

Modelo matemático para determinar los cursos que se deben inscribir para minimizar el tiempo de terminación del pregrado

Mathematical model to determine the courses to enroll to minimize undergraduate studies completion time

José Sánchez¹ y Jainet Bernal²

Resumen

En este artículo se presenta una aplicación de la investigación de operaciones en el sector universitario que busca dar respuesta a la necesidad que, cada semestre, tienen los estudiantes de pregrado de seleccionar las materias para inscribir. Para esto, se ha desarrollado y validado un modelo matemático basado en la *programación lineal entera mixta* que ayuda a los estudiantes de ingeniería industrial de la Universidad Central a identificar los cursos que tienen que inscribir para minimizar el tiempo de finalización de sus estudios de pregrado.

El modelo contempla requisitos, presupuestos y un histograma con tasas de aprobación por materia que minimizan de manera indirecta el tiempo de duración del pregrado y, según las materias aprobadas por el estudiante, se determinan las que debe inscribir en el periodo inmediatamente siguiente.

Por último, se describe el desarrollo de una aplicación de escritorio que permite la rápida y sencilla manipulación del modelo por parte del estudiante.

Palabras clave: investigación de operaciones, modelo matemático, programación lineal entera mixta.

Abstract

This article shows an application of operations research in the university sector, which seeks to respond to the need of undergraduate college students in the selection of courses to enroll in the next semester. For this, it has been developed and

¹ Estudiante de Ingeniería Industrial, Universidad Central, jsanchezc19@ucentral.edu.co.

² Ingeniero industrial, magíster en Ingeniería Industrial, docente de Ingeniería Industrial, jbernal01@ucentral.edu.co.

validated a mathematical model that it helps to students from Industrial Engineering of the Central University to identify which courses enroll for the next academic year, it seeks to enroll those courses that minimize the time of completion of their career.

The model is designed to facilitate this task to the student, in addition, they are utilized the requirements and restrictions of a histogram with approval and disapproval rates for each subject, which indirectly would minimize the time in college. The solution of this model is by Mixed Integer Linear Programming, where according to the subjects approved by the student and the courses that they must enroll in the next period.

The final step of this article is the realization and implementation of a desktop application that allows the quickly and easy manipulation of the model.

Keywords: operations research, mathematical model, mixed integer linear programming.

1. Introducción

Con anterioridad al comienzo de cada periodo académico, los estudiantes universitarios de programas de pregrado de las instituciones universitarias en Colombia se enfrentan al proceso de inscripción de asignaturas.

En dicho proceso, se deben tener en cuenta una serie de restricciones para escoger los cursos que se inscribirán, tales como su disponibilidad presupuestal y ciertos prerrequisitos (requisitos que se deben cumplir para poder inscribir ciertas asignaturas). Pero, asimismo, y más importante, se debe evitar que las restricciones de futuros semestres académicos com-

prometan el tiempo de terminación de todo el plan de estudios.

Por esta razón, aunque la selección de cursos parece sencilla, debe corresponder a un proceso serio, de sumo cuidado y que asuma una planeación, para prever que la selección actual de asignaturas no comprometa la inscripción de materias en próximos semestres académicos.

El estudiante conoce previamente toda la oferta de cursos y los requisitos para inscribirlos. Sin embargo, resulta útil contar con una herramienta que le ayude al estudiante a identificar, en cada periodo académico, las materias por inscribir a fin de que culmine sus estudios de pregrado en el menor tiempo posible, teniendo en cuenta las restricciones y evitando así que, cuando le resten pocas asignaturas por cursar, no pueda inscribir alguna teniendo la disponibilidad presupuestal para hacerlo.

Para ayudar a los estudiantes en este proceso, el presente proyecto está orientado, en su primera fase, a desarrollar un modelo matemático que le recomiende al estudiante los cursos que debería inscribir para el periodo académico respectivo, de tal forma que se minimice el tiempo de terminación de todo el plan de estudios.

Asimismo, se espera que el modelo incorpore información histórica del plan de estudios, como el conjunto de cursos que más prerrequisitos anidados tienen (“cursos que forman la ruta crítica del plan de estudios”) y los cursos que pueden incidir en el tiempo de culminación del plan de estudios (por ejemplo, una ponderación que prevalezca en la selección a aquellos cursos que históricamente han requerido un mayor tiempo promedio para ser aprobados).

