

## Generación de cargas horarias para estudiantes basadas en un algoritmo micro-genético

Brenda Sunuami González López, René Arnulfo García-Hernández

Universidad Autónoma del Estado de México,  
Unidad Académica Profesional Tianguistenco,  
México

brenda\_sunuami@hotmail.com, renearnulfo@hotmail.com

**Resumen.** El problema de generación de cargas horarias para estudiantes consiste en asignar, entre una oferta de clases, a aquellas que cumplen en su conjunto con criterios que son relevantes para el estudiante y para su desempeño académico. Debido a la complejidad que implica la generación de cargas horarias de forma manual, actualmente varios estudiantes no consideraron una mejor opción. En este artículo se presenta un método basado en un micro algoritmo genético que considera criterios del estudiante, y del avance del estudiante de acuerdo a la curricula. Los resultados cuantitativos con el método propuesto muestran mejores resultados que la generación manual de la carga horaria. También los resultados cualitativos fueron buenos basados en los comentarios de los estudiantes que probaron el método propuesto.

**Palabras clave:** Carga horaria para estudiantes, optimización multi-criterio, micro algoritmo genético.

### Timetable Generation for Students based on a Micro-Genetic Algorithm

**Abstract.** The problem of timetable generation for students consists of assigning, among a classes offer, those that accomplish as a whole the relevant criteria to the student and to their academic performance. Due to the complexity involved in generating the timetable manually, currently several students did not consider a better option. This article presents a method based on a micro-genetic algorithm that considers the criteria of the students, and the progress of the students according to the curricula. The quantitative results with the proposed method show better results than the manual generation of the timetable. Also, the qualitative results were good based on the comments of the students who tested the proposed method.

**Keywords:** Timetable for students, multi-criteria optimization, micro-genetic algorithm.

## 1. Introducción

La solución de problemas en el mundo real se ha visto beneficiada cada vez más por técnicas computacionales que le han permitido al humano, por un lado, tener mejores resultados y, por el otro, realizar la misma tarea en un menor tiempo (Ledeneva & Hernández, 2017). La generación de cargas horarias no es una excepción, los estudiantes enfrentan cada periodo de inscripción el problema de diseñar su carga horaria. Este tipo de problemas también conoce como programación horaria (en inglés *timetabling*) (Hernández, 2008). Los problemas de esta área consisten en la asignación de recursos logísticos, humanos, materiales y de infraestructura a la programación de eventos en una calendarización que normalmente se repite por semana (González, 2018)

La mayoría de las instituciones universitarias cuentan con planes de estudio flexibles. Por lo que la programación horaria de cursos queda a cargo de los estudiantes donde el estudiante debe de elegir, entre una oferta de Unidades de Aprendizaje (también conocidas como clases o materias), aquellas que va cursar durante el siguiente período (Solano, 2008). La flexibilidad del plan de estudios trae consigo varios beneficios porque puede generarse una carga académica adecuada a las condiciones particulares de cada estudiante. Sin embargo, el número de condiciones individuales y la gran cantidad de Unidades de Aprendizaje (UAs) ofertadas generan una gran combinación de posibilidades.

En nuestra universidad, el estudiante genera su carga horaria de forma manual por lo que demora un largo lapso y en varios casos se obtiene una mala carga horaria por no satisfacer las condiciones del estudiante (UAEM, 2016). Una carga horaria incorrecta produce problemas académicos, alimenticios y económicos. Por ejemplo, si un estudiante selecciona todas las unidades de aprendizaje de manera continua entonces no tiene tiempo para alimentarse adecuadamente. Otro ejemplo es cuando un estudiante tiene que asistir a la universidad más días de los necesarios por lo que afecta en los recursos de tiempo y económicos empleados. Para conocer cuáles son los criterios involucrados en la generación de cargas horaria se hicieron encuestas tanto a los estudiantes como a los tutores encargados de guiar o los estudiantes en su avance en el plan de estudios.

En este trabajo se propone un método para generar automáticamente cargas horarias bajo los criterios que común mente utilizan los estudiantes y los tutores para la generación de cargas horarias.

