

Algoritmos del orden: el futuro de los horarios universitarios

Algorithms of order: the future of university schedules

Emilio Antonio Guerrero Silva

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco

al2233803213@azc.uam.mx

ORCID [0000-0002-5281-2700](https://orcid.org/0000-0002-5281-2700)

Román Anselmo Mora Gutiérrez

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco

mgra@azc.uam.mx

ORCID [0000-0002-2112-7049](https://orcid.org/0000-0002-2112-7049)

Erick Rincón García

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Iztapalapa

rincon@xanum.uam.mx

ORCID [0000-0001-7837-7818](https://orcid.org/0000-0001-7837-7818)

Resumen

La asignación de horarios en universidades es un problema complejo que requiere coordinar múltiples factores, como la disponibilidad de profesores, aulas y cursos, además de considerar las necesidades de los estudiantes. Tradicionalmente, este proceso se realiza manualmente, lo que implica un alto consumo de tiempo y el riesgo de cometer errores. Para abordar esta problemática se han desarrollado diversas soluciones basadas en heurísticas y metaheurísticas, como los algoritmos genéticos, recocido simulado, búsqueda tabú y optimización por enjambre de partículas. Estos enfoques permiten optimizar la asignación de recursos, reducir conflictos y mejorar la planificación académica. La aplicación de inteligencia artificial y técnicas de optimización multiobjetivo representan alternativas prometedoras para la gestión eficiente de horarios en instituciones educativas.

Palabras clave

Optimización, algoritmos heurísticos, metaheurísticas, inteligencia artificial y planificación académica.

Abstract

Scheduling in universities is a complex problem that requires coordinating multiple factors, such as the availability of professors, classrooms, and courses, in addition to considering student needs. Traditionally, this process is performed manually, which is time-consuming and error-prone. To address this problem, various solutions based on heuristics and metaheuristics have been developed, such as genetic algorithms, simulated annealing, tabu search, and particle swarm optimization. These approaches optimize resource allocation, reduce scheduling conflicts, and improve academic plan-

ning. The application of artificial intelligence and multi-objective optimization techniques represents a promising alternative for efficient scheduling management in educational institutions.

Keywords

Optimization, heuristic algorithms, metaheuristics, artificial intelligence, academic planning.

Introducción

En toda institución de nivel superior es pertinente que antes de iniciar el ciclo escolar se cuente con una estrategia que permita establecer los horarios de clase. Esto suele realizarse semanas antes de empezar las clases, por lo que se cuenta con un plazo razonable para realizar esta actividad. Es importante mencionar que dicha tarea es de gran relevancia para el uso adecuado de los recursos de la universidad. Para ello, previamente se tuvo que definir cuáles materias serán impartidas, cuántos profesores darán clases, el número de aulas que estarán disponibles y tener actualizado el historial académico de cada estudiante para identificar las materias que puede cursar.

En el caso de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), una vez que cada una de las divisiones académicas cuenta con esta información, la persona encomendada para esta actividad presenta una propuesta que contiene los horarios, materias por impartir, aulas designadas y asignaciones a los profesores con base en los datos históricos y su experiencia académica.

Los objetivos que se buscan alcanzar con la asignación de horarios son los siguientes:

1. Facilitar la planificación a largo plazo.
2. Satisfacer la necesidad de los profesores de planear sus actividades al tener certeza de sus horarios frente a un grupo.
3. Ayudar a mejorar el rendimiento de los estudiantes.

En otras palabras, una asignación de horarios consiste en asignar eficazmente un conjunto de profesores para impartir materias en un salón y horario específico, de tal manera que se eviten empalmes y se invierta la menor cantidad de recursos por parte de la institución La Figu-

ra 1 muestra un ejemplo simplificado del problema que enfrentan las universidades al crear sus horarios.

En el esquema de la izquierda se observan conflictos, donde un profesor o aula aparecen asignados a más de una clase al mismo tiempo. En cambio, el esquema de la derecha representa un horario optimizado, sin choques de tiempos ni recursos.

Este tipo de situaciones son precisamente las que los algoritmos heurísticos y metaheurísticos buscan resolver de forma automática.