La inclusión de un modelo matemático se hace necesaria para resolver el problema. Es ahí donde la programación lineal entera mixta des-

empeña un gran papel, dados sus fundamentos teóricos y las ampliaciones del modelo original, como la hecha en este documento. La programación entera mixta tiene aspectos de la programación lineal, pero ofrece posibilidades más reales en cuanto a la toma de decisiones, pues aparecen variables continuas y variables binarias en donde el grado de complejidad aumenta con respecto a la programación lineal.

La investigación de operaciones es un área que ofrece un conjunto de técnicas y herramientas para sustentar la toma de decisiones. Dentro de ella, se halla la programación lineal y la programación lineal mixta. Estas, mediante un modelo matemático, se orientan a obtener soluciones que optimicen el objetivo o indicador trazado para comparar soluciones factibles, según lo definido por el tomador de la decisión. Y se entiende por soluciones factibles aquellas que cumplen con el conjunto de condiciones o restricciones que debe cumplir la solución propuesta. Por eso, en la programación matemática, se pueden encontrar diferentes aspectos en cuanto a su aplicación y desarrollo. Sin embargo, todos convergen en un ámbito netamente matemático, en donde la optimización prevalece (Castillo *et al.*, 2002).

En este ámbito, las primeras actividades formales de investigación de operaciones (IO) se adelantaron en Inglaterra, durante la Segunda Guerra Mundial, cuando un equipo de científicos empezó a tomar decisiones con respecto a la mejor utilización del material bélico y de los suministros. Al terminar la guerra, las ideas formuladas en operaciones militares se adaptaron para mejorar la eficiencia y productividad en el sector civil (Niebel y Freivalds, 2009).

Para ello, se cuentan con diferentes ayudas matemáticas que facilitan las expresiones de un problema en particular: “la IO es una ciencia por las técnicas matemáticas que incorpora, y

un arte porque el éxito de las fases que conducen a la solución del modelo matemático depende en gran medida de la creatividad y experiencia del equipo de IO” (Bazaraa, Jarvis y Sherali, 1998).

La programación lineal entera es un tema que se describe en De la Fuente y Moreno (1996, pp. 1-3). Allí se afirma que “se utiliza el término de *programación lineal entera* cuando se obliga a que las soluciones de los problemas deben ser enteras”. En cambio, como concepto más específico, en Cornejo y Mejía (2006), se define como “aquel donde las variables son números enteros no negativos”, además de tener todas las restricciones y la función objetivo en forma lineal.

Varios autores han abordado el problema. Sin embargo, tienden a tratarlo desde la perspectiva de las instituciones y universidades, y no desde la de los estudiantes, como se plantea en este proyecto.

Un ejemplo claro de esto es el trabajo llevado a cabo en Chile por Saldaña, Oliva y Pradenas (2007). En este se elaboró un modelo de programación lineal: “En esta investigación se ha caracterizado, modelado y resuelto un problema de programación de horarios en universidades a través de programación lineal entera, obteniéndose modelos y métodos que permiten resolver problemas de gran tamaño en tiempos computacionales razonables y satisfaciendo niveles de calidad deseados”.

Otro modelo de gran interés es el planteado por Alarcón (2009). En este, determinaron, por métodos de programación lineal mixta, los desplazamientos y la asignación de los árbitros para un campeonato de fútbol chileno, de manera que se minimizarán los costos de transporte, se tuvieran en cuenta restricciones como la de que un árbitro local no puede dirigir un partido de su misma localidad y se balanceara la carga de los árbitros por medio de una ponderación y

registros del puntaje obtenido de cada árbitro. Este modelo fue considerado como duro computacionalmente, con un tiempo de respuesta de aproximadamente tres horas.

A partir de la revisión de antecedentes y literatura de artículos, se tiene que el problema de asignación de horarios tiene diferentes tipos, cuyas diferencias es necesario resaltar (Schaerf, 1999).

En primer lugar, están los modelos de programación de horarios de evaluaciones y exámenes (*examination timetabling, school course timetabling, university course timetabling*) (Hernández, Miranda y Rey, 2008).

Dos tipos de modelos *timetabling* son el modelo de transporte (*transport timetabling*) y el modelo de deportes (*sports timetabling*) (Guerra, Pardo, y Salas, 2013). Ambos modelos son catalogados como modelos NP (de problemas complicados que no son determinísticos y que muy a menudo son resueltos por máquina de Turing).

Autores como Hernández, Miranda y Rey (2008) y Saldaña, Oliva y Pradenas (2007) abordan el tema tratando de relacionar la asignación de horarios con parámetros como los profesores, los salones y su disponibilidad; todo desde la perspectiva de la universidad, sin tener en cuenta las necesidades propias de los estudiantes.

