

PROGRAMACIÓN Y ASIGNACIÓN DE HORARIOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Ing. Luis Alberto González Cuevas¹, Mtro. Missael Alberto Román del Valle², Dr. Edgar Gonzalo Cossio Franco³

Resumen — Dentro de la gestión académica en las instituciones de educación superior, la programación de horarios es un tema que ha generado mucho interés desde los años setenta, observando que se han implementado una gran diversidad de métodos para encontrar soluciones óptimas a estos problemas de acuerdo con los requerimientos planteados por el sistema administrativo de las instituciones. Este artículo presenta una revisión sistemática de literatura que incluye 64 artículos durante el periodo 1977-2020 referente a las técnicas, herramientas y/o métodos utilizados para la programación, asignación y optimización de horarios, partiendo de un análisis en el área del conocimiento, el método de investigación y solución. Los resultados mostraron que algoritmos genéticos y programación lineal son uno de los métodos más empleados para el tema abordado.

Palabras clave—Genetic Algorithms, Timetabling/Scheduling, Metaheuristic approaches; Combinatorial optimization, Literature Review.

Introducción

En México, las Instituciones de Educación Superior (IES) son aquellas entidades que se abocan a la última etapa de preparación profesional de los estudiantes durante su trayectoria académica de acuerdo con los intereses y objetivos particulares que tengan con relación a la oferta académica estipulada. Las IES realizan múltiples actividades administrativas cotidianamente con el fin de otorgar un servicio de calidad al sector estudiantil, entre las cuales se encuentran la organización de la plantilla de profesores y asignaturas a impartir durante el año académico a los diversos grupos existentes, este último requiere de un esfuerzo sincronizado por parte de los administradores de dichos programas académicos, pues la gama de variables y restricciones a tomar en consideración es amplia, caso similar a las soluciones que las empresas optan para programar horarios de trabajo de los empleados como la propuesta realizada por (Nelson et al., 1977), o bien en la programación de horarios de transporte público (Kang & Zhu, 2017) y en la planeación de la producción (Brown & Ozgur, 1997). Cabe destacar que este proceso es considerado como un problema de asignación de recursos debido a que se debe asignar una cantidad de recursos limitados equitativamente entre las actividades competidoras para que el resultado sea lo más óptimo posible (Lee et al., 2003), además comparte características para considerarse dentro de la categoría de problemas combinatorios de tipo no determinístico polinomial (NP-Duro) de acuerdo con (Floyd, 1967), mismos que suelen ser muy complejos. Particularmente, este tipo de problemas de optimización han generado mucho interés y se han desarrollado muchas propuestas de solución implementado diversos métodos como los propuestos por (YU et al., 2002) que utilizan Programación Entera, el método de Enjambres de Partículas utilizado por (Chen et al., 2010), así como métodos heurísticos que fueron utilizados por (Haghani & Shafahi, 2002).

A razón de lo anterior, el presente artículo ofrece una revisión de la literatura sistemática a través de un análisis cualitativo que discute los diversos métodos y técnicas que se han utilizado en el campo de programación de horarios en donde se ven involucrados diferentes contextos y casos de éxito. Además, se pretende encontrar áreas de oportunidad en la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial (IA) en la respectiva área, para la determinar una propuesta de aplicación que genere un aporte de interés al área de conocimiento. El artículo se encuentra constituido por 5 secciones principales: la introducción, revisión de la literatura previa, la metodología y marco de referencia, resultados de la clasificación y finalmente, la discusión y comentarios finales.

Descripción del método

Revisión de la literatura previa.