La designación de horarios es una tarea que se realiza de manera manual. Esto implica que las personas que realizan este proceso requieren mucho tiempo para armar una asignación apropiada para su área en concreto, con el riesgo potencial de que se presenten errores, tales como el traslape de horarios (cuando a un profesor le son asignadas dos clases en aulas diferentes a la misma hora y el mismo día), un número de estudiantes que excede la capacidad del salón y el cupo del grupo o incluso una asignación tan mal elaborada que impida que el estudiantado pueda inscribir las materias que requiere para el semestre, ocasionando colisiones. Cabe aclarar que al

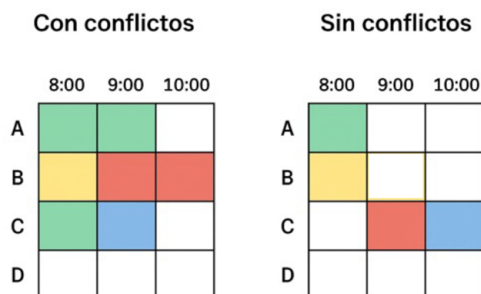


Figura 1. Ejemplo de horarios con y sin conflictos.

realizar esta labor no existe un proceso definido. Para resolver este problema existen diferentes opciones. Una de ellas consiste en conocer con antelación las materias que se impartirán y los horarios disponibles; una vez que se cuenta con esta información, se realiza la asignación de los profesores a las materias. Otra opción sugiere empezar con la asignación de los profesores a las materias para después asignar ésta en un horario concreto, además de designar las aulas respectivas tomando en cuenta las restricciones sobre el número máximo de estudiantes que podrán tomar clase.

Varios métodos de solución del problema de asignación de profesores a materias, aulas y horarios indican encararlo por medio de métodos heurísticos: algoritmos que sean capaces de no sólo hacer una asignación que cumpla todas las restricciones, sino que también ofrezcan soluciones para mejorar la organización y optimización de los recursos posibles.

En algunos casos es razonable dividir este problema para poder resolver algunos aspectos en específico. Si bien esto simplifica considerablemente las restricciones del problema de asignación de horarios, también puede tener un enfoque significativamente diferente al propuesto inicialmente.

Estado del arte

La asignación de profesores en determinados horarios puede verse como un problema de organización u optimización¹ en el que se deben combinar muchos factores (profesores, materias, aulas y horarios) sin generar conflictos. Para resolverlo, los investigadores han usado distintas estrategias llamadas heurísticas: métodos que buscan soluciones buenas, aunque no necesariamente perfectas, que se realicen de manera más rápida que al hacerlo manualmente.

El trabajo de Chen *et al.* (2021) hace una revisión general de los métodos más recientes para resolver este tipo

de problema, clasificándolos según su evolución y los datos que utilizan. Este estudio muestra que los enfoques más efectivos suelen ser los llamados metaheurísticos: combinaciones de distintas estrategias inspiradas, por ejemplo, en procesos naturales o sociales, como la evolución biológica o el comportamiento de grupos animales.

Para ilustrar esto tenemos los algoritmos genéticos (AG) que se inspiran en la selección natural; crean muchas posibles soluciones (población), comparan cuáles funcionan mejor y combinan las más exitosas para generar nuevas soluciones, como si fueran *hijos mejorados*. Estos algoritmos han demostrado ser muy útiles para programar horarios de clases de manera automática, reduciendo el riesgo de errores por el factor humano y ahorrando tiempo.

En otros estudios se han utilizado variantes del AG, como el algoritmo genético adaptativo (AGA) (Wengjing, 2018) o el algoritmo genético paralelo (PGA) (Chen *et al.* 2021), los cuales ajustan sus parámetros o ejecutan varios procesos al mismo tiempo para encontrar mejores resultados más rápido. Estas técnicas consideran reglas estrictas (restricciones duras², como «un profesor no puede dar dos clases a la misma hora») y otras más flexibles (restricciones blandas², como «evitar que un profesor tenga clases seguidas sin descanso»).