Sin embargo, un trabajo más detallado es el desarrollo de un modelo que contempla de manera poco detallada las características individuales de los estudiantes, pero sin complementar con los gustos de los estudiantes y su presupuesto (Cifuentes, 2012).

2. Aplicación que optimiza la inscripción

El problema sigue siendo, entonces, la necesidad de los estudiantes de identificar los

cursos más adecuados para inscribir, pues se espera que la selección no sea aleatoria, sino lo más estratégica posible, de modo que se evite tener que prolongar el tiempo de terminación del plan de estudios.

Esta situación suele deberse a que alguno de los cursos restantes por cursar es prerrequisito de otros que aún no se han cursado; lo que obliga a tener que aplazar la inscripción de por lo menos un curso para un periodo académico posterior y a tener que inscribir una menor cantidad de cursos en el periodo actual, pese a contar con la disponibilidad presupuestal para inscribir otros.

Dado lo anterior, se propone desarrollar una aplicación de escritorio basada en un modelo matemático que determine, para un periodo académico dado, las materias más adecuadas para inscribir, a fin de minimizar el tiempo de terminación de todo el plan de estudios. Para eso, se toma un caso de estudio: el plan de estudios del pregrado en Ingeniería Industrial (plan 4035) de la Universidad Central.

En ese sentido, se propone llevar a cabo las siguientes tareas:

- Identificar las condiciones que deben tener en cuenta los estudiantes del plan de estudios de ingeniería industrial en el momento de inscribir las materias.
- Definir una expresión que asigne una ponderación a cada uno de los cursos del plan de estudios 4035, con base en el número de cursos de los cuales es prerrequisito y de la distribución de probabilidad del tiempo que un estudiante invierte hasta aprobar el curso.
- Diseñar un modelo matemático que identifique, para un estudiante dado, los cursos que debe inscribir, de tal manera que minimice el tiempo de terminación de todos los cursos.
- Operar el modelo matemático diseñado.
- Validar el modelo matemático diseñado.

- Desarrollar la aplicación utilizando la herramienta Solver de Excel y código VBA (el lenguaje de macros de Microsoft Visual Basic; este se utiliza para programar aplicaciones Windows y de Microsoft).

3. Metodología

En primer lugar, es necesario conocer la estructura del plan 4035 (figura 1). Según se

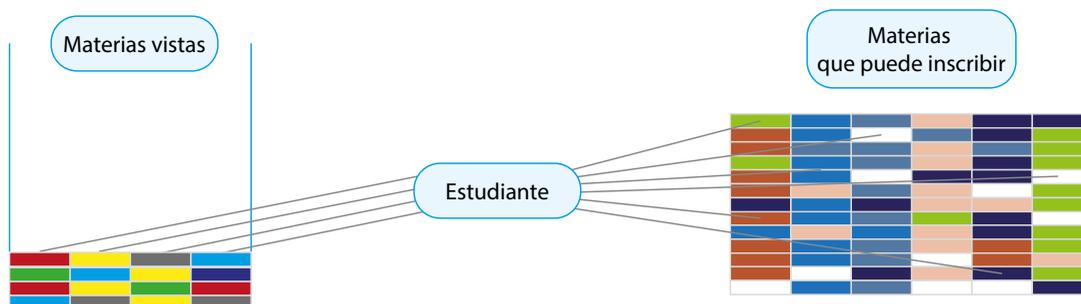


Figura 1. Conocimientos previos para determinar las materias adecuadas para inscribir.

Fuente: elaborado por los autores.

Luego se procedió a analizar el plan de estudio a fin de determinar cuáles son las condiciones o prerrequisitos necesarios para poder cursar cada asignatura, pues el modelo debe incorporar estas condiciones (figura 2).

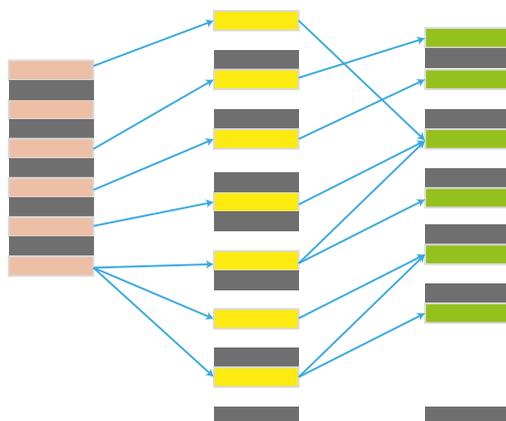


Figura 2. Requisitos para inscribir materias.