Bajo el enfoque de programación de horarios, es importante mencionar que se han desarrollado múltiples trabajos de interés, por ejemplo, (Burke & Petrovic, 2002) quien enfoca su análisis hacia la aplicación de algoritmos

¹ El Ing. Luis Alberto González Cuevas es estudiante de la Maestría de Sistemas Inteligentes Multimedia del Posgrado CIATEQ, A.C. Unidad Jalisco, Coordinador Académico de Ingenierías (IMEC, ISC, II) y docente en la Universidad del Vallé de Atemajac, Zapopan, Jalisco. luis.cuevas@univa.mx (autor corresponsal)

² El Mtro. Missael Alberto Román del Valle es Investigador Asociado en las líneas de I+D+i del área logística del Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ A.C. missael.roman@ciateq.mx

³ El Dr. Edgar Gonzalo Cossio Franco es Analista de Sistemas en el Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco kofiran@gmail.com

heurísticos y evolutivos aplicados principalmente a la optimización de horarios escolares; este estudio concluye que las propuestas existentes no son de uso general y solamente se diseñan para resolver la problemática de la institución para la cual se diseñaron dichos algoritmos. Otro caso particular es el de (Sabuncuoglu, 1998), quien propone la implementación de redes neuronales para la solución de problemas de optimización combinatorial; las conclusiones más significativas de este trabajo es la implementación de redes neuronales para la resolución de este tipo de problemas, pero sin ser las más efectivas para la resolución de horarios de trabajo en manufactura.

Adicionalmente, la aplicación de técnicas para la resolución de problemas de optimización de horarios ha sido un tema de interés para otros autores, por lo que se han encontrado otras revisiones de literatura que han contribuido a dicha área de conocimiento, tales como (Jain et al., 2015; Marynissen & Demeulemeester, 2019).

Metodología y marco de clasificación.

La presente revisión de literatura se realizó bajo un enfoque sistemático, la cual, a través de un análisis cualitativo se observó el comportamiento de las soluciones aplicadas en la optimización en la programación de horarios a través de los años. Cabe destacar que, a diferencia de las revisiones tradicionales, el enfoque sistemático permitirá al lector finiquitar en las mismas contribuciones de forma clara y fácil para comprobaciones futuras relacionadas con la presente investigación.

a) Colección de datos.

Partiendo de una metodología con enfoque sistémico, explícito y reproducible para la evaluación e interpretación de los principales hallazgos, el presente trabajo consta de tres pasos:

- *Paso 1: Pregunta de investigación.*

La siguiente pregunta tiene como finalidad dar dirección y enfoque al presente estudio:

¿Cuál es el progreso o avance de investigación con relación a la optimización de horarios escolares utilizando técnicas de inteligencia artificial?

- *Paso 2: Búsqueda de aportaciones.*

De forma secuencial, se realizó la búsqueda de trabajos científicos a partir de tres bases de datos de alto impacto: *Science Direct*, *Emerald Insight* y *Taylor & Francis*, mismas que fueron seleccionadas por tener una gran cantidad de recursos disponibles relacionados con el tema de estudio del trabajo a analizar y por estar disponibles para el autor. Después de analizar a profundidad el objeto de estudio del presente trabajo, se seleccionaron cuatro palabras clave para realizar la búsqueda de artículos en las bases de datos seleccionadas, siendo: “*course scheduling*”, “*class scheduling*”, “*timetable scheduling*” y “*optimization*”. Los resultados arrojaron una cantidad total de 138 artículos comprendidos del año 1977 al 2020, de los cuales, 22 son pertenecientes a *Science Direct*, 34 de *Emerald Insight* y 82 de *Taylor & Francis*. Del conjunto de artículos encontrados se discriminaron 74 debido a que abordan temas de poca aportación para la presente investigación, por consiguiente, los 64 artículos restantes conforman la colección de literatura del presente artículo.

- *Paso 3: Clasificación y evaluación.*

El conjunto de artículos de interés se analizó bajo una clasificación que el lector podrá encontrar en el inciso C, correspondiente a síntesis y marco de clasificación.

b) Análisis de datos.

Para la gestión y análisis de la información contenida en los artículos previamente definidos, se utilizaron hojas de cálculo de Microsoft Excel en la que se agregaron campos para identificar información clave para clasificar y procesar la información detectada, por ejemplo, año de publicación, fuente, país, método de solución, palabras clave, área de conocimiento, tipo de documento, método de investigación, institución. Cabe destacar que para la gestión de los artículos encontrados se utilizó Zotero.

c) Síntesis y marco de clasificación.