Asimismo, Chen *et al.* (2021) analizan detalladamente cuales técnicas se han propuesto para resolver este problema, demostrando la eficacia de los algoritmos genéticos en la asignación de horarios. La técnica coloración de grafos³ (CG) no llega a ser tan eficiente para encarar el problema de asignación de horarios, debido a la cantidad de restricciones que se involucran al momento de establecer horarios; esto implica que el tiempo de cómputo llegue a ser muy elevado, por lo que se vuelve deficiente para este caso; como indica el teorema de *no free lunch* (TNFL): no toda técnica heurística puede ser viable para cualquier problema.

¹ El problema de optimización consiste en buscar la mejor solución entre todas las posibles.

² Las restricciones duras son aquellas que deben satisfacerse sin excepciones, mientras que las restricciones blandas no requieren satisfacerse.

³ Concepto matemático que se basa en asignar colores a los vértices de un grafo con el objetivo de usar la menor cantidad de colores posibles.

Entonces es mejor considerar los algoritmos evolutivos, ya que son más viables para poder implementarlos, en específico el AG. Reafirmando la gran utilidad de éstos, Sarra *et al.* proponen una variante del AG basado en el algoritmo metaheurístico *grey wolf optimizer* (GWO), el cual simula el comportamiento de una manada de lobos en la búsqueda de soluciones, destacando su simplicidad y la capacidad de equilibrar la exploración y la explotación en el espacio de búsqueda.

Asimismo, existen diversas técnicas heurísticas⁴ aplicadas al problema de generación de horarios universitarios. Un ejemplo es el recocido simulado (RS), (Rahman *et al.*, 2022; Abdipoor *et al.*, 2023), el cual se basa en el proceso de enfriar lentamente un metal hasta alcanzar una estructura estable; en el caso de los horarios, esto significa empezar con una solución inicial y mejorarla poco a poco, aceptando ocasionalmente pequeños errores para no quedarse atrapado en una mala solución.

Por otro lado, la búsqueda tabú (BT) (Sun y Wu, 2023) funciona como una persona que recuerda los intentos que ya ha probado para no repetirlos, explorando así nuevas opciones. Por su parte, el algoritmo de enjambre de partículas (PSO) (Hossain *et al.*, 2019) imita la manera en que un grupo de aves o peces se mueve buscando la mejor posición posible; cada posible solución aprende de su experiencia y de la de los demás.

Comparar diferentes enfoques heurísticos es clave para determinar qué técnica ofrece un mejor rendimiento en una situación específica. Cada método tiene fortalezas y debilidades dependiendo de la estructura y restricciones del problema. En el caso de la asignación de profesores y horarios estas comparaciones son fundamentales, ya que permiten identificar qué algoritmo logra una mejor optimización en función de los requisitos particulares de cada instancia del problema.

Algunos autores han comparado múltiples estrategias, incluyendo enfoques híbridos (Yazdani *et al.*, 2017). Este tipo de técnicas logran un equilibrio entre la exploración (buscar nuevas combinaciones) y la explotación

(mejorar las que ya funcionan bien), lo que las hace más efectivas frente a problemas tan complejos como el de los horarios universitarios.

En esta línea, Rahman *et al.* (2022) realizan una comparación exhaustiva de varios métodos heurísticos aplicados a la generación de horarios en escuelas secundarias, analizando su rendimiento en términos de calidad de solución y eficiencia computacional. Yazdani *et al.* (2017) comparan tres metas heurísticas: RS, AG y un método basado en sistemas inmunológicos artificiales, implementadas en un modelo de programación lineal de números enteros, concluyendo cuál de ellas logra una mayor tasa de éxito en la optimización del problema.

Resultados

En la Tabla 1 (ver siguiente página) se muestra un resumen de los principales estudios revisados, indicando qué métodos utilizaron y qué resultados obtuvieron. En general, los AG son los más empleados, seguidos del RS, la BT y la PSO.

Esto refleja que los métodos inspirados en la naturaleza o en comportamientos humanos son los más exitosos para enfrentar este tipo de problemas. Por ejemplo, mientras los AG aprenden por *evolución*, el RS mejora gradualmente como si *enfriara* la solución hasta estabilizarla y la PSO coordina *partículas* (soluciones) que colaboran entre sí para llegar a una mejor respuesta global.

Comparando los resultados, se observa que los enfoques combinados o híbridos —que mezclan distintas estrategias— ofrecen los mejores resultados, pues aprovechan las ventajas de cada método. Esto sugiere que para instituciones educativas con muchos cursos, profesores y aulas, estos enfoques pueden ser la clave para obtener horarios equilibrados y sin conflictos.

Conclusiones

La asignación de horarios en universidades es un problema complejo que requiere la coordinación de múltiples factores, como la disponibilidad de profesores,

⁴ Las técnicas heurísticas, o método heurístico, consisten en un conjunto de técnicas que son capaces de resolver problemas.

Tabla 1. Resultados obtenidos de cada autor investigado e implementación de heurísticas.

Heurísticas/ Autores	AGA	AG	RS	BT	PSO	AGAM	AGMT	PGA	GWO	CG	BTG	ILS-HC vs. ILS-SA	Resultados
Wang Wen-jing						X							AGA mejora calidad y adaptabilidad.
Yue <i>et al.</i>		X					X						Más rápido y preciso que AG tradicionales.
Wu								X					Mayor eficiencia computacional vs. AG estándar.
E. C. Pérez <i>et al.</i>		X								X			Métodos más viables que la colocación de grafos.
Sarra <i>et al.</i>		X							X				Mejora calidad y estabilidad de soluciones.
Ngo <i>et al.</i>			X										Horarios más eficientes para más de 2500 estudiantes.
Sylejmani <i>et al.</i>			X										Alta tasa de cumplimiento de restricciones.
Zhang <i>et al.</i>													RS competitivo con tiempos aceptables.
Sun y Wu				X						X			Más rápido y mejor en restricciones.
Widayu <i>et al.</i>												X	ILS-SA más efectivo, pero costoso.
Hossain <i>et al.</i>					X								PSO mejor en velocidad y calidad.
Rahman <i>et al.</i>		X	X	X	X								PSO y BT mejores en problemas con más restricciones.
Yazdani <i>et al.</i>		X	X										Sistemas inmunológicos más efectivos.
Abdipoor <i>et al.</i>		X	X	X	X								Métodos híbridos superan heurísticas individuales.

aulas, cursos y las necesidades académicas de los estudiantes.

A lo largo del estudio se han identificado diversas metodologías para abordar este problema, desde enfoques manuales hasta soluciones computacionales avanzadas basadas en algoritmos heurísticos y metaheurísticos. Un aspecto fundamental en la asignación de horarios es su impacto en el rendimiento académico de los estudiantes. Un sistema de horarios bien estructurado no sólo garantiza una mejor organización institucional, sino que también contribuye a la comodidad y bienestar de los alumnos al reducir conflictos de horario y permitirles acceder

a las materias necesarias para su progreso académico. Asimismo, facilita la planificación a largo plazo y mejora la satisfacción de los profesores al optimizar su carga laboral y evitar sobreasignaciones. Otro punto clave es la escalabilidad y adaptabilidad de las soluciones; con el crecimiento de las instituciones educativas y el incremento en la cantidad de cursos y estudiantes, es indispensable contar con herramientas automatizadas que permitan gestionar grandes volúmenes de datos sin comprometer la calidad de la asignación. En este sentido, la implementación de algoritmos basados en inteligencia artificial y técnicas de optimización multiobjetivo resulta una alter-

nativa prometedora para enfrentar los desafíos futuros en la planificación académica.

En conclusión, la importancia de generar una asignación de horarios adecuada en universidades es vital, ya que esto deriva en un sistema organizado de horarios predefinidos para el ciclo escolar, semestre o trimestre —según el periodo de clases de cada universidad—, el cual requiere soluciones eficientes y adaptativas. La aplicación de algoritmos heurísticos y metaheurísticos ha demostrado ser una estrategia efectiva para optimizar el proceso, minimizando errores y maximizando el uso de los recursos disponibles. A medida que la demanda educativa sigue creciendo, es esencial seguir investigando y desarrollando nuevas metodologías que permitan mejorar la asignación de horarios, garantizando una gestión académica eficiente y equitativa para todos los involucrados.