Fuente: Facultad de Ingeniería Industrial.

puede observar, este plan de estudios está definido por créditos y no depende de manera directa del semestre que se esté cursando. Es decir, si se cumplen los prerrequisitos de una determinada materia y se cuenta con el presupuesto, se puede ver la materia sin que importe el semestre que se esté cursando.

Esta figura presenta, en la parte izquierda, el conjunto de cursos que el estudiante escogería para inscribir de la oferta mostrada en la parte derecha.

A partir de esta información, se procedió a definir una expresión matemática que define una ponderación que contempla dos elementos. Primero, el número de materias que se podrán ver al inscribir dicha materia. El segundo, estadísticas de aprobación, reprobación y repetición de cada una de las materias del plan 4035. Esta ponderación se hizo con el fin de darle mayor prevalencia a las materias que tienen un mayor grado de dificultad.

Para hacer esta ponderación, que se asignó a cada materia, se asumió que un estudiante, por mucho, pierde la materia dos veces. Es decir, se hizo el supuesto de que, a la tercera vez de cursada, el estudiante la aprueba. Este supuesto se basa en que las probabilidades promedio de pérdida de una asignatura luego de cursarla por tercera vez toman valores poco significativos.

Para comenzar, se procedió a determinar las materias que son requisito de otra materia y el número de materias que esta abre (tabla 1).

A partir de la tabla 1, se definió para cada una de las materias el número de materias que se pueden inscribir si estas son aprobadas. El rango de datos está entre cero y tres materias. La normalización del número de materias que

abre será la ponderación que resume el comportamiento de la materia dentro del plan de estudios. Específicamente, se aprecia que hay tres materias fundamentales: Matemáticas 1, Matemáticas 3 y Estadística 1.

Inmediatamente después, se determinó, según los datos históricos, las materias que presentan una mayor dificultad.

Tabla 1. Número de materias que abre cada una de las materias del plan.

Materia	N.º de materias que abre	Materia	N.º de materias que abre
Matemáticas 1	3	Práctica 3	1
Química 1	2	Constitución Nacional	0
Teoría de Sistemas	1	Investigación de Operaciones 1	1
Inglés 1	1	Estadística 2	1
Práctica de Ingeniería 1	1	Higiene y Seguridad	0
Contexto 1	0	Desarrollo de Producto	1
Física 1	1	Dinámica organizacional	1
Matemáticas 2	1	Costos y Análisis Financiero	1
Álgebra Lineal	1	Investigación de Operaciones 2	2
Algoritmos y Programación	0	Producción 1	1
Inglés 2	1	Calidad	1
Contexto 2	0	Gestión de Talento Humano	1
Física 2	0	Inteligencia de Mercados	0
Matemáticas 3	3	Práctica de Ingeniería 4	1
Fisicoquímica	1	Modelamiento	0
Ciencia de Materiales	1	Producción 2	1
Inglés 3	0	Gestión de Servicios	0
Práctica de Ingeniería 2	1	Ingeniería Económica	0
Lógica	0	Contexto 3	0
Matemáticas 4	0	Logística	0
Probabilidad y Estadística	1	Electiva de Profundización 1	0
Procesos Industriales	1	Sistemas Integrados	0
Sistemas Naturales	0	Proyecto de Grado 1	1
Economía	1	Práctica 5	0
Estadística 1	3	Electiva de Profundización 2	0
Ingeniería de Procesos	2	Electiva de Profundización 3	0
Gestión para la Innovación	1	Electiva de Profundización 4	0
Microeconomía	2	Proyecto de Grado 2	0

Fuente: elaborado por los autores.



Figura 3. Probabilidad de cursar la materia solo una vez.

Fuente: elaborado por los autores.

La figura 3 muestra las probabilidades de aprobar la materia la primera vez que se cursa.



Figura 4. Probabilidad de tener que cursar la materia dos veces.

Fuente: elaborado por los autores.

La figura 4 recoge las probabilidades de tener que cursar la materia por segunda vez.



Figura 5. Probabilidad de tener que cursar la materia por tercera vez.

Fuente: elaborado por los autores.

La figura 5 da a conocer cuáles son las materias que tienen probabilidad de ser vistas por tercera vez, es decir, las más complicadas, históricamente, dentro del plan. A partir de esta tabla, se efectuó la ponderación, que resume la dificultad de cada una de ellas.

Dada la complejidad de todos estos datos, se procedió a realizar la normalización debida. Esta normalización, al ser arbitraria, correspondió a valores entre 0 y 1 de las dos variables incluidas (ruta crítica y dificultad), lo que explica los datos obtenidos (tabla 2).