## 2. Trabajos relacionados

En nuestra revisión del EA no se encontró un trabajo enfocado en la problemática de asignación de carga horaria para estudiante, sin embargo, se encontraron trabajos que se enfocan en la asignación de recursos para la institución y docentes. En general, los trabajos encontrados trabajan con técnicas evolutivas.

El cómputo evolutivo consiste en un proceso basado en la evolución, con posibles soluciones a un problema, las cuales se modifican o evolucionan obteniendo cada vez mejores resultados (Holland, 1992).

**Tabla 1.** Trabajos relacionados a la generación de cargas horarias.

Investigación	Técnica empleada	Aplicación
Programación óptima de horarios de clase usando un algoritmo memético (Granada, 2006).	Algoritmo memético	Institución
Programación de horarios de clases y asignación de salas para la facultad de ingeniería de la universidad Diego Portales mediante un enfoque de programación entera (Hernández, 2008).	Programación entera	Institución
Algoritmo basado en búsqueda tabú para el problema de asignación de Horarios de Clases (Ramos, 2012).	Búsqueda Tabú	Institución
Programación de horarios escolares basados en Ritmos Cognitivos usando un Algoritmo Genético con ordenamiento no dominante, NSGA-II (Suárez, 2013).	Ritmos Cognitivos	Profesores

De acuerdo con el autor Andaluz en 2004, el cómputo evolutivo es una rama de la computación que engloba técnicas que simulan la evolución natural, consiste en un proceso basado en la evolución de un número de posibles soluciones a un problema, las cuales se modifican o evolucionan por medio de operadores denominados genéticos, por ejemplo; réplica cruzamiento y mutación (Coello & Zacatenco, 2005). Algunas técnicas empleadas para la asignación de horarios son: camino de hormigas (Díaz, 2013), algoritmos genéticos (Broca, 2016) y algoritmos meméticos (Gómez, 2006)

Existen investigaciones enfocadas en la optimización multi-objetivo con distintas herramientas matemáticas y computacionales. En la Tabla 1 se presentan algunos de los trabajos que emplearon el uso de herramientas computacionales para la generación de horarios. Cabe mencionar que estos trabajos están enfocados en la asignación de cargas horarias de profesores o instituciones, lo cual difiere de las condiciones del estudiante que se describen en la siguiente sección.

### 3. Descripción formal de las condiciones en la generación de cargas horarias

Los siguientes criterios fueron obtenidos a partir de encuestas realizadas a estudiantes pertenecientes a la afiliación de los autores de este artículo. Además de los criterios obtenidos de los estudiantes, también se obtuvieron dos criterios, uno utilizado por el tutor académico del estudiante que permite guiar y verificar el buen desempeño académico del estudiante a su cargo, y el otro estipulado por el plan de estudios. A continuación, se definen cada uno de los criterios que se deben considerar para realizar la generación de cargas horarias de estudiantes para este trabajo:

- a) Condición de Tiempo por Semana (CTS): La condición del tiempo disponible por semana (medido en horas) varía de acuerdo con cada estudiante. Por ejemplo; existen estudiantes que trabajan o tienen labores externas a la institución, por lo que solo pueden destinar un número máximo de horas.
- b) Condición de Horas Traslapadas (CHT): Un estudiante no puede tomar dos unidades de aprendizaje al mismo tiempo (horas traslapadas). Un claro ejemplo de

esto es un estudiante que selecciona dos unidades de aprendizaje en el mismo día y la misma hora, lo que provoca un serio problema, porque no puede estar en ninguna de las dos clases al mismo tiempo. Un traslape parcial puede repercutir seriamente en el rendimiento escolar del estudiante.

- c) Condición de Unidades de Aprendizaje que Puede y Debe Cursar el estudiante (CUAPDC): El tutor académico debe vigilar el avance curricular de cada estudiante para poderle sugerir posibles cargas horarias a seleccionar. Cuando el avance curricular de un estudiante se desfasa del avance que está programado en el plan de estudios, es importante que las UAs más retrasadas tengan una mayor prioridad para el estudiante.
- d) Condición de Créditos Máximos (CCMAX) y Mínimos para cada semestre (CCMIN): El estudiante tiene un mínimo y máximo de créditos que cumplir según se especifica en el plan de estudios, pero este rango puede acotarse todavía más si el estudiante lo desea. Algunos estudiantes refirieron que este parámetro es importante porque parte del costo de inscripción se basa en el número de créditos de la carga horaria diseñada.