Referencias

- Abdipoor, S., Yaakob, R., Goh, S. L. y Adbullah, S. (2023). Meta-heuristic approaches for the university course timetabling problem. *Intelligent Systems with Application*, 19. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667305323000789>
- Chen, M. C., Sze, S. N., Goh, S. L., Sabar, N. R. y G. Kendall (2021). A Survey of University Course Timetabling Problem: Perspectives, Trends and Opportunities. *IEEE Access*, 9, 106515-106529. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9499056>
- Chen, X., Yue, X. G., Li, R. Y. M., Zhumadillayeva, A. y Liu, R. (2021). Design and Application of an Improved Genetic Algorithm to a Class Scheduling System. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 16(1). <https://online-journals.org/index.php/i-jet/article/view/18225>
- Cortés, E., Montero, O., Pacheco, D., Sánchez, S. y Aguilar, F. (14-18 de junio de 2021). *A genetic algorithm solution for scheduling problem* [Conferencia]. 2021 XVII International Engineering Congress (CONI-IN), Querétaro, México. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9634725#citations>
- Hossain, Sk. I., Shuvo, M. I. R., Siddique, N. y Adeli. H. (2019). Optimization of university course scheduling problem using particle swarm optimization with selective search. *Expert Systems with Applications*, 127, 9-24. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417419301393>
- Khelifi, S., Zeghida, D. y Mazouzi, S. (2023). *A novel method for solving the university course timetabling problem based on the grey wolf optimizer algorithm* [Conferencia]. 2023 Third International Conference on Theoretical and Applicative Aspects of Computer Science, Skikda, Algeria. https://www.researchgate.net/publication/378723306_A_Novel_Method_for_Solving_the_University_Course_Timetabling_Problem_Based_on_the_Grey_Wolf_Optimizer_Algorithm
- Ngo, S. T., Jaafar, J. B., Azizand, I. A., Nguyenand, G. H. Bui, A. N. (2021). Genetic algorithm for solving multi-objective optimization in examination timetabling problem. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 16 (11). <https://online-journals.org/index.php/i-jet/article/view/21017>
- Rahman, R. A., Wahid, J., Wahaband, A. A., Hassanand, S., Ahmadand, R. y Ahmad, A. (2022). *Systematic literature review of metaheuristic methodologies for high school timetabling problem* [Conferencia]. 2022 Applied Informatics International Conference (AIIIC), Serdang, Malasia. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9914034>
- Sun, Z. y Wu, Q. (2023). Two-phase tabu search algorithm for solving chinese high school timetabling problems under the new college entrance examination reform. *Data Science and Management*, 6(1), 55-63. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666764923000073>
- Sylejmani, K., Gashi, E. y Ymeri, A. (2023). Simulated annealing with penalization for university course timetabling. *Journal of Scheduling* (5). <https://www.springerprofessional.de/en/simulated-annealing-with-penalization-for-university-course-time/23289402>

- Wen-jing, W. (2018). Improved Adaptive Genetic Algorithm for Course Scheduling in Colleges and Universities. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 13(6). <https://online-journals.org/index.php/i-jet/article/view/8442>
- Widayu, U. R. K., Mukhlason, A. y Nurkasanah, I. (2021). *Automation and optimization of course timetabling using the iterated local search hyper heuristic algorithm with the problem domain from the 2019 international timetabling competition* [Conferencia]. 2021 3rd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIconCIT), Surabaya, Indonesia. https://www.researchgate.net/publication/351646562_Automation_and_Optimization_of_Course_Timetabling_Using_the_Iterated_Local_Search_Hyper-Heuristic_Algorithm_with_the_Problem_Domain_from_the_2019_International_Timetabling_Competition
- Wu, L. (2015). The application of coarse-grained parallel genetic algorithm with hadoop in university intelligent course-timetabling system. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 10(8). <https://online-journals.org/index.php/i-jet/article/view/5206>
- Yazdani, M., Naderi, B. y Zeinali, E. (2017). Algorithms for university course scheduling problems. *Tehnički Vjesnik*, 24(2), pp. 241-247. <https://hrcak.srce.hr/file/274394>
- Zhang, D., Liu, Y., Hallah, R. M. y Leung, S. C. H. (2011). A simulated annealing algorithm with a new neighborhood structure for the timetabling problem. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 550-558. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221709006055>