- *Año de publicación, fuente y país.*

Clasificación incluida para observar la tendencia de la publicación de los artículos respecto al tiempo, conocer los países que están contribuyendo con más soluciones bajo esta temática y el campo de fuente para identificar las revistas en las que más publicaciones existen al respecto.

- *Tipo de documento.*

Clasificación para realizar la distinción por tipo de documento, la propuesta por (Crossan & Apaydin, 2010) en su revisión sistemática en la sección de análisis descriptivo; podemos observar que sugiere principalmente artículos teóricos, revisión de literatura, artículos empíricos que construyen una teoría y artículos empíricos que prueban una teoría.

- *Área de conocimiento.*

Los artículos encontrados en la presente revisión de literatura se clasifican de acuerdo a la distinción por áreas de conocimiento que propone (Scopus, 2020), donde se citan los aspectos de ciencias agrícolas y

biológicas, artes y humanidades, bioquímica, genética y biología molecular, negocios, gestión y contabilidad, ingeniería química, química, ciencias de la computación, ciencias de la decisión, odontología, ciencias de la tierra y planetarias, economía, econometría y finanzas, energía, ingeniería, ciencia medioambiental, profesiones de la salud, inmunología y microbiología, ciencia de los materiales, matemáticas, medicina, multidisciplinario, neurociencia, enfermería, farmacología, toxicología y farmacéuticas, física y astronomía, psicología, ciencias sociales y veterinaria.

- Método de investigación.

En este apartado se identifican los métodos de investigación que realizan los autores para validar las propuestas realizadas en cada uno de los artículos detectados. Cabe destacar que los más utilizados en el área académica son: simulación, caso de estudio, validez estadística y experimentación.

- Área a la que se aplica la optimización de horarios.

Para este apartado se realizó una clasificación en la que se busca identificar en que área del sector productivo fue aplicado cada uno de los artículos analizados. Por mencionar algunos, se identificó el contexto del transporte, horarios de trabajo, manufactura y horarios escolares.

- Método de solución.

Clasificación que identifica los métodos de solución implementados por los autores para la resolución de la problemática planteada en cada uno de los artículos encontrados, dando mayor atención a los artículos en los que el tema de optimización de horarios escolares es abordado.

Resultados de la clasificación.

Este apartado muestra los resultados del análisis realizado a los artículos de acuerdo con la clasificación propuesta, con el fin de mostrar información relevante respecto a los avances en la optimización de horarios.

a) Análisis descriptivo general.

En esta sección se presentan los resultados de los aspectos generales de los artículos analizados.

- Resultados de la clasificación por el año de publicación.

Se encontraron artículos producidos desde el año 1977 y hasta el año en curso (2020), en la Figura 1 y en la Figura 2 se puede observar como en la década de los 70's se empieza a hablar del tema de creación de horarios pero la producción de artículos es baja durante ésta década y la siguiente, en la década de los 90's se triplican los artículos generados, pero se tienen en la década de los 00's la mayor generación de artículos relacionados con éste tema, manteniéndose a un ritmo similar en la última década.

- Resultados de la clasificación por país.

Respecto a la distribución de artículos por país de origen, es importante destacar que aproximadamente un 33% de los artículos son producidos por USA, o bien, participa en colaboración con otros países (Figura 3), siendo un total de 22 artículos. Otro dato de alto interés es que solamente la participación de Latinoamérica es mínima, pues en este lapso, tan solo un artículo proviene de Brasil en colaboración con Hong Kong lo que indica que en Latinoamérica la investigación es escasa y muestra que hay una oportunidad de desarrollo de aplicación de técnicas para la optimización de horarios; México no cuenta con colaboración alguna al menos en estas bases de datos. China y Taiwán cada uno con 5 artículos y Canadá, Emiratos Árabes Unidos y Hong Kong con 4, son los países que más producción de artículos tienen relacionados con este tema.

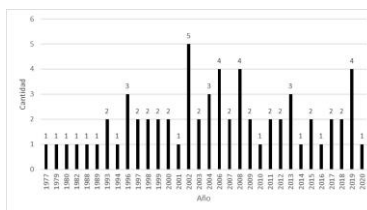


Figura 1. Producción anual de artículos.

