

Artículo No. 02. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

ASIGNACIÓN DE ACTIVIDADES ACADÉMICAS CON INTERACCIONES PREVIAS OPTIMIZANDO ESPACIOS FÍSICOS: UN ENFOQUE DE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA

ASSIGNMENT OF ACADEMIC ACTIVITIES WITH PREVIOUS INTERACTIONS OPTIMIZING PHYSICAL SPACES: AN INTEGER LINEAR PROGRAMMING APPROACH

Alzate Montoya Paola Marcela ¹, Toro Ocampo Eliana Mirledy ²

¹Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia, paola.alzate@ucaldas.edu.co

²Programa de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Empresariales, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Risaralda elianam@utp.edu.co

Resumen. El problema de asignación de actividades ha sido ampliamente estudiado y desarrollado por técnicas de solución exacta y aproximada. El presente trabajo desarrolla un modelo matemático y una metodología basada en interacciones de conjuntos para resolver el problema de asignación de actividades académicas con horarios pre-establecidos. El objetivo es realizar la programación maximizando el uso de la capacidad de las aulas y el cumplimiento de restricciones. Las actividades académicas son convertidas en elementos con codificación única que alimentan a un conjunto de mayor tamaño con las características de entrada del modelo, permitiendo la relajación del mismo y su resolución como un problema lineal entero. La optimización del problema se evalúa en términos de la cantidad de horas programadas para las actividades que cumplen las restricciones fuertes y débiles. La metodología propuesta es validada con un ejemplo a escala de menor tamaño y aplicada a un caso real en una Institución de educación superior contemplando las condiciones necesarias para realizar la asignación de actividades con horarios definidos en un periodo académico. La calidad del modelo y la metodología se evidencian en los tiempos computacionales eficientes y los resultados de asignación obtenidos.

Palabras Clave: Asignación de aulas, Programación lineal entera, Optimización, interacción de conjuntos.

Abstract. The activities assignment problem has been widely studied and developed by exact and approximate solution techniques. The present work develops a mathematical model and a methodology based on interactions of sets to solve the academic activities assignment problem with pre-established schedules. The objective is to carry out the programming maximizing the use

of the classroom's capacity and the compliance of restrictions. The academic activities are converted into elements with unique coding that feed a larger set with the input characteristics of the model, allowing its relaxation and resolution as a whole linear problem. The optimization of the problem is evaluated in terms of the number of hours programmed for the activities that meet the strong and weak constraints. The proposed methodology is validated with an example at a smaller scale and applied to a real case in a higher education institution contemplating the necessary conditions to perform the assignment of activities with defined schedules in an academic period. The quality of the model and the methodology are evident in the efficient computational times and the allocation results obtained.

Key Words: Classroom assignment, linear integer programming, optimization, interaction sets.

Resumo. O problema de atribuição de atividades tem sido amplamente investigado e estudado por técnicas de solução exatas e aproximadas. O presente trabalho desenvolve um modelo matemático e uma metodologia baseada em interações de conjuntos para resolver o problema de atribuição de atividades acadêmicas com cronogramas pré-estabelecidos. O objetivo é realizar a programação maximizando o uso da capacidade das salas de aula e o cumprimento de restrições. As atividades acadêmicas são convertidas em elementos com codificação única que alimentam um conjunto maior com as características de entrada do modelo, permitindo seu relaxamento e resolução como um problema linear. A otimização do problema é avaliada em termos do número de horas programadas para as atividades que atendem às restrições fortes e fracas. A metodologia proposta é validada com um exemplo em escala menor e aplicada a um caso real em uma instituição de ensino superior contemplando as condições necessárias para realizar a atribuição de atividades com horários definidos em um período acadêmico. A qualidade do modelo e a metodologia são evidentes nos tempos computacionais eficientes e nos resultados de alocação obtidos.

Palavras-chave: Atribuição de salas de aula, programação linear inteira, otimização, interação de conjuntos.

