.
- [17] U. Bodenhofer, *Genetic Algorithms: Theory and Applications*. Fuzzy Logic Laboratorium Linz-Hagenberg, 2004.
- [18] D. Laha, *Heuristics and Metaheuristics for Solving Scheduling Problems*. Jadavpur University, 2008.
- [19] *Functional Programming*, <https://docs.python.org/2/howto/functional.html>, Acceso: 2018-09-25.

## CAPÍTULO 13

---

Anexos

---

Código del Programa: El código de fuente del programa se puede clonar para utilizar desde el repositorio de GitHub: <https://github.com/ManoloCap/TG2018>

**Fitness** Función utilizada para evaluar el desempeño de los individuos de una población de un algoritmo genético. 7

**MOEA** Por sus siglas en inglés: multi-objective evolutionary algorithm [8]. 7