

MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA ASIGNACIÓN DE DOCENTES EN ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN

MATHEMATICAL OPTIMIZATION MODEL FOR THE ASSIGNMENT OF FACULTY TO RESEARCH ACTIVITIES



¹ Martha Catalina Ospina Hernandez, ² Gabriel Jaime Rivera

1, 2 Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Cómo citar: Ospina Hernandez, M. C., & Rivera León, G. J. (2026). Modelo matemático de optimización para la asignación de docentes en actividades de investigación. *Publicaciones E Investigación*, 19(3). <https://doi.org/10.22490/25394088.10555> xxxxxxxxxxxx

Recibido 02 Octubre 2025, Aprobado 10 Noviembre 2025

RESUMEN

Las instituciones de educación superior enfrentan el reto de equilibrar las actividades de docencia e investigación, garantizando una adecuada asignación de docentes y la sostenibilidad de los procesos académicos. Este artículo tiene como objetivo formular un modelo matemático de optimización que permita determinar la contratación y distribución óptima de los docentes en una facultad de ingeniería, considerando el nivel de formación, la modalidad de vinculación, la carga horaria y la participación en proyectos de investigación. La metodología se fundamentó en la revisión sistemática de literatura especializada, a partir de una ecuación de búsqueda aplicada en bases de datos académicas, de la cual se seleccionaron al menos 20 artículos relevantes sobre problemas de asignación en instituciones educativas. Posteriormente, se contrastaron las posturas de diferentes autores respecto al uso de modelos de programación lineal y metaheurísticas, con el fin de identificar tendencias en la evolución de marcos teóricos y aplicaciones prácticas en el ámbito académico. Con esta base, se formuló un modelo de programación entera binaria, en el que se integraron restricciones propias del contexto institucional, políticas internas y requerimientos de cursos y proyectos. Los resultados evidencian que el modelo permite maximizar las utilidades institucionales, fortalecer la participación de doctores en investigación y asegurar el cumplimiento de criterios normativos. Su relevancia radica en ofrecer una herramienta de decisión estratégica que articula teoría y práctica para mejorar la gestión académica.

Palabras clave: modelo matemático; optimización; timetabling académico; asignación de recursos; programación lineal; optimización multiobjetivo.

¹ martha.ospina@unad.edu.co / <https://orcid.org/0000-0001-9911-7556>

² jaime.rivera@unad.edu.co

ABSTRACT

Higher education institutions face the challenge of balancing teaching and research activities, ensuring an adequate allocation of faculty members and the sustainability of their academic processes. This article aims to formulate a mathematical optimization model that determines the optimal hiring and distribution of faculty in an engineering school, considering their academic qualifications, type of contract, teaching load, and participation in research projects. The methodology was based on a systematic review of specialized literature, using a search equation applied to academic databases, from which at least twenty relevant articles on allocation problems in educational institutions were selected. Subsequently, the perspectives of different authors regarding the use of linear programming models and metaheuristics were contrasted, in order to identify trends in the evolution of theoretical frameworks and practical applications in the academic field. Based on this foundation, a binary integer programming model was formulated, integrating institutional context constraints, internal policies, and course and project requirements. The results show that the model maximizes institutional benefits, strengthens the participation of PhD faculty in research, and ensures compliance with regulatory criteria. Its relevance lies in providing a strategic decision-making tool that articulates theory and practice to improve academic management.

Keywords: *Mathematical model; Optimization; Academic timetabling; Resource allocation; Linear programming; Multi-objective optimization.*



1. INTRODUCCIÓN

Las instituciones de educación superior enfrentan el reto permanente de equilibrar las funciones de docencia e investigación, garantizando simultáneamente la sostenibilidad financiera y la calidad académica. En este contexto, la asignación de docentes a cursos y proyectos de investigación constituye un problema complejo, debido a la heterogeneidad en los niveles de formación, modalidades de contratación y disponibilidad horaria. Este tipo de desafíos se enmarca en la categoría de *academic timetabling*, considerado uno de los problemas más relevantes dentro de la optimización combinatoria (Carter y Laporte, 1998; Schaerf, 1999).