Otras condiciones que se dan por defecto:

- e) Condición de generación de respuesta en tiempo real: El tiempo real es un factor de suma importancia, ya que el estudiante en el momento que desee una sugerencia de carga horaria, podrá obtenerla. Esta condición cobra relevancia minutos antes de la inscripción del estudiante debido a que las UAs disponibles pueden cambiar de horario, cancelarse u ofertarse; por lo que es importante contar con la sugerencia de una carga horaria en un tiempo razonable (menor a 60 minutos).
- f) Dos unidades de aprendizaje no pueden ser seleccionadas en el mismo día, ni en el mismo horario.
- g) La institución brinda los horarios de clases.
- h) El estudiante debe especificar el número de horas semanales de clase que puede asistir a la institución.

#### 4. Método propuesto

Los algoritmos genéticos están basados en el proceso genético de los organismos vivos (Zulueta, 1921) porque simulan el proceso de la evolución natural (Kuri, 2000). El algoritmo genético cuenta con una población la cual se divide en individuos de donde se seleccionan los mejores para crear nuevos individuos, realizando así una generación nueva (Pérez, 2011). Estos pretenden realizar la búsqueda de los mejores resultados optimizando todas las posibles combinaciones (Gestal, 2010). Generalmente, en problemas de búsqueda y optimización de parámetros se utilizan métodos adaptativos basados en la reproducción sexual y en el principio de supervivencia del más apto (Andaluz, 2004).

Un micro algoritmo genético tiene la particularidad de tener una población muy pequeña.

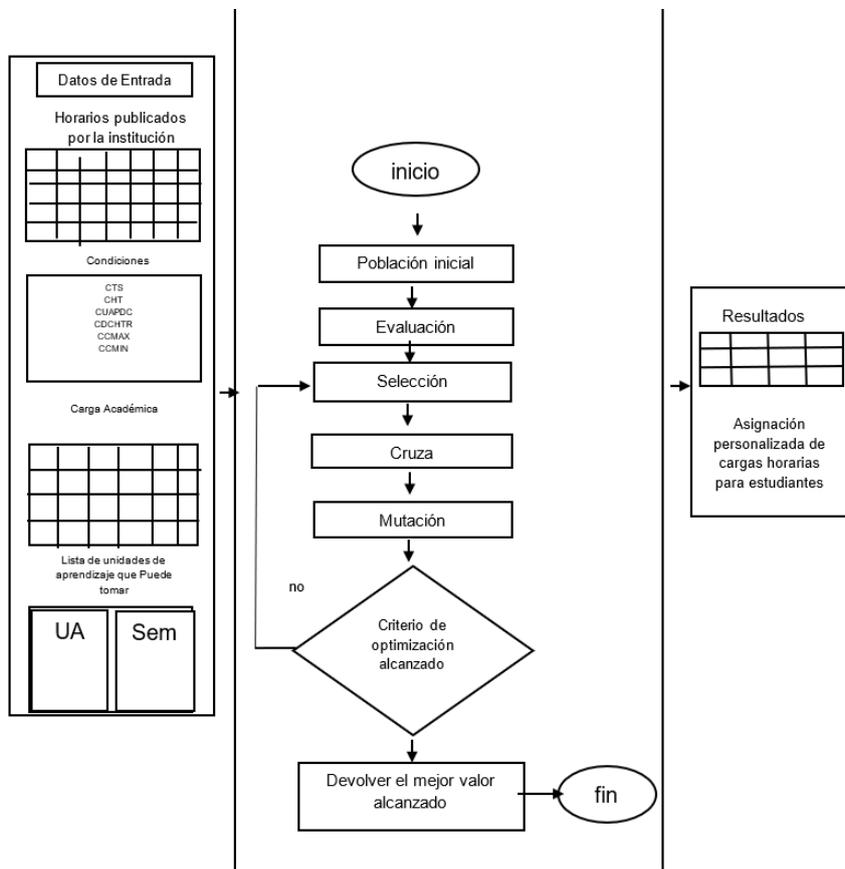


Fig. 1. Método propuesto.