Tabla 2. Ponderación de las variables por cada materia

Materia	Ruta	Difícil	Materia	Ruta	Difícil
Matemáticas 1	1,000	0,083	Práctica 3	0,250	0,083
Química 1	0,875	0,150	Constitución Nacional	0,000	0,350
Teoría de Sistemas	0,125	0,000	Investigación de Operaciones 1	0,250	0,533
Inglés 1	0,250	0,200	Estadística 2	0,375	0,533
Práctica de Ingeniería 1	0,500	0,533	Higiene y Seguridad	0,000	0,050
Contexto 1	0,000	0,750	Desarrollo de Producto	0,375	0,750
Física 1	0,125	0,533	Dinámica Organizacional	0,250	0,083
Matemáticas 2	0,875	0,200	Costos y Análisis Financiero	0,125	0,350
Álgebra Lineal	0,875	0,183	Investigación de Operaciones 2	0,125	0,000
Algoritmos y Programación	0,000	0,533	Producción 1	0,250	0,750
Inglés 2	0,125	0,200	Calidad	0,250	0,200
Contexto 2	0,000	0,083	Gestión de Talento Humano	0,125	0,750
Física 2	0,000	0,200	Inteligencia de Mercados	0,000	0,450
Matemáticas 3	0,750	0,350	Práctica de Ingeniería 4	0,125	0,533
Fisicoquímica	0,750	0,750	Modelamiento	0,000	0,750
Ciencia de Materiales	0,750	1,000	Producción 2	0,125	0,533
Inglés 3	0,000	0,750	Gestión de Servicios	0,000	0,650
Practica de Ingeniería 2	0,375	0,533	Ingeniería Económica	0,000	0,533
Lógica	0,000	0,533	Contexto 3	0,000	0,350
Matemáticas 4	0,000	0,533	Logística	0,000	0,200
Probabilidad y Estadística	0,625	0,750	Electiva de Profundización 1	0,000	0,350
Procesos Industriales	0,625	0,200	Sistemas Integrados	0,125	0,083
Sistemas Naturales	0,000	0,083	Proyecto de Grado 1	0,125	0,000
Economía	0,375	0,200	Practica 5	0,000	0,750
Estadística 1	0,500	0,750	Electiva de Profundización 2	0,000	0,550
Ingeniería de Procesos	0,500	0,533	Electiva de Profundización 3	0,000	0,083
Gestión para la Innovación	0,375	0,100	Electiva de Profundización 4	0,000	0,200
Microeconomía	0,250	0,200	Proyecto de Grado 2	0,000	0,533

Fuente: elaborado por los autores.

Según se infiere de la tabla 2, las materias cuya variable ruta se acercan a 1 son más importantes, pues son prerrequisitos de más materias; mientras que, con respecto a la variable

dificultad, es posible concluir que, cuanto más cerca están de 1, menos probabilidad de repro-bación tienen.

4. Desarrollo del modelo matemático y diseño de la interfaz

Con los datos encontrados, que para el caso de estudio son los más importantes, se procedió a formular el modelo de la siguiente manera.

Conjuntos

Asignaturas: las materias del plan de estudios 4035, el del pregrado en Ingeniería Industrial de la Universidad Central.

Parámetros

$Cred_j$ = Créditos de materia [i]
 $PondDif_i$ = ponderación de dificultad de materia [i]
 $PondAb_j$ = ponderación de ruta crítica de la materia [i]
 A_i = Materia [i] ya vista por el estudiante
 $CosCred$ = Costo de un crédito

Variable

X_i = Materia [i] a inscribir el siguiente semestre

Función objetivo

$$z = \max \left[\sum_j (PondDif_j \times X_j + PondAb_j \times X_j) \right]$$

Restricciones

- Restricción de no volver a cursar materias que ya han sido aprobadas: $X_j \leq 1 - A_j$
- Restricción del prerrequisito de cursar determinadas materias antes de cursar las demás:
 - $X_7, X_8, X_9 \leq A_1$ (el prerrequisito para Física I, Matemáticas II y Álgebra es Matemáticas I).
 - $X_{14} \leq A_8, A_9$ (el prerrequisito para Matemáticas III es Matemáticas II y Álgebra).
 - $X_{11} \leq A_4$ (el prerrequisito para Inglés II es Inglés I).
 - $X_{13} \leq A_7$ (el prerrequisito para Física II es Física I).
 - $X_{15}, X_{16} \leq A_2$ (el prerrequisito para Fisicoquímica y Ciencia de los Materiales es Química).