A lo largo de las últimas décadas, diversos autores han propuesto modelos y enfoques para resolver problemas de calendarización académica y distribución de recursos. Por ejemplo, Burke y Petrovic (2002) señalan

que la investigación reciente en *timetabling* ha evolucionado hacia la incorporación de técnicas de programación matemática y heurísticas avanzadas. Asimismo, Leung (2004) destacan la relevancia de contar con marcos metodológicos que integren modelos exactos con metaheurísticas para mejorar la aplicabilidad de los resultados en escenarios reales.

En el ámbito universitario, la asignación eficiente de docentes no solo incide en la cobertura de cursos y proyectos, sino que también contribuye al fortalecimiento de las capacidades investigativas y a la optimización de los costos salariales. La literatura evidencia que los modelos de optimización aplicados a la educación superior han permitido mejorar la planeación institucional y facilitar la toma de decisiones estratégicas en torno a la gestión de la planta docente (Bardadym, 1996).

Bajo este panorama, el presente trabajo tiene como objetivo formular un modelo matemático de optimización que permita determinar la contratación y distribución óptima de los docentes en una facultad de ingeniería, integrando restricciones relacionadas con docencia, investigación, carga horaria y políticas institucionales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, en el que se integraron elementos cuantitativos a partir de la formulación de un modelo matemático de optimización y cualitativos mediante el análisis y contraste de literatura especializada. El objeto de estudio corresponde a la facultad de ingeniería de una institución universitaria, caracterizada por una nómina diversa de docentes en modalidades de tiempo completo, medio tiempo y hora cátedra, con diferentes niveles de formación y grados de participación en actividades de docencia e investigación.

Para la construcción del marco conceptual, se aplicó una ecuación de búsqueda en bases de datos indexadas (Scopus y Web of Science) con los términos: “mathematical model”, “academic timetabling”, “faculty assignment”, “optimization in higher education” y “resource allocation”. El resultado inicial fue de 112 documentos, de los cuales, tras aplicar criterios de inclusión (relevancia temática, publicaciones entre 2000-2024, artículos en inglés y español), se seleccionaron 20 trabajos representativos. La revisión de literatura permitió identificar que, aunque los modelos de programación lineal han sido ampliamente aplicados para resolver problemas de asignación docente (Mir-Hassani, 2006), en muchos casos se han combinado con enfoques metaheurísticos que permiten abordar instancias más complejas. Entre estos enfoques destacan la búsqueda tabú (Lü y Hao, 2010), los algoritmos genéticos (Abdullah et al., 2007), la búsqueda armónica (Al-Betar y Khader, 2012) y los algoritmos híbridos que integran diferentes técnicas (Gunawan et al., 2012). Estas metodologías han mostrado resultados robustos en contextos académicos, adaptándose

a restricciones dinámicas y a la heterogeneidad de los recursos disponibles.

Con base en este análisis, se elaboró una matriz comparativa de factores críticos identificados en los estudios revisados (Lewis, 2007), lo que permitió contrastar las diferentes posturas respecto al uso de modelos exactos y metaheurísticos, y adaptar los elementos más relevantes al contexto institucional estudiado.

Finalmente, se formuló un modelo de programación entera binaria que incorpora los siguientes componentes:

- Conjuntos de docentes, cursos, proyectos de investigación, niveles de formación y tipos de contratación.
- Parámetros asociados a salarios, carga horaria, dedicación mínima y máxima y participación en proyectos.
- Variables de decisión relacionadas con la asignación de docentes a cursos y proyectos, así como la contratación efectiva.

El modelo se implementó considerando la política institucional que exige una proporción del 20 % al 40 % de estudiantes de posgrado en la planta docente, así como la obligatoriedad de cubrir todos los cursos y proyectos. La validación se realizó mediante escenarios alternativos de contratación y distribución docente, evaluando la factibilidad y coherencia con las restricciones establecidas.