Esta idea fue obtenida por algunos resultados obtenidos por Goldberg & Holland, 1988 en el cual se mostró que con una población de tres individuos era suficiente para converger, sin importar la longitud del cromosoma o individuo.

En el caso de esta investigación, se emplea un micro algoritmo genético con el objetivo de implementarse en dispositivos móviles con poco espacio de almacenamiento sin descuidar la calidad de los resultados. En la figura 1 se muestra el método propuesto implementado para la asignación de cargas horarias para estudiantes.

#### 4.1 Codificación del individuo

Para la población inicial es importante decir que la longitud del individuo está relacionada con el número de UAs ofertadas que el estudiante puede cursar. La codificación del individuo utilizada es binaria, donde cada gen indica si esa unidad de aprendizaje si (1) es o no (0) considerada para formar parte de la carga horaria propuesta.

## 4.2 Función de evaluación

La función de aptitud considera las condiciones descritas en la sección 3, las cuales son normalizadas en un rango de 0 a 1 para poder llevar a cabo la minimización del error que presenta un individuo (*ind*). La Función de Aptitud (*FA*) del micro algoritmo genético se formuló como una función multi-criterio, como se describe en ec. (1):

$$FA(ind) = \alpha CTS + \beta CHT + \gamma CUAPDC + \lambda CTR + \psi CCMIN + \theta CCMAX, \quad (1)$$

donde las variables  $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \lambda, \psi, \theta$ , están en un rango entre 0 y 1; y tiene la función de dar mayor o menor peso a las condiciones. Es por ello que la suma de las variables debe dar un resultado igual a 1:

- a) **CTS**. Para la condición de tiempo por semana ec. (2), el primer error calcula el Número de Horas (**NH**) del individuo (**ind**) que se exceden de acuerdo con las Horas Máximas disponibles por Semana (**HMS**) que tiene el estudiante:

$$CTS(ind) = NH(ind) = \begin{cases} NH(ind) > HMS & NH(ind) - HMS \\ \text{En otro caso} & 0 \end{cases} \quad (2)$$

- b) **CHT**. Para la condición de horas traslapadas se modela el error como el Número de las Horas Traslapadas (**NHT**) propuestas por el individuo. Este error se normaliza con **HMS**, es decir:

$$CHT = \frac{NHT}{HMS}. \quad (3)$$

- c) **CUAPDC**. Para la Condición de Unidades de Aprendizaje que Puede y Debe Cursar el estudiante se considera, de acuerdo al plan de estudios, el número de semestre en que debe de ser cursada la UA. La ec. (4) da prioridad a las UAs más rezagadas propuestas por el individuo (**ind**) de tamaño **n**:

$$\sum_{i=1}^n Semestre(ind[UA_i]). \quad (4)$$

Para normalizar este valor se calcula como límite menor la sumatoria de las **n** unidades de aprendizaje de Semestres Menores (**S. Menores**) que puede cursar el estudiante de la Lista de UAs Posibles (**LUAP**) y como límite mayor la sumatoria de las **n** unidades de aprendizaje de Semestres Mayores que puede cursar el estudiante de la **LUAP**:

$$CUAPDC(ind) = \frac{\sum_{i=1}^n Semestre(ind[UA_i]) - \sum_{i=1}^n S. Menores(LUAP(i))}{\sum_{i=1}^n S. Mayores(LUAP(i)) - \sum_{i=1}^n S. Menores(LUAP(i))}. \quad (5)$$

- d) **CCMAX&CCMIN**. Condición de créditos máximos (**C<sub>max</sub>**) y créditos mínimos (**C<sub>min</sub>**) para generar cargas horarias (de acuerdo con el plan curricular, que además puede ser ajustado por el estudiante, ya que debido al número de créditos puede o no aumentar el costo de pago de inscripción por semestre). El

error de esta condición evalúa en ec. (6) qué tan alejado está el Número de Créditos ( $NC$ ) propuesto por el individuo ( $ind$ ), de los rangos permitidos por  $C_{max}$  y  $C_{min}$ :

$$CCMIN\&CCMAX(ind) = \begin{cases} NC(ind) > C_{max} & \frac{NC(ind) - C_{max}}{C_{max}}, \\ NC(ind) < C_{min} & \frac{C_{min} - NC(ind)}{C_{min}}, \\ C_{min} \leq NC(ind) \leq C_{max} & 0. \end{cases} \quad (6)$$