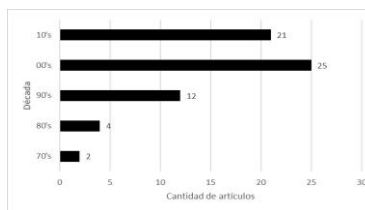


Figura 2. Producción de artículos por década.

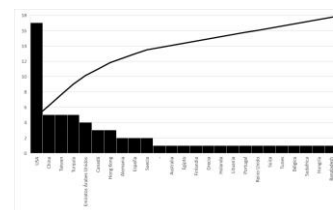
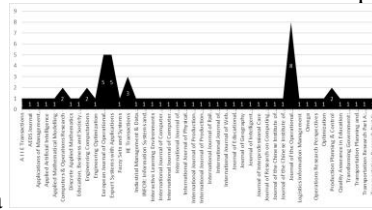


Figura 3. Producción de artículos por país.

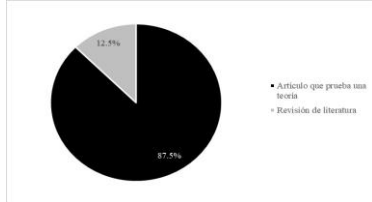
- Resultados de la clasificación por fuente.

El lector podrá observar en esta sección la distribución de publicaciones generadas por revista científica,



misma que se muestra en la Figura 4, en la que se encuentra que la revista con más publicaciones es *Journal of the Operational Research Society* con 8 contribuciones que representan el 12.5% del total de los artículos analizados. En segundo lugar, con más registros, se encuentran los recursos por *European Journal of Operational Research* y *Expert Systems with Applications* ambas con 7.8% de las contribuciones, es decir, 10 artículos registrados en estas revistas. En total se encontraron 44 revistas científicas con publicaciones referentes a la optimización de recursos, lo que indica que existe una gran diversidad de áreas de aplicación en las que se requieren soluciones a este tipo de problemas.

• Resultados de la clasificación Tipo de documento.



En la Figura 5 se puede observar el resultado de este apartado en el que se observa que el tipo de documento más frecuente son los artículos que prueban una teoría con un 87.5%, equivalente a 56 artículos, esto obedece a que son propuestas que implementan algunos de los métodos de solución existentes y muestran los resultados de dichas implementaciones. El resto de los artículos revisados entran en la categoría de Revisión de literatura, representando 8 publicaciones, en las que se encontró que solo 2 de estas (Burke & Petrovic, 2002; Sabuncuoglu, 1998) hablan respecto a la creación de horarios escolares que son el principal tema de interés de este trabajo.

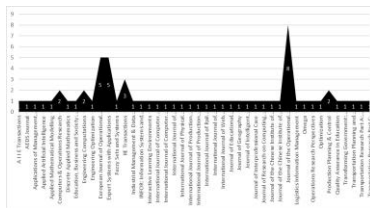


Figura 4. Artículos por revista de investigación.

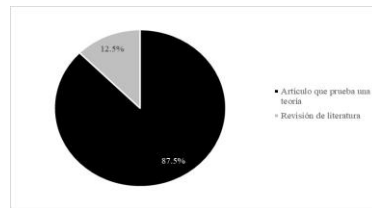


Figura 5. Porcentaje de uso por tipo de documento.

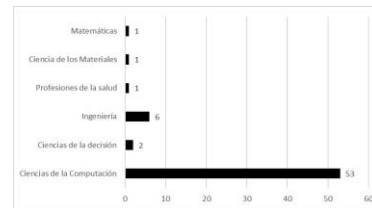
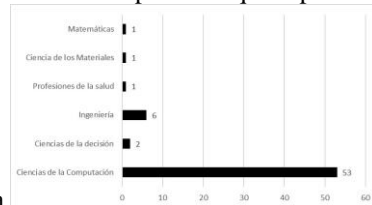


Figura 6. Cantidad de artículos por área de conocimiento.

• Resultados de la clasificación por el área de conocimiento.