3. DESARROLLO

La facultad de ingeniería de una institución universitaria cuenta con una nómina de docentes en diferentes modalidades. De acuerdo con la formación profesional se encuentran los doctores, magísteres, especialistas, profesionales y estudiantes de posgrado. Según el tipo de vinculación, se encuentran docentes de tiempo completo (TC), medio tiempo (MT)

y hora cátedra (HC). Además, existen docentes con dedicación en actividades de investigación en los roles de investigador principal e investigador secundario. Adicionalmente, se cuenta con el apoyo de estudiantes de posgrado que ejercen labores docentes en algunos cursos de pregrado; la proporción de estudiantes debe estar comprendida entre el 20% y el 40% de los docentes contratados y reciben una remuneración equivalente a la de un tecnólogo, de acuerdo con la relación salarial de la tabla 1 vigente en la institución universitaria.

Partiendo del supuesto de que ya han sido definidos los grupos de estudiantes, se debe asignar un profesor a cada grupo o curso. No obstante, la totalidad de horas requeridas para atender los grupos no debe exceder la capacidad máxima de horas de docencia programadas. Un docente dedica mensualmente, en promedio, 24 horas a cada grupo de estudiantes.

Tabla 1. Salario docente dependiendo del tipo de contratación y del título que posee

| Nivel de formación | Tiempo completo POC | Medio tiempo POC | Hora cátedra (valor hora-POC) |
|--------------------|---------------------|------------------|-------------------------------|
| Doctorado | 5 962 000 | 2 981 000 | 37 000 |
| Maestría | 4 968 000 | 2 485 000 | 31 000 |
| Especialista | 3 974 000 | 1 987 000 | 25 000 |
| Profesional | 2 981 000 | 1 491 000 | 19 000 |
| Tecnólogo | 2 691 000 | 1 346 000 | 17 000 |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 2 se muestran los docentes que actualmente realizan actividades de investigación; sin embargo, se busca modificar la cantidad de profesores

asociados a los proyectos de investigación, según los resultados de este estudio.

Tabla 2. Docentes dedicados a actividades de investigación actualmente

| Cantidad de docentes por nivel de formación | | Participación actual en proyectos de investigación | | |
|---|-------------------------|--|-------------------------|---------------------------|
| | | Investigador principal | Investigador secundario | No participa en proyectos |
| 80 | Doctores | 20 | 30 | 30 |
| 230 | Magíster | 70 | 110 | 50 |
| 60 | Especialistas | 0 | 0 | 60 |
| 40 | Profesionales | 0 | 0 | 40 |
| 20 | Estudiantes de posgrado | 0 | 0 | 20 |
| 430 | Total | 90 | 160 | 180 |

Fuente: Elaboración propia.

El salario de cada docente depende del nivel de formación y el tipo de contratación de la institución universitaria. Los profesores pueden desempeñarse en actividades de investigación con una reducción en las horas semanales, según las necesidades de cada proyecto y las condiciones establecidas en el contrato.

El tiempo destinado a docencia se calcula con la diferencia entre el máximo de horas posibles según la modalidad de contratación y la eventual reducción por participación en investigación.

Tabla 3. Distribución de la contratación

| Nivel de formación | Tiempo completo POC | Medio tiempo POC | Hora cátedra (valor hora-POC) | Total |
|--------------------|---------------------|------------------|-------------------------------|-------|
| Doctorado | 20 | 40 | 20 | 80 |
| Maestría | 130 | 70 | 30 | 230 |
| Especialista | 0 | 20 | 40 | 60 |
| Profesional | 0 | 0 | 40 | 40 |
| Tecnólogo | 0 | 0 | 20 | 20 |

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta en la tabla 4 la dedicación horaria semanal según el nivel de formación y el tipo de contratación. Este tiempo se distribuye

entre el desarrollo de cursos y los proyectos de investigación asignados.