## 5. Experimentación

Para la experimentación se trabajó con 100 estudiantes de la universidad de los autores (UAEMex), con una muestra de 3 generaciones de cargas horarias para estudiantes. Todos los experimentos se generaron con los mismos parámetros del micro algoritmo genético. Cabe mencionar que los estudiantes tienen mínimo dos posibilidades de horario que brinda la institución, del cual se puede realizar la generación de su carga horaria tomando en cuenta las condiciones del estudiante. El E1 forma parte de la comunidad estudiantil de la UAEMex, cursa el 10° semestre de su carrera y tiene una situación académica irregular. Por lo cual el estudiante debe seleccionar Unidades de Aprendizaje de diferentes semestres.

**Tabla 2.** Las UAs (Unidades de aprendizaje) traslapadas se indica con color gris, el resto de las UAs se muestran con colores cualesquiera.

UA2
UA2
UA4
UA4

**Tabla 3.** Se muestran las condiciones que requieren los estudiantes.

Condición	E1	E2	E3
Horas máximas semanalmente	37	20	0
Unidades de aprendizaje a cursar	10	5	5
Créditos mínimos	39	42	43
Créditos máximos	17	17	17

**Tabla 4.** Se muestran las definiciones de las abreviaturas que se muestran enseguida.

UA	Unidad de aprendizaje
E1	Estudiante 1
E2	Estudiante 2
E3	Estudiante 3

En la Tabla 5 se muestra el horario estructurado por el primer estudiante dónde en color gris pueden apreciarse las UAs que son traslapadas para el (E1).

**Tabla 5.** Carga horaria diseñada por el E1.

Hora/Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
7:00 - 8:00						
8:00 - 9:00	UA1	UA3		UA7		
9:00 - 10:00		UA3	UA6	UA7		
10:00 - 11:00	UA2	UA4		UA5		
11:00 - 12:00				UA5		
12:00 - 13:00		UA4				
13:00 - 14:00		UA5				

**Tabla 6.** Carga horaria diseñada por el método propuesto para el E1.

Hora/Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
7:00 - 8:00						
8:00 - 9:00	UA1	UA3			UA7	
9:00 - 10:00			UA6			
10:00 - 11:00	UA2	UA4				
11:00 - 12:00			UA3			
12:00 - 13:00		UA5	UA4			
13:00 - 14:00						

**Tabla 7.** Carga horaria diseñada por el E2.

Hora/Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
7:00 - 8:00						
8:00 - 9:00			UA4		UA1	
9:00 - 10:00	UA6	UA2				
10:00 - 11:00						
11:00 - 12:00			UA5	UA3		
12:00 - 13:00						
13:00 - 14:00						

En la Tabla 6 se muestra la carga horaria diseñada por el método propuesto para el E1 donde se obtuvo un resultado mejor al del estudiante. En la tabla 7 se muestra la carga horaria realizada por el segundo estudiante (E2). En la Tabla 8 se muestra la carga horaria diseñada por el método propuesto para el E2. El resultado obtenido es equivalente al horario realizado manualmente por el E2.

En la Tabla 9 se muestra la carga horaria diseñada por el tercer estudiante (E3). En la Tabla 10 se muestra la carga horaria diseñada por el método propuesto para el E3 donde se obtuvo un resultado igual al realizado por estudiante manualmente.

**Tabla 8.** Carga horaria diseñada por el método propuesto para el E2.

Hora/Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
7:00 - 8:00						
8:00 - 9:00			UA4		UA2	
9:00 - 10:00	UA5	UA1				
10:00 - 11:00						
11:00 - 12:00						
12:00 - 13:00			UA6	UA3		
13:00 - 14:00						

**Tabla 9.** Carga horaria diseñada por el E3.

Hora/Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
7:00 - 8:00						
8:00 - 9:00	UA6	UA7	UA3		UA2	
9:00 - 10:00				UA5		UA1
10:00 - 11:00						
11:00 - 12:00		UA4				
12:00 - 13:00						
13:00 - 14:00						

**Tabla 10.** Carga horaria diseñada por el método propuesto para el E3.

Hora/Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
7:00 - 8:00						
8:00 - 9:00	UA6	UA7	UA3		UA2	
9:00 - 10:00				UA5		UA1
10:00 - 11:00						
11:00 - 12:00		UA4				
12:00 - 13:00						
13:00 - 14:00						

## 6. Desempeño de la evolución

En la siguiente gráfica se muestra la evolución del micro algoritmo genético tomando en cuenta los criterios mencionados en función de evaluación:

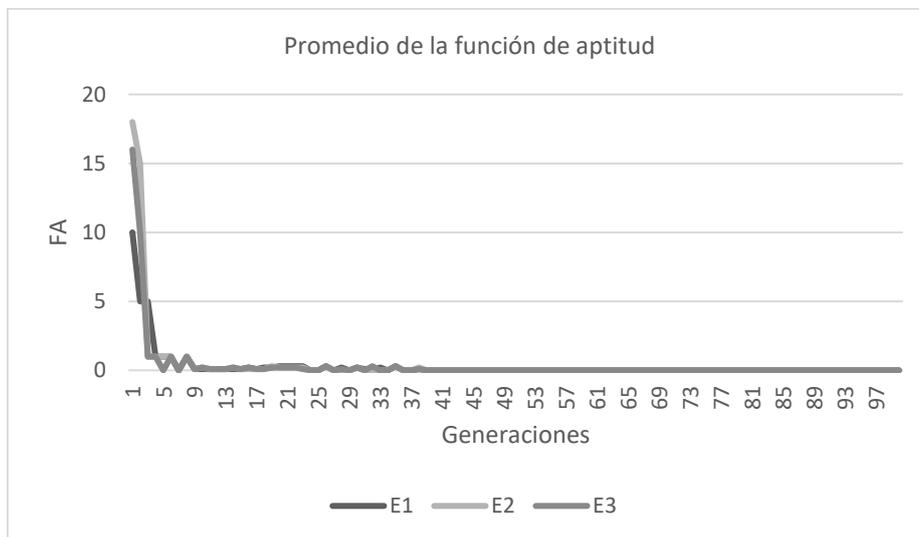


Fig. 1. Población de 5 individuos, 100 generaciones, probabilidad de cruce 80%, probabilidad de mutación 0.2%.



Fig. 2. Con una muestra de 100 estudiantes, el método propuesto generó un horario igual (25%), equivalente (25%) o mejor (50%) que el estudiante.

En la gráfica 2, se puede observar la aptitud que el micro algoritmo genético genera para el conjunto de condiciones que solicitan los tres estudiantes anteriormente mencionados. Con una población de 100 individuos se llegó a los siguientes resultados, en un 50% se asignaciones de acuerdo con los estudiantes, el método propuesto realiza una buena generación de carga horaria, tomando en cuenta los criterios del estudiante.

Estos porcentajes indican que en el 50 % el método propuesto ofrece cargas horarias que satisfacen las condiciones del estudiante, en los porcentajes que corresponde a cargas horarias equivalentes e iguales, indica que quizá no hay más posibles combinaciones en las UAs y con las condiciones que establece el estudiante.

Gracias a la evolución se ha podido conocer que con una población pequeña se obtienen buenos resultados cubriendo los criterios del estudiante (mencionados en la Tabla 3).

No se encontraron trabajos en el estado del arte que atiendan cargas horarias en el estudiante, se encontraron trabajos que realizan asignación de aulas pero en esos trabajos no se toman en cuenta criterios relacionados a los que se emplean en la presente investigación.

Con un micro algoritmo genético, se logró reunir una descripción formal de las condiciones reales que en general pueden ser útiles para aplicar el método propuesto a diferentes instituciones. Todos los criterios empleados en el presente trabajo son importantes en para el desempeño académico del estudiante.

## **7. Conclusiones**

El problema que enfrenta el estudiante de asignar una carga horaria es muy importante, ya que actualmente existen muy pocos trabajos enfocados a los estudiantes, en su mayoría realizan la asignación de horarios para escuelas y profesores.

Con el presente trabajo se demuestra que con el uso de un micro algoritmo genético y optimización multi-criterio es posible asignar cargas horarias para estudiantes. De acuerdo a la experimentación se vio que con el método propuesto en todos los casos asignó cargas horarias mejores, equivalentes, iguales, cabe resaltar que nunca generó una carga horaria peor

Como trabajo futuro se pretende llevar el sistema a una aplicación móvil apta para cualquier plataforma, misma en la que ya se está trabajando.

## **Referencias**

1. Andaluz, A.M.: Algoritmos evolutivos y algoritmos genéticos. Universidad Carlos III de Madrid, pp. 1–14. [http://www.it.uc3m.es/~jvillena/irc/practicas/estudios/aeag\\_\(2004\)](http://www.it.uc3m.es/~jvillena/irc/practicas/estudios/aeag_(2004))
2. Broca, J.M.: Algoritmos genéticos en la generación de horarios escolares. Atizapán de Zaragoza (2016)
3. Coello, C.: Introducción a la optimización multiobjetivo usando metaheurísticas (2013)
4. Díaz, M.: Implementación del algoritmo de las Hormigas MAX-MIN para la selección de rutas de distribución (2013)
5. Gestal, M., Rivero, D., Rabuñal, J., Dorado, J., Coruña, A.P.A.: Introducción a los algoritmos genéticos y la programación genética. Galeon. Com. <http://www.galeon.com/dantethedestroyer/algoritmos.pdf> (2010)
6. Gómez, S.M.G.: Programación óptima de horarios de clase usando un algoritmo memético. *Scientia et Technica*, XII (30), pp. 255–260 (2006)
7. Goldberg, H.: Enhancement of xylanase production by sol-gel immobilization of *Aspergillus awamori* K-1. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19, pp. 117–119 (1988)

8. González, B.S.: Asignación de cargas horarias para estudiantes mediante un algoritmo genetic. 74 (2018)
9. Granada, M., Toro, E.M., Franco, J.F.: Programación óptima de horarios de clase usando un algoritmo memético. *Scientia et Technica*, XII (30), pp. 255–260 (2006)
10. Hernández, R., Miranda, P.J., Rey, P.A.: Programación de horarios de clases y asignación de salas para la facultad de ingeniería de la universidad diego portales mediante un enfoque de programación entera. *Control*, pp. 121–141 (2008)
11. Holland, J.: Algoritmos genéticos. *Investigación y Ciencia*, pp. 38–45 (1992)
12. Kuri, A.: Algoritmos Genéticos. <http://cursos.itam.mx/akuri/PUBLICA.CNS/2000/AGS.PDF> (2000)
13. Ledeneva, Y.N., Hernández, R.A.G.: Generación automática de resúmenes [Automatic generation of text summaries challenges, proposals, and experiments] (2017)
14. Pérez, C.: Un algoritmo genético para un problema de horarios con restricciones especiales. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 18(2), pp. 215–229. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=45326930002> (2011)
15. Ramos, F.R.: Sistema para la generación de horarios académicos en instituciones universitarias usando algoritmo Tabú, 155. [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/cybertesis/4913/Ramos\\_mf.pdf?sequence=1](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/cybertesis/4913/Ramos_mf.pdf?sequence=1) (2012)
16. Solano, Y.: Implementación de un algoritmo genético para la asignación de aulas en un centro de estudio. *Uniciencia*, 22, pp. 115–121 (2008)
17. Suárez, G.C.: Programación de horarios escolares basados en ritmos cognitivos usando un algoritmo genético de clasificación [Scheduling of school hours based on cognitive rhythms using a non-dominated sorting genetic algorithm]. *NSGA-II*, 24(1), pp. 103–114 (2013)
18. UAEM: Tutor Académico UAEM. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwi30pmMmLDbAhUUNn0KHf1PD08QFghHMA&url=http%3A%2F%2Fri.uaemex.mx%2Fbitstream%2Fhandle%2F20.500.11799%2F66704%2Ftesis%2520final-split-merge.pdf%3Fsequence%3D1&usg=AOvVaw3VqNk2x8dxFnZ> (2016)
19. Weare, R.F., Burke, E.K., Elliman, D.G.: A hybrid genetic algorithm for highly constrained timetabling problems. *Science*, pp. 605–610 (1995)
20. Zulueta, A.: El origen de las especies por medio de la selección natural. 9, pp. 55–62 (1921)