Por la naturaleza propia de este trabajo podemos observar que la mayor parte de aportaciones pertenecen al rubro de Ciencias de la computación que representa el 83% del total, que equivale a 53 publicaciones como



se muestra en la Figura 6. Esto debido a que la mayor parte de los trabajos propuestos realizan implementaciones de algún algoritmo o técnica para la solución de problemas de diversa índole. El segundo rubro con más aportaciones es el de Ingeniería con el 9% de las aportaciones.

b) Síntesis y discusión.

Esta sección presenta los resultados de los aspectos propios de la optimización o creación de horarios, de manera que se pueda determinar cuáles son los avances más significativos y saber hacia dónde orientar trabajos futuros en este tema.

• Resultados de la clasificación por el método de investigación.

El método de investigación es considerado como el procedimiento que el investigador utiliza para comprobar su teoría, a través de una técnica o herramienta de investigación con lo que valida la teoría.

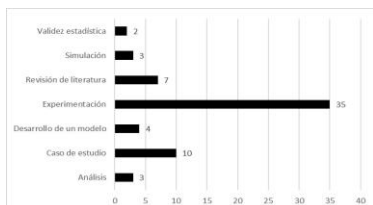


Figura 7. Cantidad de artículos por método de investigación

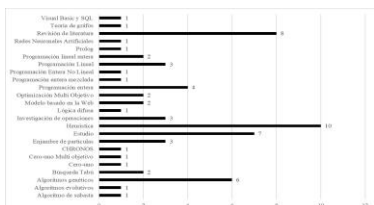


Figura 8. Cantidad de artículos por método de solución.

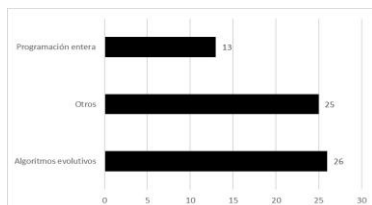


Figura 9. Cantidad de artículos por conjuntos de método de solución.

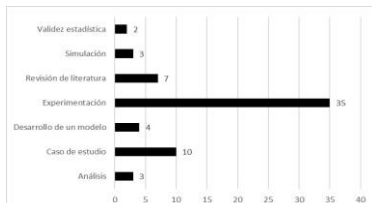


Figura 7 el método de Experimentación es

el más utilizado con 36 aportaciones de las 64 analizadas, que representan el 56.3% del total, se pudo observar que los trabajos propuestos que implementaron esta metodología les resulta factible realizar la experimentación, pues se contaban con las bases de datos propias de los centros escolares o de los centros de trabajo en los que se aplicaría la solución o tomaban bases de datos reales de otras instituciones para poder aplicar la metodología, como es el caso de (Brown & Ozgur, 1997; Kang & Zhu, 2017) por mencionar algunos, quienes realizaron trabajos orientados a optimización de horarios aplicados a producción, trenes y horarios escolares respectivamente. El segundo método más utilizado es el de Caso de estudio con 9 aportaciones, mismos que representan el 14.1% del total de artículos revisados, este método al ser aplicado a una institución o empresa en específico limita a que la propuesta sea aplicada exclusivamente a ese lugar, tal es el caso de (Huang et al., 2019; Zhang et al., 2019).

• Resultados de la clasificación por método de solución.

Este apartado se enfoca principalmente en los artículos con orientación en la creación de horarios, en la

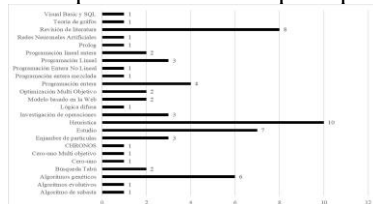


Figura 8 se pueden observar 24 diferentes clasificaciones los cuales se pueden englobar, por así convenir en este trabajo, en tres grandes conjuntos Algoritmos evolutivos,

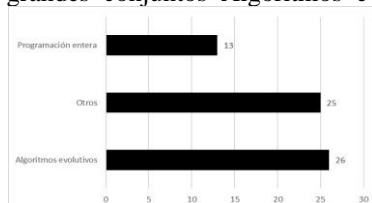
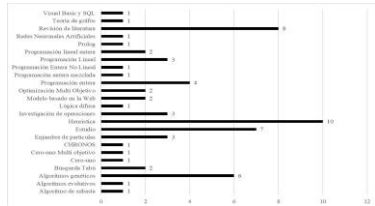


Figura 9.