- $X_{17} \leq A_{11}$ (el prerrequisito para Inglés III es Inglés II).
- $X_{18} \leq A_5$ (el prerrequisito para Práctica II es Práctica I).
- $X_{20}, X_{21} \leq A_{14}$ (el prerrequisito para Matemáticas IV y Probabilidad es Matemáticas III).
- X_{22}, A_{15}, A_{16} (el prerrequisito para Procesos Industriales es Ciencia de los Materiales y Fisicoquímica).
- $X_{23} \leq A_3$ (el prerrequisito para Sistemas Naturales es Teoría de Sistemas).
- $X_{25} \leq A_{21}$ (el prerrequisito para Estadística I es Probabilidad).
- $X_{26} \leq A_{22}$ (el prerrequisito para Ing. de Procesos es Procesos Industriales).
- $X_{28} \leq A_{24}$ (el prerrequisito para Microeconomía es Economía).
- $X_{29} \leq A_{18}$ (el prerrequisito para Práctica III es Práctica II).
- $X_{31} \leq A_{15}$ (el prerrequisito para Investigación I es Matemáticas III).
- $X_{32} \leq A_{25}$ (el prerrequisito para Estadística II es Estadística I).
- $X_{32}, X_{33} \leq A_{26}$ (el prerrequisito para Higiene y Desarrollo de Producto es Ing. de Procesos).
- $X_{35} \leq A_{27}$ (el prerrequisito para Dinámica Organizacional es Gestión para la Innovación).
- $X_{36} \leq A_{28}$ (el prerrequisito para Costos y Análisis Financiero es Microeconomía).
- X_{37}, A_{31}, A_{25} (el prerrequisito para Investigación de Operaciones II es Investigación de Operaciones I y Estadística I).
- $X_{38} \leq A_{34}$ (el prerrequisito para Producción I es Desarrollo de Producto).
- $X_{39} \leq A_{32}$ (el prerrequisito para Calidad es Estadística II).
- $X_{40} \leq A_{35}$ (el prerrequisito para Gestión de Talento Humano es Dinámica Organizacional).
- $X_{41} \leq A_{25}, A_{22}$ (el prerrequisito para Mercados es Estadística I y Microeconomía).
- $X_{42} \leq A_{29}$ (el prerrequisito para Práctica IV es Práctica III).
- $X_{43}, X_{42} \leq A_{37}$ (el prerrequisito para Modelamiento y Logística es Investigación de Operaciones II).
- $X_{44} \leq A_{38}$ (el prerrequisito para Producción II es Producción I).
- $X_{45} \leq A_{40}$ (el prerrequisito para Gestión de Servicios es Gestión de Talento Humano).
- $X_{46} \leq A_{36}$ (el prerrequisito para Ingeniería Económica es Costos).
- $X_{50} \leq A_{39}$ (el prerrequisito para Sistemas Integrados es Calidad).

- $X_{52} \leq X_{42}$ (El prerrequisito para Práctica V es Práctica IV).
- $X_{56} \leq X_{51}$ (el prerrequisito para Proyecto de Grado II es Proyecto de Grado I).
- $X_{46} \leq X_{44}$ (el prerrequisito para Logística es Producción II).
- Restricción de la disponibilidad de presupuesto: $\sum_j (\text{CostCred} \times X_j) \leq \text{DispDin}$

- Restricción de cursar mínimo dos materias por semestre: $\sum_j X_j \leq 2$
- Restricción de cursar máximo seis materias por semestre: $\sum_j X_j \leq 6$
- Restricción de que la variable tome valores binarios: $X_j = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$

El operador de la formulación varía según los datos ingresados por el usuario. Luego de verificar el modelo en Solver de Excel y en Gams,

se procedió a desarrollar la interfaz en Excel para tener una mejor aplicación (figura 6).