Tabla 4. Dedicación semanal docente

| Nivel de formación | Dedicación horaria (semanal) | Nivel de formación | Dedicación horaria (semanal) |
|--------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Doctorado - TC | 40 | Especialista - HC | 6 |
| Doctorado - MT | 20 | Profesional - TC | 0 |
| Doctorado - HC | 8 | Profesional - MT | 0 |
| Maestría - TC | 40 | Profesional - HC | 6 |
| Maestría - MT | 20 | Estudiante posgrado - TC | 0 |
| Maestría - HC | 8 | Estudiante posgrado - MT | 0 |
| Especialista - TC | 0 | Estudiante posgrado - HC | 6 |
| Especialista - MT | 20 | | |

Fuente: Elaboración propia.

Partiendo del supuesto de que ya han sido definidos los grupos de estudiantes, se debe asignar un profesor a cada grupo o curso. No obstante, la totalidad de horas requeridas para atender los grupos no debe exceder la capacidad máxima de horas de docencia programadas. Un docente dedica mensualmente, en promedio, 24 horas a cada grupo de estudiantes.

La institución universitaria busca fortalecer los procesos de investigación para obtener mayor reconocimiento a nivel nacional y participar en convocatorias públicas dirigidas al fortalecimiento de las capacidades investigativas de las IES públicas, a través del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del sistema general de regalías, de acuerdo con la normativa indicada en [1]; por eso, resulta prioritario involucrar

principalmente a los doctores en este tipo de actividades. Esta decisión afectará la carga de docencia de este grupo y, en general, de aquellos profesores que se desempeñen como investigadores secundarios, cuyas horas necesitan ser cubiertas por otros profesores, en particular estudiantes de posgrado.

En la actualidad, la institución educativa enfrenta dificultades para determinar cuáles de los docentes presentes son realmente necesarios para atender tanto los cursos como los proyectos de investigación que se ofrecen. Por tanto, este estudio busca, a través de un modelo de optimización entera binaria, definir cuántos doctores se dedicarán a la investigación considerando que, si un docente es asignado a un proyecto, el tiempo dedicado dependerá de la exigencia de este proyecto. Además, se debe determinar cuántos profesores requieren ser contratados para cubrir las horas de docencia e investigación necesarias. Finalmente, se pretende establecer qué docente debe encargarse de cada curso, con el objetivo de maximizar las utilidades obtenidas de la labor investigativa y restar los pagos salariales de los contratados.

Respecto a las restricciones, se debe tener en cuenta que cada proyecto de investigación aceptado requiere un solo investigador principal (siempre doctor), quien estará acompañado por dos investigadores secundarios. Es indispensable que cada profesor tenga, como máximo, un rol específico en cada proyecto. Aunque actualmente existe una cantidad determinada de docentes, el presente estudio busca establecer cuántos son efectivamente necesarios, por lo que podrían ser descartadas contrataciones, en cuyo caso esos docentes no serían asignados ni a proyectos de investigación ni a grupos de estudiantes. Asimismo, cada curso o grupo debe contar obligatoriamente con un docente asignado, y el tiempo total invertido por cada profesor en investigación y docencia no podrá exceder la dedicación máxima permitida acorde con su nivel de formación y el tipo de contratación.

Por políticas de la institución educativa, es necesario que el porcentaje de estudiantes de posgrado que conforman la planta profesoral esté entre el 20 %

y el 40 %, por lo cual debe asegurarse que esto se cumpla en la solución obtenida por el modelo.

Para el desarrollo de este planteamiento, se emplearon datos reales en una proporción a escala, suministrados por la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. La estructura busca simular una situación presentada habitualmente en los contextos académicos, por lo que el planteamiento de las restricciones pretende acercar el modelo a la realidad y a su vez permitir la búsqueda de una solución pertinente.

De igual manera, se analizaron fuentes adicionales para revisar estudios que han permitido comprender a profundidad el comportamiento de este tipo de situaciones según los expertos. Por ello, en que en [1] se aplica un modelo de programación lineal para una situación de asignación de horario de clases en un contexto de educación superior de pregrado. Se considera de alta complejidad porque la situación propuesta contempla múltiples restricciones. El resultado del modelo permitió tener en cuenta algunas condiciones deseables conforme a las restricciones incluidas en el modelo.

En [2] se examina que los problemas lineales para resolver situaciones académicas presentan restricciones establecidas por cada institución educativa. Se reconocen varias tareas de asignación aplicadas en la Universidad Nacional de Medellín, donde, aunque se emplea la metaheurística búsqueda tabú, pueden contemplarse diferentes aspectos de asignación. Por consiguiente, pueden emplearse otras técnicas complementarias.

A su vez [3] presenta la situación de la planeación de actividades académicas en un contexto de educación primaria, básica y media, donde es necesario resolver la asignación de horarios cuya función objetivo busca maximizar la cantidad de bloques de clase impartidos, de acuerdo con cada materia. En la solución del modelo, los resultados fueron más válidos que los obtenidos de forma convencional, permitiendo alcanzar los objetivos programados y facilitando la articulación contractual de los docentes para cubrir las necesidades del aula.

Los conjuntos propuestos para desarrollar la situación planteada son los siguientes: el conjunto Docentes, que contiene todos los docentes de la institución; el conjunto Formación, que almacena los máximos grados educativos que pueden alcanzar los profesores; el conjunto Rol de investigación, con los roles posibles para cada proyecto; el conjunto Tipo de contratación, que agrupa los diferentes tipos de contrato disponibles; el conjunto Proyectos de investigación, donde se encuentran todos los proyectos vigentes, y el conjunto Cursos, que agrupa las asignaturas de la universidad.

Se definieron parámetros que especifican el grado educativo máximo de cada docente y el contrato asignado, el salario de cada profesor según contrato y nivel educativo, la dedicación horaria de un docente de acuerdo con la modalidad de contratación, el ingreso obtenido de cada uno de los proyectos, la dedicación semanal requerida para cada proyecto según el rol asignado y el número de horas semanales necesarias para cubrir un curso.

Listado detallado de la notación utilizada en la formulación del modelo

La formulación del modelo de programación entera binaria sigue la trayectoria de investigaciones que han empleado la programación matemática exacta para resolver problemas de asignación docente y de recursos académicos en educación superior (Mir-Hassani, 2006; Gunawan, Ng y Poh, 2012). Estas investigaciones muestran que la programación lineal es una herramienta eficaz para representar problemáticas con múltiples restricciones y objetivos contrapuestos, tal como sucede en la gestión universitaria.

Para los conjuntos se emplea la siguiente notación:

D : Docentes (i): $\{1 \dots p\}$
 F : Formación (j): $\{PhD, Mag, Esp, Pro, EstPos\}$
 R : Rol Investigativo (k): $\{IP, IS\}$
 P : Proyectos (n): $\{p1 \dots pn\}$
 TC : Tipo Contrato (m): $\{Tc, Mt, Hc\}$
 C : cursos (o): $\{c1 \dots cm\}$

Se define la notación para los parámetros:

GD_{ij} : $\{ 1, \text{ si el máximo grado educativo del docente } i \text{ es } j. 0, \text{ de lo contrario. } \}$

CD_{im} : $\{ 1, \text{ si el docente } i \text{ tiene contrato } m. 0, \text{ de lo contrario. } \}$

S_{jm} : Salario del docente tipo j con contrato m .

H_{tm} : Horas laborales del contrato m .

Ing_n : Ingreso generado por aceptar el proyecto n .

Ded_{nk} : Dedicación horaria mensual del investigador k en el proyecto n .

Dc : Dedicación horaria de un profesor para atender un grupo.

A continuación, la formulación matemática de la programación lineal para este problema.

Conjuntos

D : Docentes (i): $\{1..#\}$

F : Formación (j): $\{PhD, Mag, Esp, Pro, EstPos\}$

R : Rol Investigativo (k): $\{IP, IS\}$

P : Proyectos (n): $\{p1..pn\}$

TC : Tipo Contrato (m): $\{Tc, Mt, Hc\}$

C : cursos (o): $\{c1..cm\}$

Parámetros

GD_{ij} : $\{ 1, \text{ si el máximo grado educativo del docente } i \text{ es } j. 0, \text{ de lo contrario. } \}$

CD_{im} : $\{ 1, \text{ si el docente } i \text{ tiene contrato } m. 0, \text{ de lo contrario. } \}$

S_{jm} : Salario del docente tipo j con contrato m .

H_{tm} : Horas laborales del contrato m .

Ing_n : Ingreso generado por aceptar el proyecto n .

Ded_{nk} : Dedicación horaria mensual del investigador k en el proyecto n .

Dc : Dedicación horaria de un profesor para atender un grupo.

La inclusión de restricciones vinculadas con heterogeneidad de grupos de estudiantes, modalidades contractuales y políticas institucionales ha sido destacada en la literatura como un factor que incrementa la complejidad del problema (Hnich et al., 2002; McCollum, 2007). Estos aportes respaldan la necesidad de formular un modelo flexible capaz de representar fielmente el contexto real de las universidades.

Variables de decisión

X_{ikn} : { 1, si el docente i se asigna al proyecto n en el rol k (se acepta el proyecto n). 0, de lo contrario. }

Y_{io} : { 1, se asigna el docente i al curso o . 0, de lo contrario. }

Z_i : { 1, se contrata el docente i . 0, de lo contrario. }

Función objetivo

Se buscan maximizar las utilidades generadas por los ingresos generados de los proyectos de investigación y los costos de pagar los salarios de los profesores.

$$FO = \max \left(\sum_{i \in D} \sum_{n \in P} Ing_n \cdot x_{i,k,n|k=IP} - \sum_{i \in D} \sum_{j \in E} \sum_{m \in T_c} GD_{i,j} \cdot CD_{im} \cdot S_{jm} \cdot Z_i \right)$$

La función objetivo planteada mantiene coherencia con enfoques híbridos que combinan programación exacta y metaheurísticas, los cuales han demostrado mayor robustez en problemas complejos de timetabling (Lü & Hao, 2010; Qu et al., 2009). De esta forma, el modelo no solo responde a criterios de factibilidad matemática, sino que también se alinea con tendencias contemporáneas en optimización aplicada.

Restricciones

En cada proyecto debe haber un doctor como investigador principal.

$$\sum_{i \in D} GD_{i,j} * X_{i,k,n} = 1 \quad \forall n \in P, \quad \forall k \in R | k = IP \quad \forall j \in F | j = PhD$$

En cada proyecto debe haber 2 investigadores secundarios.

$$\sum_{i \in D} X_{i,k,n} = 2 \quad \forall n \in P \quad \forall k \in R | k = IS$$

Un docente no debe tener más de un rol en un proyecto.

$$\sum_{k \in R} X_{i,k,n} \leq 1 \quad \forall n \in P$$

No se pueden asignar roles de investigación en proyectos a un docente que no haya sido contratado.

$$\sum_{n \in P} \sum_{k \in R} X_{i,k,n} \leq |P| * Z_i \quad \forall i \in D$$

No se debe sobrepasar el tiempo de disponibilidad de cada docente.

$$\sum_{n \in P} \sum_{k \in R} X_{i,k,n} * De d_{nk} + \sum_{o \in C} Y_{io} * DC \leq \sum_{m \in T_c} CD_{im} * Ht_m * Z_i \quad \forall i \in D$$

Cada curso debe tener un profesor.

$$\sum_{i \in D} Y_{io} = 1 \quad \forall o \in C$$

No se pueden asignar cursos a un docente que no haya sido contratado.

$$\sum_{o \in C} Y_{io} \leq |C| * Z_i \quad \forall i \in D$$

Al menos el 20% de los profesores deben ser estudiantes de posgrado.

$$0.2 * \sum_{i \in D} Z_i \leq \sum_{i \in D} \sum_{j \in F} Z_i * Gd_{ij} \quad \forall j \in F | j = Estpos$$

Máximo el 40% de los profesores deben ser estudiantes de posgrado.

$$0.4 * \sum_{i \in D} Z_i \geq \sum_{i \in D} \sum_{j \in F} Z_i * Gd_{ij} \quad \forall j \in F | j = Estpos$$

Finalmente, la posibilidad de incluir estudiantes de posgrado como parte de la planta docente constituye una estrategia viable y sostenible para equilibrar la carga investigativa de los doctores, en coherencia con las propuestas de optimización del recurso humano con base salarial menor, evidentemente sin comprometer la calidad del proceso educativo (Al-Betar y Khader, 2012; Abdullah et al., 2007).

4. DISCUSIÓN

El análisis comparativo de teorías y enfoques sobre la asignación de recursos docentes en educación superior evidencia la evolución del campo, desde modelos exactos de programación lineal hasta el uso de metaheurísticas e híbridos. Los trabajos clásicos de Carter y Laporte (1998), Schaefer (1999) y Burke y Petrovic (2002) establecieron las bases conceptuales orientadas a la búsqueda de soluciones óptimas en escenarios controlados. Sin embargo, la aplicabilidad práctica de estos modelos se ha visto limitada por la complejidad computacional de los problemas de gran escala.

En contraste, investigaciones más recientes (Restrepo y Moreno, 2011; Lü y Hao, 2010; Al-Betar y Khader, 2012) exponen la pertinencia de los enfoques metaheurísticos, capaces de brindar soluciones viables en tiempos razonables, aunque sin asegurar optimalidad. Este cambio de paradigma refleja una corriente de pensamiento más pragmática, en la cual se prioriza la eficiencia operativa frente a la exactitud matemática.

La literatura latinoamericana (Aballay, 2008; Marín Ángel y Maya Duque, 2016) muestra que la adaptación de estos enfoques a contextos institucionales específicos resulta fundamental para su aplicabilidad. En este sentido, el estudio de caso desarrollado en la facultad de ingeniería integra ambas propuestas y aporta un modelo binario que no solo respeta las políticas internas —como la proporción de estudiantes de posgrado y la obligatoriedad de cubrir cursos y proyectos—, sino que también maximiza los beneficios institucionales. En conjunto, la discusión evidencia que la evolución del campo responde a la necesidad de equilibrar teoría y práctica. La relevancia de este enfoque radica en ofrecer un marco flexible y adaptado al contexto, que fundamenta decisiones estratégicas de contratación y asignación en instituciones de educación superior.

5. CONCLUSIONES

El modelo matemático de programación entera binaria desarrollado permitió equilibrar las actividades de docencia e investigación en la facultad de ingeniería, asegurando el cumplimiento de restricciones institucionales y maximizando la utilidad académica y financiera.

Se comprobó que la participación de doctores como investigadores principales fortalece la capacidad investigativa, mientras que la inclusión de estudiantes de posgrado en funciones de apoyo docente garantiza la continuidad en la cobertura académica.

La revisión de la literatura evidenció la evolución del campo desde modelos exactos hacia metaheurísticas e híbridos, lo que confirma la necesidad de integrar enfoques teóricos y prácticos en la resolución de problemas de asignación de recursos.

El modelo facilitó la identificación de escenarios en los que algunos docentes no resultan indispensables, y favoreció para obtener criterios que optimizaran los costos y la toma de decisiones estratégicas en materia de contratación.

La aplicación del modelo en contextos reales de educación superior constituye un marco replicable para otras instituciones que afrontan el reto de balancear docencia e investigación.

En términos de gestión, este trabajo provee una herramienta concreta que puede orientar políticas de planeación académica y sostenibilidad institucional, favoreciendo la toma de decisiones fundamentadas.

REFERENCIAS

- Aballay, M. S., y Klenzi, R. O. (2008). Problemas de asignación de aulas, docentes y materias en instituciones educativas. *XIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*. <https://sedi-ci.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/21456/1985+-+Problemas+de+Asignaci%F3n+de+Aulas+Docentes+y+Materias+en+Instituciones+Educativas.pdf?sequence=1>
- Abdullah, S., Burke, E. K., & McCollum, B. (2007). A hybrid evolutionary approach to the university course timetabling problem. 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 1764-1768. <https://doi.org/10.1109/CEC.2007.4424686>
- Al-Betar, M. A., & Khader, A. T. (2012). A harmony search algorithm for university course timetabling. *Annals of Operations Research*, 194(1), 3-31. <https://doi.org/10.1007/s10479-010-0769-z>
- Babaei, H., Karimpour, J., & Hadidi, A. (2015). A survey of approaches for university course timetabling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 86, 43-59. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.11.010>
- Bardadym, V. A. (1996). Computer-aided school and university timetabling: The new wave. En E. Burke & P. Ross (Eds.), *Practice and Theory of Automated Timetabling* (Vol. 1153, pp. 22-45). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-61794-9_50
- 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)
- Cacchiani, V., Caprara, A., & Toth, P. (2013). Scheduling the Italian basketball league. *Interfaces*, 43(2), 134-145.
- Carter, M. W., & Laporte, G. (1998). Recent developments in practical course timetabling. En E. Burke & M. Carter (Eds.), *Practice and Theory of Automated Timetabling II* (Vol. 1408, pp. 3-19). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/BFb0055878>
- Gunawan, A., Ng, K. M., & Poh, K. L. (2012). A hybrid algorithm for the course timetabling problem. *European Journal of Operational Research*, 215(2), 300-313.
- Hnich, B., Rossi, F., & Walsh, T. (2002). Heterogeneous student groups in university timetabling. In P. Van Hentenryck (Ed.), *Principles and Practice of Constraint Programming — CP 2002* (pp. 598-612). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-46135-3_40
- Leung, J. Y.-T. (Ed.). (2004). *Handbook of Scheduling* (0 ed.). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780203489802>
- Lewis, R. (2007). A survey of metaheuristic-based techniques for University Timetabling problems. *OR Spectrum*, 30(1), 167-190. <https://doi.org/10.1007/s00291-007-0097-0>
- Lü, Z., & Hao, J.-K. (2010). Adaptive Tabu Search for course timetabling. *European Journal of Operational Research*, 200(1), 235-244. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.12.007>
- Marín Ángel, J. C., & Maya Duque, P. A. (2016). Modelo lineal para la programación de clases en una institución educativa. *Ingeniería y Ciencia*, 12(23), 47-71. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.12.23.3>
- McCollum, B. (2007). A Perspective on Bridging the Gap Between Theory and Practice in University Timetabling. En E. K. Burke & H. Rudová (Eds.), *Practice and Theory of Automated Timetabling VI* (Vol. 3867, pp. 3-23). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77345-0_1
- MirHassani, S. A. (2006). A computational approach to enhancing course timetabling with integer programming. *Applied Mathematics and Computation*, 175(1), 814-822. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2005.07.039>
- Pillay, N. (2014). A survey of school timetabling research. *Annals of Operations Research*, 218(1), 261-293. <https://doi.org/10.1007/s10479-012-1071-2>
- Qu, R., Burke, E. K., McCollum, B., Merlot, L. T. G., & Lee, S. Y. (2009). A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling. *Journal of Scheduling*, 12(1), 55-89. <https://doi.org/10.1007/s10951-008-0077-5>
- Restrepo, G. E., & Moreno, L. M. (2011). Modelo para la asignación de recursos académicos en instituciones educativas utilizando la técnica metaheurística, búsqueda tabú. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 8(3), 111-124.
- Schaerf, A. (1999). A Survey of Automated Timetabling. *Artificial Intelligence Review*, 13(2), 87-127. <https://doi.org/10.1023/A:1006576209967>