Programación entera y Otros como lo podemos observar en la. La programación entera es el conjunto con menos artículos 20.3% de las aportaciones, equivalente a 13 aportaciones, este es un tipo de programación que requiere de una gran cantidad recursos informáticos y amplio conocimiento de programación, de estas aportaciones 3 se enfocaron al área de Transporte como es el caso de (Huang et al., 2019; Khoshniyat & Peterson, 2017; Zhang et al., 2019), 8 de estos artículos están orientados a la creación de Horarios escolares de los que se puede destacar que 6 fueron propuestas posteriores al año 2000 como (Boronic, 2000; Lemos et al., 2019), lo que indica que son técnicas nuevas que pueden generar soluciones importantes para este tipo de problemas, por otra parte destacar el trabajo realizado por (Badri, 1996) quien sugiere una solución que considera gran cantidad de las variables involucradas en el proceso de creación de horarios.

Una ventaja del conjunto de Algoritmos evolutivos respecto a la Programación entera es que resulta más fácil su implementación debido a su simplicidad y a que requieren menos recursos informáticos, en esta clasificación se destacan los métodos heurísticos, los cuales son los más utilizados con el 15.6% de las aportaciones analizadas, que representan 10 artículos publicados, aunque la mayoría de los artículos dentro de esta clasificación no especifican exactamente la técnica o algoritmo utilizado como (Palubeckis, 2008; Schirmer, 2001) fueron de utilidad pues permiten observar la forma de ordenar la información y el desarrollo de los modelos matemáticos implementados. Dentro de este apartado los Algoritmos genéticos son los segundos más utilizados con el 9.4% del total de artículos, que representan 6 aportaciones, como lo podemos



observar en la Figura 8, esta técnica permite obtener soluciones óptimas en buenos tiempos, de estos 6 artículos, 5 se aplican a la creación de horarios como es el caso de (Adewumi Aderemi O. et al., 2009; Beligiannis et al., 2009; Wang, 2003) por mencionar algunos, lo que muestra que este tipo de algoritmos son una buena opción para la resolución de problemas de asignación de recursos en horarios escolares. Por último en el conjunto de Otros encontramos trabajos muy particulares como el propuesto por (GUNASENA et al., 1989) que propone un sistema desarrollado en Prolog que es un lenguaje de programación originalmente pensado para Inteligencia Artificial, o las propuestas de (Estevez Ruben et al., 2014) quien entrega una propuesta para sistemas basados en la Web para la asignación de horarios o para el uso de laboratorios de manufactura. Por último, mencionar que el 12.5% de los trabajos analizados en este rubro, correspondiente a 8 artículos fueron revisiones de literatura y particularmente se destacan los trabajos realizados por (Burke & Petrovic, 2002; Pfund et al., 2004).

Comentarios Finales

Conclusiones.

A través de los años se ha observado que el uso de herramientas de optimización ha permitido una mejor gestión y administración en los recursos disponibles, bajo este contexto, la presente revisión de literatura analizó el uso de técnicas o algoritmos implementados en la programación y optimización de horarios, prestando mayor atención a casos de estudio aplicados en horarios escolares. Los resultados mostraron que existe una gran diversidad de técnicas utilizadas aplicadas principalmente a tres áreas: horarios escolares, horarios de trabajo y horarios de transporte.

Además, el avance de la investigación en el campo de optimización de horarios a través de los años ha crecido paulatinamente, desarrollándose en diversos contextos, donde la programación entera y los algoritmos evolutivos, particularmente los algoritmos genéticos, mismos que pertenecen al campo de la Inteligencia Artificial, han resultado ser una mejor opción por demandar menos recursos informáticos y por tener una mayor facilidad para su implementación, representando un 9.4% del total de artículos revisados en esta revisión de literatura.

Recomendaciones.