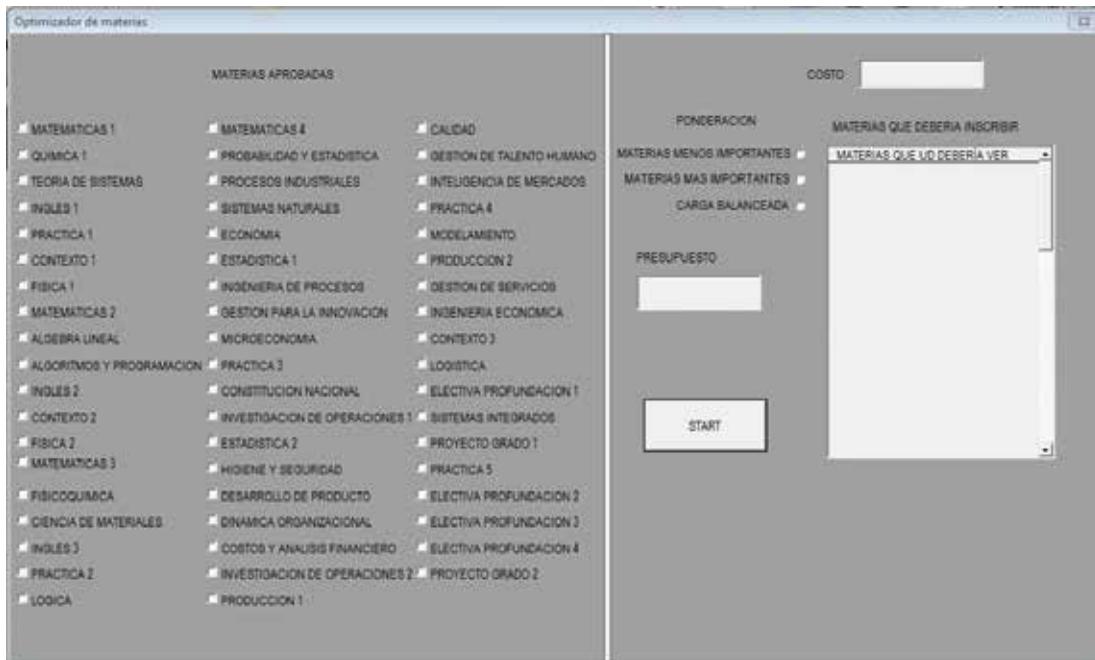


Figura 6. Diseño de la interfaz en Excel.

Fuente: elaborado por los autores.

Se puede apreciar que el usuario puede elegir, de todas las posibles opciones (parte izquierda), las materias aprobadas hasta el momento (puede hacerlo dando clic sobre el nombre de la materia). En ese mismo instante, el estudiante ingresará el presupuesto disponible para el semestre y, según el parámetro de ponderación, Solver de Microsoft Excel

arrojará la mejor respuesta: sugerirá que determinadas materias son las que el estudiante debería inscribir.

Luego de escoger las materias aprobadas y el tipo de ponderación y de ingresar el presupuesto, el estudiante obtendrá los resultados ilustrados en la figura 7.

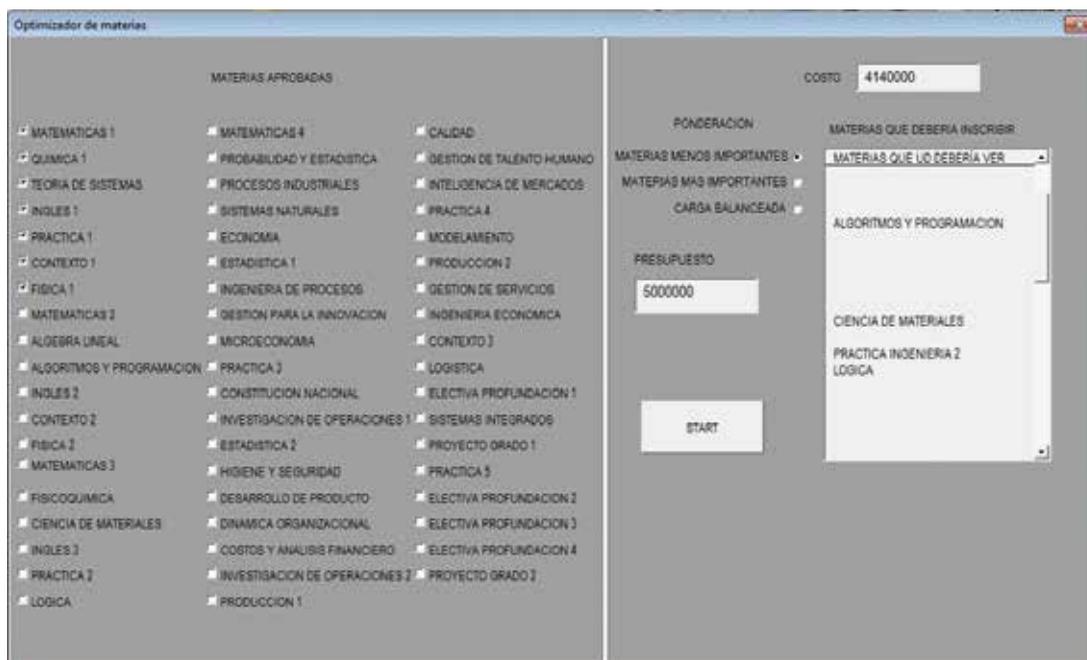


Figura 7. Respuesta de la interfaz en Excel.
Fuente: elaborado por los autores.