INTRODUCCIÓN

La planeación y el aprovechamiento de los recursos en las instituciones educativas se han convertido en un desafío de gran interés de estudio en el área de la investigación de operaciones. El aumento significativo en el número de estudiantes acompañado de una oferta académica cada vez más amplia y una constante en términos de infraestructura, han propiciado una problemática que afecta directamente a la comunidad académica al impedir el desarrollo de las actividades académicas, principalmente, por dificultades asociadas a la capacidad y cantidad insuficiente de los espacios.

El problema de asignación de tareas a agentes pertenece a uno de los casos de estudio de la investigación de operaciones adaptado a múltiples áreas problemáticas en la búsqueda por obtener mejores soluciones al utilizar de manera eficiente los recursos. Técnicas basadas en métodos

Artículo No. 02. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

exactos (Hernandez, Miranda, & Rey, 2008) (Salgar, Gómez & Tello Escobar, 2017), heurísticos (Constantino, Filho, & Landa-silva, 2010) y metaheurísticas (Restrepo & Moreno V., 2011), tales como Algoritmos evolutivos (Mejía Caballero & Paternina Arboleda, 2010), Algoritmos genéticos (Cidrás Pidre, Díaz Dorado, & García Lorenzo, 2002) Colonia de Hormigas (Toro, Tabares, & Granada, 2004), Programación Lineal binaria (Acuña, Madieto, & Ortiz, 2013), Programación entera (Sarmiento-lepesqueur, Torres-Ovalle, Quintero-araújo, & Montoya-torres, 2012), entre otros, facilitan la toma de decisiones de problemas altamente complejos en tiempos computacionales razonables.

El problema de asignación de aulas propuesto en este artículo considera un caso real, que tiene como finalidad maximizar el uso de la capacidad de las aulas al asignar de manera eficiente los recursos disponibles a través de una técnica de solución exacta, la programación lineal entera. El problema se enfoca en la asignación de aulas (Rooms assignment) dada una programación de clases-profesor (Class-Teacher-Timetabling), en donde una asignatura debe ser asignada a un aula considerando las factibilidades de capacidad en cada una (Saldaña Crovo, San Martin, & Pradenas Rojas, 2007). El presente artículo se desarrolla en tres etapas: relajación del problema al realizar interacciones previas de elementos, modelamiento matemático considerando variables binarias de asignación y aplicación en un caso real implementando el software Matlab y Microsoft Excel.

METODOLOGÍA

Descripción del problema

Durante décadas la programación de los espacios con actividades en instituciones de educación superior se realizó de forma manual con resultados deficientes sin considerar características puntuales ni limitaciones de espacio. El problema que se describe a continuación pertenece a un caso real con necesidades de optimización en el proceso de asignación de actividades académicas dada la creciente oferta académica y la insuficiencia en el número de aulas disponibles; para este análisis se consideran factores como la capacidad de las aulas, el número de inscritos y las características de infraestructura son considerados en la búsqueda de una solución exacta al implementar la programación lineal entera. El caso de aplicación considera un espacio de programación de 120 aulas para 2000 bloques de actividades académicas. Para evaluar la calidad del modelo matemático y su asignación se desarrollará un ejemplo a escala con 10 bloques de actividades académicas, 35 horas de necesidad de programación y 3 aulas; posteriormente se analizarán los resultados obtenidos en el caso real. El modelo matemático definido debe asignar las actividades académicas a los espacios físicos optimizando su programación y considerando las siguientes restricciones:

Restricciones fuertes

- Sólo se puede asignar un grupo a una única aula en su bloque horario.
- Cada aula sólo puede tener asignado un grupo por bloque horario.

Artículo No. 02. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

- La capacidad del aula en la que se programe un grupo debe ser mayor al número de inscriptos del grupo.
- Las asignaturas que tienen programados periodos de tiempo consecutivos deben ser asignados en bloque en la misma aula.
- La cantidad total de bloques de horarios programados para una asignatura debe ser igual a la cantidad programada para la misma.
- Existen asignaciones previas de grupos a horarios.

Restricciones débiles

- Sólo se deben programar grupos con aulas teóricas.
- Los grupos de cada departamento deben ser asignados principalmente en las aulas concedidas previamente a cada uno.
- Los grupos sólo deberán ser formados por programas de pregrado.

Relajación del problema

La interacción de los elementos de los conjuntos principales antes de dar inicio a la asignación total corresponde a la relajación del problema. Los datos de ingreso al modelo no se realizan de forma unitaria sino de conjunto, el cual se ha establecido mediante una interacción definida como “asignaciones previas” y que permite la concepción del problema dentro de la programación lineal.

A continuación, se definen parámetros, conjuntos y subconjuntos del problema y posteriormente la matriz de interacción para obtener los conjuntos de asignaciones previas:

Subconjuntos

Asignaturas $M = \{1, \dots, m, \dots, n\}$

Grupos de las asignaturas $G = \{1, \dots, g, \dots, p\}$

Días a programar $D = \{1, \dots, d, \dots, t\}$

Bloques de horarios $B = \{1, \dots, b, \dots, q\}$

Aulas $A = \{1, \dots, a, \dots, r\}$

Conjuntos

MGg conjunto de grupos $g \in G$ asociados a las asignaturas $m \in M$.

BMm conjunto de bloques $b \in B$ en los que se dicta la asignatura $m \in MGg$.

DMm conjunto de días $d \in D$ en los que se dicta la asignatura $m \in MGg$.

AMm conjunto de aulas $a \in A$ en las que se puede programar la asignatura $m \in MGg$.

BDMm conjunto de bloques $b \in BMm$ en los que se dicta la asignatura $m \in MGg$ en el día $d \in DMm$

Las interacciones que originan los conjuntos denominados asignaciones previas, APm , (1) contienen la programación de las asignaturas $m \in MGg$ en los bloques $b \in BMm$ en el día $d \in DMm$ con la siguiente estructura (figura 1)

$$APm = (m, b) \in MGg * BDMm \quad (1)$$

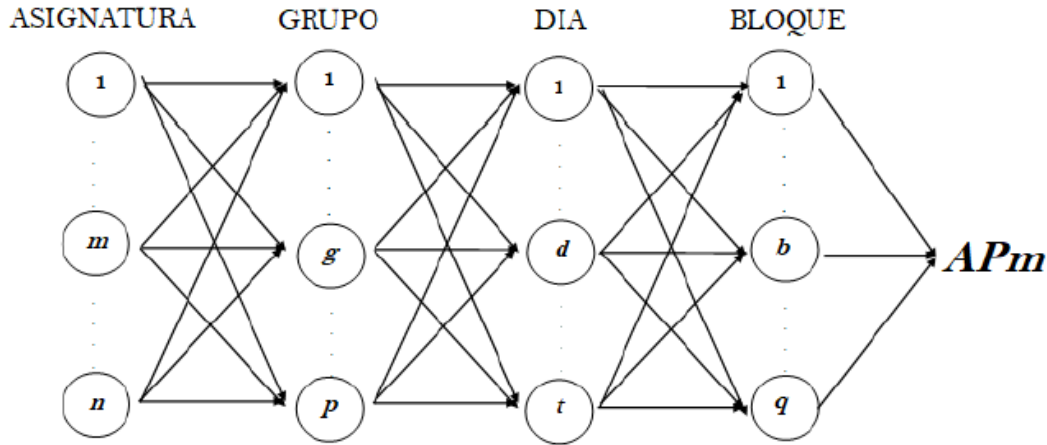


Figura 1. Diagrama de asignaciones previas APm

Parámetros

Sm numero de bloques por asignaturas. Para cada asignatura $m \in MGg$.

Im numero de inscritos en la asignatura $m \in MGg$.

Hm conjunto de intesidades horarias de la asignatura $m \in APm$.

Ca conjunto de capacidades del aula $a \in A$.

Modelamiento matemático

La asignación de las actividades académicas se realiza a través de la activación de la variable binaria Xma cuando se da el cumplimiento de las restricciones (3 a 7) y se contribuye a la

maximización de la programación de espacios físicos (2) permitiendo que la función objetivo relacione el número total de horas programas solo si la asignación es realizada. El modelo matemático se describe de la siguiente manera:

$$X_{ma} = \begin{cases} 1 & \text{Si la asignatura } m \in AP_m \text{ se asigna al aula } a \in AM_m \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$\text{Max} \sum_{m \in EP_m} \sum_{a \in AM_m} X_{ma} H_m \quad (2)$$

$$\sum_{a \in A} X_{ma} = S_m, \quad m \in MG_g, \quad (3)$$

$$\sum_{m \in AP_m} X_{ma} \leq 1, \quad a \in AM_m, \quad (4)$$

$$\sum_{a \in AM_m} X_{ma} \leq 1, \quad m \in AP_m, \quad (5)$$

$$\sum_{a \in AM_m} C_a X_{ma} \geq I_m, \quad m \in AP_m, \quad (6)$$

$$X_{ma} \in \{0,1\} \quad (7)$$

Las restricciones garantizan que: todas las asignaciones realizadas para una asignatura deben ser iguales al número de bloques de la asignatura (1), solo se puede programar un aula para cada asignatura del conjunto AP_m (2), solo se puede asignar en cada aula una asignatura por bloque (3) y la capacidad del aula asignada a cada asignatura debe ser mayor al número de inscriptos de la misma (4).

Asignación

El problema se resuelve mediante el algoritmo de Branch and Bound en un software de optimización matemática al permitir que los elementos de los conjuntos interactúen de tal forma que se conviertan en datos únicos (sin duplicidades), involucrando las características específicas de cada actividad académica permitiendo que la asignación sea directa al contemplar principalmente el número de inscriptos en la asignatura y la capacidad de las aulas, respetando una asignación por aula y por bloque horario, garantizando el no fraccionamiento del grupo y la consecución de las horas de un bloque horario en la misma aula.

Los elementos del conjunto AP_m son programados en el aula que cumple las restricciones del problema y sus preferencias (Figura 2); para esto es necesario que se cumplan las restricciones del modelo (3 a 7), destacándose que la capacidad del aula debe ser superior al número de inscriptos de

la asignatura $m \in AP_m$ (6) y la matriz de aulas sólo puede pertenecer al conjunto de aulas de interés. Todos los bloques de una misma asignatura, de ser posible, son asignados a la misma aula.

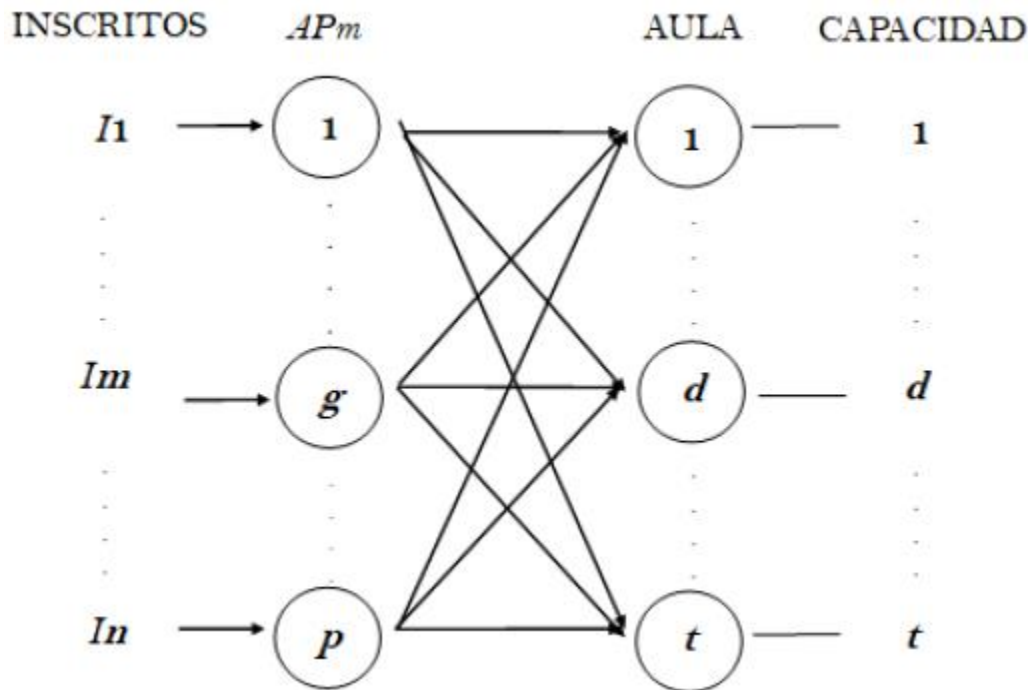


Figura 2. Esquema de asignación de aulas

Los elementos asignados que cumplan todas las restricciones y condiciones del problema son finalmente dispuestos en una matriz de submatrices conformada por todas las aulas del conjunto A , las franjas horarias disponibles y los grupos asignados en cada una.

RESULTADOS

Resultados experimentales

La metodología desarrollada para el problema de asignación de actividades académicas está basada en la relajación de los datos de entrada, las asignaciones previas y la interacción de conjuntos; permiten que, en conjunto con el modelo matemático, pueda ser aplicada a problemas de gran tamaño. Para evaluar la calidad de la asignación y la aplicación de la programación lineal como técnica de resolución entera en problemas de asignación altamente complejos, se presentan a continuación las características de 10 actividades académicas (Tabla 2) y 3 aulas (Tabla 1), posteriormente se comentan los resultados obtenidos en un problema de aplicación real que involucra 2000 bloques horarios y 120 aulas. La metodología propuesta fue desarrollada utilizando la versión R2015a de Matlab y Microsoft Excel en un equipo de cómputo portátil con procesador Intel(R) Pentium(R) CPU N3700@ 1.6GHz y memoria (RAM) de 4GB.

Artículo No. 02. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

Tabla 1. Información de aulas.

Aula	Capacidad
101	40
102	30
103	25

Tabla 2. Información de actividades académicas.

Asignatura	Grupo	Día	Hora	Duración	Inscritos
Química	1	2	14	4	40
Química	1	3	14	4	40
Matemáticas	1	4	14	3	36
Química	2	1	8	4	35
Química	2	3	8	4	35
Física	1	2	14	4	30
Física	2	4	15	4	25
Cálculo II	1	4	8	3	25
Cálculo II	1	5	17	3	25
Matemáticas	2	2	8	2	20

Conjuntos

$M = \{\text{Química, matemáticas, física, calculo II}\}$

$G = \{01, 02\}$

$D = \{1, 2, 3, 4, 5\}$

$B = \{8 - 10, 8 - 11, 8 - 12, 14 - 17, 14 - 18, 15 - 19, 17 - 20\}$

$A = \{101, 102, 103\}$

Interacción de conjuntos

$MGm = \{\text{Química 01, Matemáticas 01, Química 02, Física 01, Física 02, Cálculo II 01, Matemáticas 02}\}$

$BMm = \{14 - 18, 14 - 18, 14 - 17, 8 - 12, 8 - 12, 14 - 18, 15 - 19, 8 - 11, 17 - 20, 8 - 10\}$

Artículo No. 02. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

$DMm = \{\text{Martes, Miercoles, Jueves, lunes, Miercoles, Martes, Jueves, Jueves, Viernes, Martes}\}$

$AMm = \{101, 102, 103\}$

$BDMm = \{2 - 14 - 18, 3 - 14 - 18, 4 - 14 - 17, 1 - 8 - 12, 3 - 8 - 12, 2 - 14 - 18, 4 - 15 - 19, 4 - 15 - 19, 4 - 8 - 11, 5 - 17 - 20, 2 - 8 - 10\}$

La interacción de conjuntos M , G , B y D permite que se cree el conjunto de elementos previos, donde m es la dupla asignatura-grupo y b la interacción entre el día, la hora de inicio y finalización del bloque horario

$$AP_m(m, b) = \left\{ \begin{array}{ll} \text{Química 01,} & 2 - 14 - 18 \\ \text{Química 01,} & 3 - 14 - 18 \\ \text{Matemáticas 01,} & 4 - 14 - 17 \\ \text{Química 02,} & 1 - 8 - 12 \\ \text{Química 02,} & 3 - 8 - 12 \\ \text{Física 01,} & 2 - 14 - 18 \\ \text{Física 02,} & 4 - 15 - 19 \\ \text{Calculo II 01,} & 4 - 8 - 11 \\ \text{Calculo II 01,} & 5 - 17 - 20 \\ \text{Matemáticas 02,} & 2 - 8 - 10 \end{array} \right\}$$

Parámetros de ingreso al modelo

$n = 4$

$p = 2$

$t = 5$

$q = 7$

$r = 3$

$Lm = \{2, 1, 2, 1, 1, 2, 1\}$

$Im = \{40, 36, 35, 30, 25, 25, 20\}$

$Sm = \{4, 4, 3, 4, 4, 4, 4, 3, 3, 2\}$

$Ca = \{40, 30, 25\}$

El siguiente diagrama (figura 3) muestra como el problema es simplificado a la asignación directa entre los elementos del conjunto APm y las aulas disponibles, permitiendo que el modelo se base exclusivamente en la variable de decisión Xma , la cual toma el valor de 1 si se realiza la asignación o 0 en caso contrario. Para llevar a cabo dicha tarea, se establece el número de inscriptos para cada

uno de los elementos del conjunto AP_m y la capacidad de las aulas en las cuales se desean programar las actividades académicas, ordenando de forma decreciente los elementos.

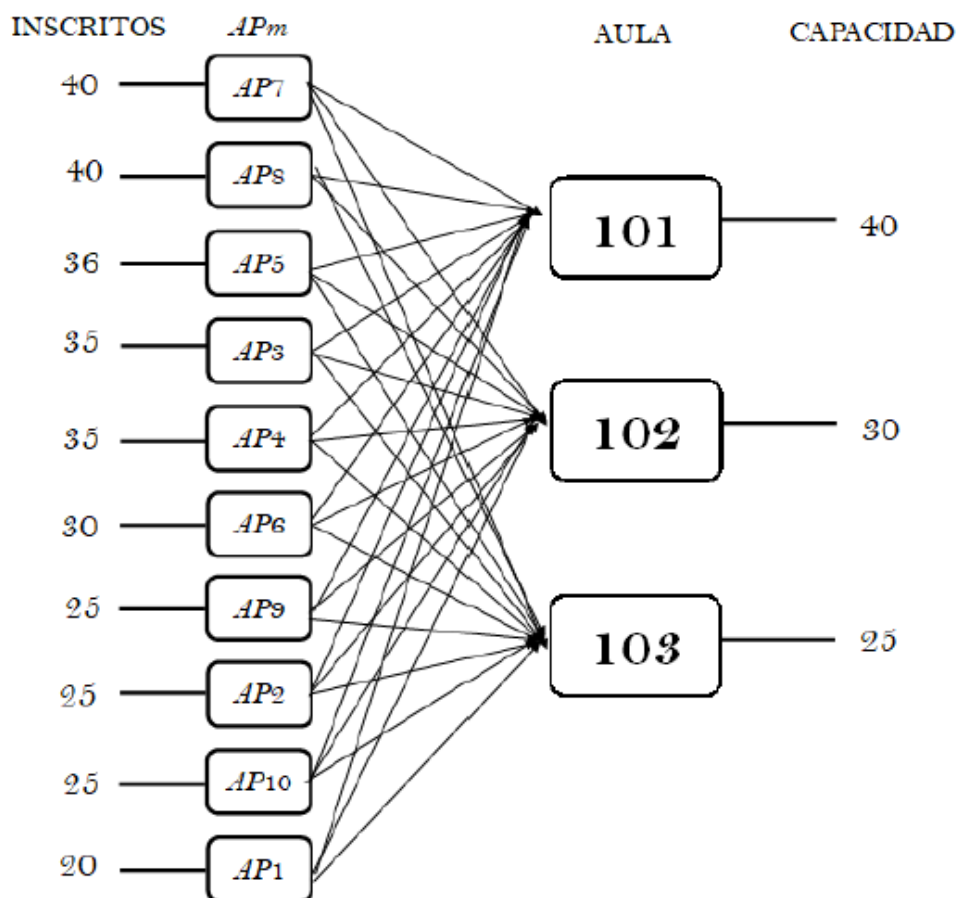


Figura 3. Asignación directa elementos del conjunto AP_m

Los resultados de la asignación arrojados por el Software Matlab se presentan a continuación: el aula 101 (tabla 3) fue la primera en ser programada debido a que las asignaturas química01, Matemáticas01 y química02 tenían un número de inscriptos que sólo podía ser programado en el aula con capacidad de 40; al ser las asignaturas de mayor tamaño se encuentran ubicadas en los primeros elementos del conjunto AP_m y por ende son las primeras en ser asignadas. Las siguientes asignaturas son programadas en el aula 101 siempre y cuando la matriz de asignaciones tenga espacio en el bloque horario de la asignatura.

Artículo No. 02. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

Tabla 3. Matriz de asignación aula 101.

Aula 101	lunes	martes	miércoles	Jueves	viernes
6:00					
7:00					
8:00	'Química02'	'Matemáticas02'	'Química02'	'Cálculo II01'	
9:00	'Química02'	'Matemáticas02'	'Química02'	'Cálculo II01'	
10:00	'Química02'		'Química02'	'Cálculo II01'	
11:00	'Química02'		'Química02'		
12:00					
13:00					
14:00		'Química01'	'Química01'	'Matemáticas01'	
15:00		'Química01'	'Química01'	'Matemáticas01'	
16:00		'Química01'	'Química01'	'Matemáticas01'	
17:00		'Química01'	'Química01'		'Cálculo II01'
18:00					'Cálculo II01'
19:00					'Cálculo II01'

El aula 102 (tabla 4) comienza a ser programada con aquellos elementos del conjunto APm que no sobrepasan los 30 inscriptos y que no fueron asignados al aula 101, asignatura Física grupo 01 y 02 con número de inscriptos 30 y 25 respectivamente. Los resultados evidencian el cumplimiento de las restricciones al respetar la capacidad de las aulas, a su vez que se maximiza el uso de las aulas al concentrar la mayor cantidad de bloques horarios por aula. Se observa cómo son programadas 8 asignaturas-grupo en el aula 101, y 2 restantes en el aula 102, generando una alta disponibilidad horaria para programar otras actividades académicas; el aula 103 quedó liberada totalmente. Finalmente, la sumatoria de las sesiones asignadas, las cuales corresponden a la intensidad horaria perteneciente a cada bloque horario por asignatura, toma el valor de la función objetivo, el cual fue de 35, teniendo en cuenta que la totalidad de las asignaturas fueron programadas.

El problema de asignación de actividades académicas descrito fue aplicado a un caso real con 2000 bloques horarios y 120 aulas, la metodología descrita y el modelo matemático fueron empleados exactamente igual a como se describió en el ejemplo a escala. Los resultados de la asignación de actividades académicas para un periodo fueron contrastados con la programación realizada por la institución en el periodo inmediatamente anterior, debido a que ésta fue realizada de forma manual, sin cumplimiento de restricciones de capacidad, en un tiempo de aproximadamente un mes con más de 50 asignaturas con imposibilidad de programación por cruces de horarios. Para el periodo académico actual, el crecimiento en las necesidades de aulas fue del 4,5% respecto al periodo anterior; sin embargo, la asignación óptima arrojada por el modelo matemático fue del 98,2% de las actividades académicas (1964 bloques), evidenciando la calidad de la asignación al presentar una respuesta computacional en 103 segundos aproximadamente, el cumplimiento de las restricciones del problema propio y de la institución y la optimización de la capacidad de las aulas. Las 36 actividades sin programación presentaban un bajo número de inscriptos; sin embargo, la

Artículo No. 02. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

totalidad de los espacios de la institución se encuentran ocupados en los días y horarios requeridos. aproximadamente, el cumplimiento de las restricciones del problema propio y de la institución y la optimización de la capacidad de las aulas. Las 36 actividades sin programación presentaban un bajo número de inscriptos; sin embargo, la totalidad de los espacios de la institución se encuentran ocupados en los días y horarios requeridos.

Tabla 4. Matriz de asignación aula 102.

Aula 102	lunes	martes	miércoles	Jueves	Viernes
6:00					
7:00					
8:00					
9:00					
10:00					
11:00					
12:00					
13:00					
14:00		'Física01'			
15:00		'Física01'		'Física02'	
16:00		'Física01'		'Física02'	
17:00		'Física01'		'Física02'	
18:00				'Física02'	
19:00					

CONCLUSIONES

La metodología permitió el desarrollo del problema de asignación de actividades con horarios establecidos mediante la programación lineal entera binaria. Las características de optimización que se cumplieron fueron: la maximización del uso de las aulas y el aumento en las asignaciones realizadas; estos aspectos fueron posibles debido al tratamiento de datos realizado, la interacción de conjuntos y el modelo matemático propuesto; además, los resultados de la asignación mejoraron, cuando los elementos del conjunto APm fueron previamente ordenados decrecientemente y se prioriza la asignación de grupos con mayor número de inscriptos. La implementación del software Matlab facilitó la asignación al permitir el procesamiento de los datos con los elementos de entrada de los conjuntos APm y AMm , el desarrollo de las restricciones propuestas en el modelo matemático y los resultados matriciales de asignación de aulas; de igual manera, de contribuir a la calidad de la asignación al presentar un tiempo computacional de 103 segundos en la programación de 2000 bloques horarios en 120 aulas.

Para trabajos futuros se espera incrementar en el modelo matemático la posibilidad de trasladar las actividades académicas sin asignación a otros espacios que cumplan además de las restricciones de espacio, las disponibilidades horarias de docentes y estudiantes.

REFERENCIAS

Acuña, S. Y., Madiedo, E. M., & Ortiz, N. R. (2013). Modelo de programación lineal binaria para el balance de carga de trabajo en el. Revista científica Javeriana, 17, 167–181.

Cidrás Pidre, J., Díaz Dorado, E., & García Lorenzo, A. (2002). Aplicación de Algoritmos Genéticos al Problema de Asignación de Aulas para Exámenes en un Centro Universitario, 5–6.

Constantino, A. A., Filho, W. M., & Landa-silva, D. (2010). Iterated Heuristic Algorithms for the Classroom Assignment Problem.

Hernandez, R., Miranda, J., & Rey, P. A. (2008). 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. Revista ingeniería de sistemas, 22, 121– 141.

Mejía Caballero, J. M., & Paternina Arboleda, C. (2010). Asignación de horarios de clases universitarias mediante algoritmos evolutivos. Revista Educación en Ingeniería, 140–149.

Restrepo, G. E., & Moreno V., L. F. (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.

Saldaña Crovo, A., San Martin, C. oliva, & Pradenas Rojas, L. (2007). Modelos de programación entera para un problema de programación de horarios para universidades. Revista Chilena de ingeniería, 15, 245–259.

Salgar, Gómez, J., & Tello Escobar, M. A. (2017). Propuesta de un Modelo para la Asignación de Recursos Humanos a los Proyectos a Cargo de la Oficina de Gestión de Proyectos (PMO) de Coomeva a Nivel Corporativo. Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Sarmiento-lepesqueur, A., Torres-Ovalle, C., Quintero-araújo, C. L., & Montoya-torres, J. R. (2012). Programación y asignación de horarios de clases universitarias: un enfoque de programación entera. Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference, 23–27.

Toro, E., Tabares, P., & Granada, M. (2004). Método de colonia de hormigas aplicado a la solución del problema de asignación generalizada. Conciencias, (15), 66–76.