Las revisiones de literatura permitan dar un claro enfoque sobre los trabajos y contribuciones que se desarrollan a través de los años no solo para observar el comportamiento y evolución sobre determinadas técnicas, solución de problemas, avances tecnológicos, sino también para vislumbrar áreas de oportunidad para la generación de nuevo conocimiento o aportaciones de nuevas soluciones. Cabe destacar que los resultados mostrados en el presente trabajo cumplen con el objetivo de comprobar el avance de soluciones en el contexto de optimización de horarios en entornos académicos, no obstante, es recomendable ampliar el conjunto de aportaciones que componen dicha revisión con el fin de abarcar un mayor número de trabajos que logren robustecer y consolidar esta investigación a través de la inclusión de otras bases de datos, la incorporación de otras palabras clave, o bien, ampliar el rango de años. Finalmente, el desarrollo de un caso de estudio en este contexto aplicando alguna técnica de optimización proveniente de la inteligencia artificial ayudaría a consolidar el presente trabajo.

Referencias

- Adewumi Aderemi O., Sawyerr Babatunde A., & Montaz Ali M. (2009). A heuristic solution to the university timetabling problem. *Engineering Computations*, 26(8), 972–984. <https://doi.org/10.1108/02644400910996853>
- Badri, M. A. (1996). A two-stage multiobjective scheduling model for [faculty-course-time] assignments. *European Journal of Operational Research*, 94(1), 16–28. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00204-9](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00204-9)
- Beligiannis, G. N., Moschopoulos, C., & Likiothanassis, S. D. (2009). A genetic algorithm approach to school timetabling. *Journal of the Operational Research Society*, 60(1), 23–42. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602525>
- Boronico, J. (2000). Quantitative modeling and technology driven departmental course scheduling. *Omega*, 28(3), 327–346. [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(99\)00056-0](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(99)00056-0)
- Brown, J. R., & Ozgur, C. O. (1997). Priority class scheduling: Production scheduling for multi-objective environments. *Production Planning & Control*, 8(8), 762–770. <https://doi.org/10.1080/095372897234650>
- Burke, E. K., & Petrovic, S. (2002). Recent research directions in automated timetabling. *European Journal of Operational Research*, 140(2), 266–280. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00069-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00069-3)
- Chen, R.-M., Wu, C.-L., Wang, C.-M., & Lo, S.-T. (2010). Using novel particle swarm optimization scheme to solve resource-constrained scheduling problem in PSLIB. *Expert Systems with Applications*, 37(3), 1899–1910. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.07.024>
- Crossan, M., & Apaydin, M. (2010). A Multi-Dimensional Framework of Organizational Innovation: A Systematic Review of the Literature. *Journal of Management Studies*, 47, 1154–1191. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2009.00880.x>
- Estevez Ruben, Rankin Sean, & Silva Ricardo. (2014). A model for web-based course registration systems. *International Journal of Web Information Systems*, 10(1), 51–64. <https://doi.org/10.1108/IJWIS-05-2013-0014>
- Floyd, R. W. (1967). Nondeterministic Algorithms. *Journal of the ACM*, 14(4), 636–644. <https://doi.org/10.1145/321420.321422>
- GUNASENA, U., KUMARA, S. R. T., & SOYSTER, A. L. (1989). A KNOWLEDGE-BASED SYSTEM FOR COURSE SCHEDULING. *Applied Artificial Intelligence*, 3(4), 463–482. <https://doi.org/10.1080/08839518908949938>
- Haghani, A., & Shafahi, Y. (2002). Bus maintenance systems and maintenance scheduling: Model formulations and solutions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(5), 453–482. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(01\)00014-3](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(01)00014-3)
- Huang, P., Wen, C., Peng, Q., Lessan, J., Fu, L., & Jiang, C. (2019). A data-driven time supplements allocation model for train operations on high-speed railways. *International Journal of Rail Transportation*, 7(2), 140–157. <https://doi.org/10.1080/23248378.2018.1520613>