Como se puede apreciar en la figura 7, el modelo de optimización lineal entera mixta le ofrece una respuesta al estudiante que, según los principios de optimización, corresponde a las materias que el estudiante debería inscribir.

La interfaz y el modelo respetan todas las restricciones de prerrequisitos, repetición, presupuesto. Además, contempla el factor de variabilidad entre los estudiantes, relacionada con la posibilidad de escoger si matricular materias importantes o menos importantes.

5. Resultados y recomendaciones

- Se encontraron materias que, por su ponderación de las materias que abren y por su nivel de dificultad, tienen una prevalencia significativa sobre las demás. Por lo tanto, hacen parte de la ruta crítica.

- Al maximizar la ponderación hecha, se puede indirectamente minimizar el tiempo de duración del pregrado.
- Con el diseño del modelo y su operación en Solver de Excel, se pudo establecer que la materias que debe inscribir un estudiante que ingresa a primer semestre de Ingeniería Industrial con el plan de estudios 4035 deben ser Matemáticas I, Química, Gestión de la Innovación, Inglés, Práctica de Ingeniería I y Economía (asumiendo que el estudiante tiene el presupuesto para la carga completa).
- La interfaz desarrollada sugiere, para un periodo académico dado, las posibles materias que debe ingresar el estudiante según la ponderación escogida.
- El modelo sirve como herramienta que le sugiere al estudiante la inscripción de ciertos cursos, a fin de hacer más eficiente dicha selección.

- Se recomienda socializar el trabajo desarrollado en otros programas de la Facultad de Ingeniería y de la Universidad, a fin de establecer la posibilidad de efectuarle adaptaciones que permitan que sea usado por los estudiantes de otros programas académicos.
- Se espera que el modelo le sirva al programa y a la facultad para ayudar a planear los espacios académicos y a asignar los diferentes cursos para el periodo académico siguiente, dado que, si el modelo les sugiere inscribir los cursos a los estudiantes, esto podría alimentar la planeación de la asignación de recursos para el siguiente periodo académico.
- Se encontraron materias que requieren unos conocimientos previos, pero para las cuales el sistema actual no contempla prerrequisitos. Por ejemplo, Economía no tiene ningún prerrequisito, pero en ella se estudian temas avanzados de cálculo diferencial e integral, lo que puede contribuir a una alta tasa de deserción de los estudiantes.

Bibliografía

- Schaerf, A. (1999). A survey of automated timetabling. *Artificial Intelligence Review*, 87-127.
- Hernández, R., Miranda, J. y Rey, P. (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.
- Guerra, M. A., Pardo, E. H. y Salas, R. E. (2013). Problema del *school timetabling* y algoritmos genéticos: una revisión. *Revista Vínculos*, 10(2), 259-276.
- Consultado en <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/vinculos/article/view/6478>.
- Saldaña, A., Oliva, C. y Pradenas, R. (2007). Modelos de programación entera para un problema de programación de horarios para universidades. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 15(3), 245-259.
- Cifuentes, J. C. (2012). *Programación de estudiantes: un caso de estudio (Universidad Central)*. Consultado en <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2012/pdf/arq0249.pdf>.
- Castillo, E., Conejo, A. J., Pedregal, P., García, R. y Alguacil, N. (2002). *Formulación y resolución de modelos de programación matemática en ingeniería y ciencia*. España: Universidad de Castilla La Mancha.
- Niebel, B. W. y Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*. México: McGraw-Hill.
- Bazaraa, M. S., Jarvis, J. J. y Sherali, H. D. (1998). *Programación lineal y flujo en redes*. Limusa.
- De la Fuente, D. y Moreno, P. P. (1996). *Programación lineal entera y programación no lineal: organización de empresas, modelos y métodos*. España: Universidad de Oviedo.
- Cornejo, C. y Mejía, M. (2006). Formulación de un modelo de programación lineal entera mixta para el planeamiento de las importaciones en régimen aduanero para una empresa de producción. *Industrial Data*, 9(2), 33-38.
- Alarcón, F. (2009). *Asignación de árbitros para un campeonato de fútbol mediante el uso de programación matemática* (tesis inédita de maestría). Universidad de Chile.