- Jain, A., Aiyer, G. S. C., Goel, H., & Bhandari, R. (2015). A Literature Review on Timetable generation algorithms based on Genetic Algorithm and Heuristic approach. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 4(4), 5. <https://doi.org/10.17148/IJARCC.2015.4437>
- Kang, L., & Zhu, X. (2017). Strategic timetable scheduling for last trains in urban railway transit networks. *Applied Mathematical Modelling*, 45, 209–225. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.12.016>
- Khoshtinat, F., & Peterson, A. (2017). Improving train service reliability by applying an effective timetable robustness strategy. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 21(6), 525–543. <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1326114>
- Lee, Z.-J., Su, S.-F., Lee, C.-Y., & Hung, Y.-S. (2003). A Heuristic Genetic Algorithm for Solving Resource Allocation Problems. *Knowledge and Information Systems*, 5(4), 503–511. <https://doi.org/10.1007/s10015-003-0082-0>
- Lemos, A., Melo, F. S., Monteiro, P. T., & Lynce, I. (2019). Room usage optimization in timetabling: A case study at Universidade de Lisboa. *Operations Research Perspectives*, 6, 100092. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2018.100092>
- Marynissen, J., & Demeulemeester, E. (2019). Literature review on multi-appointment scheduling problems in hospitals. *European Journal of Operational Research*, 272(2), 407–419. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.03.001>
- Nelson, R. T., Holloway, C. A., & Mei-Lun Wong, R. (1977). Centralized Scheduling and Priority Implementation Heuristics for a Dynamic Job Shop Model. *A IIE Transactions*, 9(1), 95–102. <https://doi.org/10.1080/0569557708975127>
- Palubeckis, G. (2008). On the recursive largest first algorithm for graph colouring. *International Journal of Computer Mathematics*, 85(2), 191–200. <https://doi.org/10.1080/00207160701419114>
- Pfund, M., Fowler, J. W., & Gupta, J. N. D. (2004). A SURVEY OF ALGORITHMS FOR SINGLE AND MULTI-OBJECTIVE UNRELATED PARALLEL-MACHINE DETERMINISTIC SCHEDULING PROBLEMS. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 21(3), 230–241. <https://doi.org/10.1080/10170660409509404>
- Sabuncuoglu, I. (1998). Scheduling with neural networks: A review of the literature and new research directions. *Production Planning & Control*, 9(1), 2–12. <https://doi.org/10.1080/095372898234460>
- Schirmer, A. (2001). Resource-constrained project scheduling: An evaluation of adaptive control schemes for parameterized sampling heuristics. *International Journal of Production Research*, 39(7), 1343–1365. <https://doi.org/10.1080/00207540010022368>
- Scopus. (2020). <https://www.scopus.com/sources.uri>
- Wang, Y.-Z. (2003). Using genetic algorithm methods to solve course scheduling problems. *Expert Systems with Applications*, 25(1), 39–50. [https://doi.org/10.1016/S0957-4174\(03\)00004-6](https://doi.org/10.1016/S0957-4174(03)00004-6)
- YU, L., SHIH, H. M., PFUND, M., MATTHEW CARLYLE, W., & FOWLER, J. W. (2002). Scheduling of unrelated parallel machines: An application to PWB manufacturing. *IIE Transactions*, 34(11), 921–931. <https://doi.org/10.1080/07408170208928923>
- Zhang, Y., Hu, Q., Meng, Z., & Ralescu, A. (2019). Fuzzy dynamic timetable scheduling for public transit. *Fuzzy Sets and Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2019.01.010>

Notas Biográficas

El **Ing. Luis Alberto González Cuevas** es estudiante de la Maestría de Sistemas Inteligentes Multimedia del Posgrado CIATEQ, A.C. Unidad Jalisco y docente en la Universidad del Valle de Atemajac, Zapopan, Jalisco, Coordinador Académico de Ingenierías (IMEC, ISC, II) y docente en la Universidad del Valle de Atemajac, Zapopan, Jalisco.

El **MII. Missael Alberto Román del Valle** es ingeniero industrial, maestro en sistemas de análisis de decisiones con orientación en logística. Actualmente se encuentra colaborando como investigador asociado responsable de las líneas de I+D+i del departamento de Logística en el Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ A.C.

El **Dr. Edgar Gonzalo Cossio Franco** es ingeniero en sistemas computacionales, maestro en ingeniería de software y doctor en sistemas computacionales con orientación en inteligencia artificial. Es Analista de Sistemas en el Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco.