

HERRAMIENTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE ASIGNATURAS POR INSCRIBIR EN UNA INSTITUCIÓN BASADA EN EL SISTEMA DE CRÉDITOS ACADÉMICOS

TOOL APPLIED TO IMPROVE THE SELECTION OF COURSES FROM THE STANDPOINT OF THE STUDENT OF AN INSTITUTION BASED ON THE ACADEMIC CREDIT SYSTEM

Ricardo Fernando Otero Caicedo, Juan Pablo Caballero Villalobos y Eliana María González Neira
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá (Colombia)

Resumen

La flexibilidad curricular que expresa la implementación del sistema de créditos académicos implica que el estudiante en cada periodo académico deba seleccionar el conjunto de asignaturas que más se adecúe a sus necesidades particulares. Este proceso de decisión puede ser análogo al reconocido problema de la mochila (Knapsack Problem), de optimización combinatoria, cuyo objetivo es maximizar una función de utilidad restringida al peso máximo que la mochila puede soportar. Para el problema de selección de asignaturas se tendrá como función de utilidad el valor esperado del promedio ponderado acumulado, restringido al máximo número de créditos que se puede inscribir en un periodo. El procedimiento consiste básicamente en la obtención de las asignaturas candidatas mediante el análisis de la matriz de precedencia, en el que es indispensable la agrupación de las asignaturas interdisciplinarias para evitar un sesgo en las convicciones de aprendizaje; posteriormente se seleccionan como variables preliminares aquellas que tengan una correlación significativa y se procede a obtener el valor de la calificación esperada según el registro histórico del estudiante, por medio del procedimiento de mínimos cuadrados para la regresión lineal múltiple. Por último, se propone un modelo matemático asociado a la selección de asignaturas y algunas sugerencias sobre el método de solución.

Palabras claves: selección de asignaturas, sistema de créditos, regresión múltiple, problema de la mochila.

Abstract

Due to the flexible curriculum applied in the academic credit system, each student has to select the courses to enroll in for the upcoming semester, following their own academic and knowledge needs. This problem could be denoted as the generalized Knapsack Problem (KP), which is a combinatorial optimization problem with a utility function to maximize restricted to the maximum weight that the knapsack can contain. For the college course selection we use as the objective function the cumulative weighted average, restricted to the maximum course credits allowed. The procedure consists essentially in obtaining candidate subjects by analyzing precedence matrix, where creating clusters for interdisciplinary subjects is needed to avoid bias in student's learning conviction, after that, preliminary variables are selected from those who have significant correlation with each candidate course, then, we proceed to get the expected value of the courses' grades using the least squares method for multiple linear regression. Finally we propose a mathematical model associated with the selection of subjects and some suggestions for the solution method.

Keywords: college courses selection, academic credit system, multiple regression, knapsack problem.

Introducción

Según Restrepo (2005), la flexibilidad en los currículos de los sistemas de educación superior ha contribuido en la interacción transversal de los componentes principales de cada programa académico con las demás áreas del conocimiento, desarrollando capacidades más globales y permitiendo conexión y sinergias con profesionales de otras disciplinas. El empoderamiento de los estudiantes en cuanto a la estructuración de su plan de estudios ha permitido satisfacer las aspiraciones y objetivos enfocados a captar conocimiento, paralelo a una educación integral que asegure espacios de formación investigativa, creativa y cultural.

Actualmente, en varias universidades públicas y privadas de Bogotá el esquema de educación está basado en el sistema de créditos. Un crédito es una unidad que pondera los siguientes criterios: número total de horas de trabajo académico semanal, grado de dificultad de la asignatura e importancia de ésta en el plan de estudios. El sistema de créditos les permite a los estudiantes la selección flexible de las asignaturas para cada periodo, además de proporcionar criterios específicos para tipos de matrícula, identificación de las horas dedicadas por asignatura y la ponderación de promedios académicos.

La conformación del conjunto de asignaturas candidatas que se podrían inscribir en un periodo académico específico requiere que el estudiante establezca las opciones que considere pertinentes y las analice de acuerdo con su experiencia previa y según el direccionamiento provisto por las herramientas de apoyo de cada programa académico. La flexibilidad

curricular en este caso genera un proceso de decisión complejo que requiere analizar una enorme cantidad de posibles conjuntos de asignaturas que cumplan con los requerimientos necesarios.

Para que los estudiantes se beneficien al máximo de esta flexibilidad curricular, es necesario que sean asesorados cada periodo en el proceso de construcción de su propio plan de estudios, para que lo conformen adecuadamente de acuerdo con los requerimientos y restricciones académicas, pero manteniendo intactas las convicciones de aprendizaje. A pesar de que existen algunas herramientas institucionales concebidas para soportar este proceso, sería de gran apoyo contar con una metodología formal y objetiva que responda de manera eficaz e inmediata a cada situación en particular.

En las facultades de las universidades se debería encontrar un registro de datos que contengan diversas variables que sinteticen en cada periodo el conjunto de asignaturas inscrito por cada estudiante y el resultado del proceso evaluativo expresado en una calificación. Estos datos son una gran fuente de información que podría hacer más robusto el proceso de análisis y tipificación de las asignaturas.

Antecedentes del problema

Institucionales

La implementación de currículos flexibles ha obligado a crear espacios y herramientas que permitan beneficiar el desarrollo de la madurez cognitiva y a la vez identificar intereses particulares que favorezcan el despliegue del

potencial de los estudiantes enmarcado en un ambiente de formación integral. Estas estrategias están enfocadas principalmente a generar un acompañamiento a los estudiantes que permita guiarlos hacia un camino común entre los requerimientos académicos de la universidad y sus propias convicciones de aprendizaje propias de cada estudiante.

Estrategias de acompañamiento

- **Consejería académica:** servicio de atención de asuntos estudiantiles que brinda la universidad para facilitar la coordinación de los procesos de aprendizaje, a partir del análisis y la planeación detallada del plan de estudios. En este proceso entre profesor y estudiante, es fundamental que el docente aporte junto con su calidad humana y madurez, su competencia académica y su experiencia en la participación de los procesos de enseñanza (Restrepo, 2005).
- **Malla curricular:** herramienta que responde a la necesidad de integrar las asignaturas de cada periodo académico, en orden cronológico por semestres, según una estructura lógica y metodológica en la que se incluye cada uno de los componentes del programa educativo, y en la que se discrimina cada una de las materias del pènsum con su respectivo número de créditos y relaciones de dependencia.
- **Decisiones paso a paso:** guías generales que les permiten a los estudiantes analizar los criterios que deben tener en cuenta al decidir qué asignaturas cursar el siguiente semestre.
- **Herramientas de apoyo generales:** grupos de decisión, tutoriales multimedia, seminarios, entre otras herramientas, que pueden apoyar y centrar el proceso de decisión de los estudiantes semestre a semestre.

La metodología desarrollada en este trabajo está enfocada a seleccionar el conjunto de asignaturas que probablemente tenga un mayor impacto en el promedio ponderado acumulado, es decir, aquellas con la nota más alta esperada según el historial del estudiante. Esta metodología está basada en los registros históricos que se encuentran en las universidades. Aunque por lo general esta información no está dirigida fuera de los procesos administrativos de control y seguimiento en las universidades, es una gran fuente de información que permite desarrollar un proceso de decisión objetivo enmarcado en el comportamiento general de los estudiantes.

Antecedentes del problema de la mochila

Para modelar este proceso de decisión, se usaron los conceptos asociados a un tipo específico de modelo, el reconocido problema de la mochila, que según Babaioff et al. (2007) está usualmente enfocado a problemas más reconocidos de investigación de operaciones como modelos de programación de la producción, de transporte, de inversión, etc. Sin embargo, esta metodología pretende usar sus conceptos para modelar un proceso de toma de decisiones que no ha sido analizado desde el punto de vista cuantitativo.

A continuación se presentan algunas modelaciones para variaciones del problema de la mochila.

Problema de la mochila

Es un caso particular de los problemas binarios, el cual se define formalmente así: se tiene un conjunto N de ítems, cada ítem j tiene asociada una función de utilidad y un peso w_j . La mochila tiene una capacidad máxima de peso c , por lo que el problema consiste en escoger el subconjunto de ítems que maximiza la función de utilidad total (Pisinger, 2005). Este tipo de problema es útil para modelar situaciones como: programación de producción, selección de maquinaria, inversión en el mercado de valores, etc. (Babaioff et al., 2007; Kellerer et al., 2004; Martello et al., 1990). Esta clase de problemas ha sido ampliamente estudiada, especialmente en las últimas décadas, y ha atraído a teóricos y desarrolladores. Los intereses en este tipo de problemas radican en su simple estructura, la cual permite explotar las propiedades combinatorias y cualquier otro tipo de variantes complejas implementadas al problema base (Martello et al., 1990).

De manera general, los problemas de la mochila pueden expresarse matemáticamente de la siguiente manera:

$$(1) \quad \max \sum_{j=1}^n p_j x_j$$

$$(2) \quad S. A. \sum_{j=1}^n w_j x_j \leq c$$

$$(3) \quad x_j \in \{0,1\} \forall j$$

En donde $X_j=1$, representa que el ítem j se incluye dentro de la mochila y $X_j=0$, si no es tenido en cuenta en el subconjunto.

Problema de la mochila no lineal (NLKP)

Las funciones objetivo $f(x)$ o las restricciones $g(x)$ son no lineales, continuas y diferenciables. De manera general, el NLKP se puede formular de la siguiente manera:

$$(4) \max \sum_{j=1}^n f_j(x_j)$$

$$(5) \text{ S. A. } \sum_{j=1}^n g_j(x_j) \leq c$$

$$(6) x_j \in \{0,1\} \forall j$$

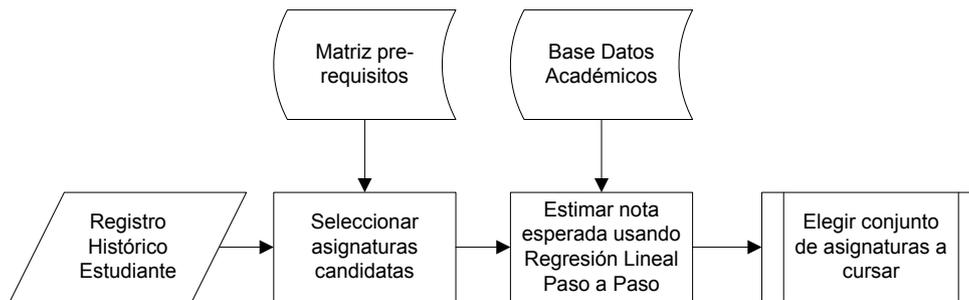
Los problemas no lineales tienen múltiples aplicaciones en campos como los de selección de portafolio, distribución de recursos, planeación de la producción,

redes computacionales, planeación de capacidad en procesos de manufactura, entre otros (Bretthauer & Shetty, 2002; D'Ambrosio & Martello, 2011).

Metodología de estimación de parámetros para la selección de asignaturas

La metodología de estimación de parámetros se desarrolló con información proveniente del programa de Ingeniería Civil Pontificia Universidad Javeriana Sede Bogotá, y divide el proceso de selección de asignaturas en tres pasos que se presentan en la figura 1, en la cual se aprecian secuencialmente en un diagrama de procesos los requisitos de información y los procedimientos se detallan en la metodología.

Figura 1. Diagrama de la metodología del proceso de selección de asignaturas



A diferencia de algunas herramientas de apoyo como las mallas curriculares, que presentan en un orden secuencial una propuesta de plan de estudios general para todos los periodos, la metodología propuesta podría contribuir a cada situación en particular. Se pretende que esta metodología entre a ser parte de las herramientas para el apoyo en la toma de decisiones de los estudiantes que deberá complementarse con un acompañamiento personalizado por parte de la facultad, que provea al estudiante de un contexto general de las asignaturas candidatas y su entorno académico.

Datos de entrada

Para soportar este proceso de decisión es preciso contar básicamente con tres fuentes de entrada de información:

- Registro histórico de notas obtenidas por el estudiante.

- Matriz de prerequisites: debe ser una matriz $N \times N$, donde N es el número de asignaturas que conforman el núcleo de formación fundamental y énfasis. Esta matriz M deberá cumplir que:

$$M_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Asignatura } i \text{ es requisito para cursar } j \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

- Base de datos con información de asignatura cursada, nota, número de créditos y tipo de asignatura.

Naturaleza de las asignaturas de Ingeniería Civil Pontificia Universidad Javeriana Sede Bogotá

Actualmente, en el programa de Ingeniería Civil de Pontificia Universidad Javeriana Sede Bogotá existen cuatro tipos de asignaturas. En la tabla 1 se observa en detalle cómo están distribuidas según su propósito pedagógico en el plan de estudios.

Tabla 1. Tipos de asignaturas de Ingeniería Civil – Pontificia Universidad Javeriana Sede Bogotá

Tipo de asignatura	Concepto	Número de asignaturas obligatorias
Núcleo de formación fundamental (NFF)	Contienen los conceptos básicos del programa académico	Todas.
Énfasis (ENF)	Dedicadas a profundizar el conocimiento de un área de la carrera en particular	Según el énfasis elegido.
Complementarias (CP)	Aquellas que se deben cursar de otro programa académico	15 créditos obligatorios
Electivas (ELE)	Dirigidas a complementar la formación integral de los estudiantes	16 ¹

Las asignaturas ELE y CP se dirigen a enriquecer los conocimientos interdisciplinarios de los estudiantes, así que tratarlas individualmente podría sesgar las convicciones de aprendizaje de cada estudiante. Por lo tanto, es necesario agruparlas según su naturaleza académica, temática o cultural. De esta manera los grupos de asignaturas sí pueden ser tratados individualmente e ingresados a las siguientes instancias de la metodología.

Transformación de la base de datos

Las bases de datos destinadas a recoger la información académica de los estudiantes están generalmente orientadas a las asignaturas, es decir, se dispone de una con la estructura que se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Estructura de la base de datos de información de los estudiantes

Estudiante	Periodo	Asignatura	N.º de créditos	Calificación	Tipo de asignatura
------------	---------	------------	-----------------	--------------	--------------------

Este formato se debe transformar para analizar de manera eficiente las relaciones entre las asignaturas. Por ello, la base de datos se debe organizar en torno a cada estudiante. Cada fila corresponde al

registro histórico dispuesto en la base de datos para cada estudiante en particular. La estructura de la asignatura, entonces, será la que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Estructura de base datos de registros académicos orientada a estudiantes

	Asignatura 1	Asignatura 2	Asignatura 3	Asignatura 4	Asignatura 5	Asignatura 6
Estudiante 1	Nota	Nota	Nota	Nota	Nota	Nota
Estudiante 2	Nota	Nota	Nota	Nota	Nota	Nota

Selección de asignaturas candidatas

Dado un conjunto total de asignaturas pertenecientes al núcleo de formación fundamental o énfasis T , un conjunto de asignaturas aprobadas C y una matriz de requisitos M . Es necesario encontrar el conjunto de asignaturas A , $A \in \{T-C\}$ que un estudiante está en capacidad académica de cursar en el siguiente periodo. Para esto, suponiendo que se quiere conocer cuál es el conjunto de asignaturas que se puede cursar si el estudiante entra a primer semestre, es

decir $C=\emptyset$, según la definición de M , si la suma de la columna j ésima $M_{.j}=0$, entonces la asignatura con índice j no tiene requisitos y puede ser cursada en el primer semestre. Ahora, para cualquier conjunto de asignaturas aprobadas C , se sabe que cada una de las asignaturas $T-C$ representa una columna en M y que cada uno de sus componentes indica la dependencia hacia otras asignaturas, por lo que si se hace que cada uno de los componentes fila C de la matriz M sea 0, las asignaturas candidatas A serían aquellas que cumplan $M_{.j}=0 \forall j \in \{T-C\}$.

¹ En el programa de Ingeniería Civil existe la posibilidad de cursar dos énfasis y ninguna asignatura complementaria.

Análisis de correlaciones

Para analizar las correlaciones entre cada par de asignaturas se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, que se define como:

$$(7) \quad \hat{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

Este estadístico es una medida de la asociación lineal entre dos variables. Los valores del coeficiente de correlación van de -1 a 1. El signo del coeficiente indica la dirección de la relación y su valor absoluto indica la fuerza. Los valores mayores indican que la relación es más estrecha (Montgomery, 2006).

Para probar la existencia de este coeficiente de correlación se realizará la siguiente prueba de hipótesis acerca del coeficiente de correlación ρ .

$$H_0: \rho=0$$

$$H_a: \rho \neq 0$$

Para filtrar los pares de asignatura que tienen una correlación significativa se utilizó el valor p de la prueba de hipótesis y se comparó con un nivel de significancia del 95 %.

Estimación de notas esperadas

El objetivo de la selección de asignaturas en esta metodología es maximizar el promedio ponderado esperado según el registro histórico de cada estudiante. Para ello es necesario obtener el valor esperado de la nota en cada una de las asignaturas candidatas. Este análisis se realizó mediante un modelo de regresión lineal que tendrá en cuenta como variables predictoras de una asignatura en particular todas aquellas asignaturas con un coeficiente de correlación significativamente diferente de 0, incluyendo las posibles interacciones por pares de asignaturas.

El modelo de regresión lineal para una asignatura en particular se presenta en la ecuación (8).

$$(8) \quad Y = \sum_{i=1}^k \beta_k x_k + \sum_{i=1}^k \sum_{\forall j \neq i} \beta_{ij} x_i * x_j + e$$

El primer componente corresponde al aporte de cada una de las asignaturas predictoras, el segundo a las interacciones por pares de asignaturas y el tercero al error aleatorio.

Para obtener los parámetros del modelo propuesto es necesario transformar la representación de las interacciones entre pares de asignaturas. Para ello se deben crear $\binom{n}{2}$ nuevas variables, donde n corresponde al número de asignaturas candidatas. Hecho esto, es posible continuar con el procedimiento estándar de regresión lineal múltiple por mínimos cuadrados, ya que a pesar de que el modelo no es lineal en términos de las variables predictoras, sí lo es en términos de los parámetros.

Además, para automatizar el proceso de selección de asignaturas por incluir dentro del modelo se usó la librería *StepAIC* en el paquete estadístico *R Statistics*, que permite realizar un modelo de regresión paso a paso (*stepwise regression*) hacia atrás para evitar que variables que comparten información sobre la variable independiente (p.e. ciencias básicas) aporten inestabilidad al modelo. Esto se debe principalmente a que el primer criterio de inclusión de variables al modelo fue el estadístico de correlación lineal de *Pearson* entre las variables candidatas y la independiente, pero no se analizó la relación entre las variables independientes.

Las asignaturas ELE y CP se orientan a enriquecer los conocimientos interdisciplinarios de los estudiantes, por lo que se las debe tratar según la agrupación obtenida del análisis temático para no sesgar las convicciones de aprendizaje de cada estudiante. Por esto, para las asignaturas candidatas de naturaleza CP se debe estimar su calificación según el promedio histórico de las asignaturas contenidas en la agrupación que se encuentran en la base de datos académica. Por otra parte, las asignaturas ELE representan generalmente actividades extracurriculares que requieren aptitudes específicas, por lo que se debe estimar su calificación según el promedio de calificaciones obtenidas por el estudiante en las asignaturas de esta naturaleza, ya que podrían estar estrechamente ligadas con sus aptitudes deportivas y artísticas, entre otras.

Ejemplo de aplicación de la metodología

En la tabla 4 se presenta un registro histórico de un estudiante de primer semestre que será utilizado como ejemplo para el desarrollo de la metodología. Éste contiene las asignaturas aprobadas y la calificación obtenida en cada una de ellas.

Tabla 4. Asignaturas cursadas y notas obtenidas (ejemplo estudiante)

Aprobadas	Nota
Cálculo Diferencial	3,2
Introducción a la Ingeniería Civil	4,4
Expresión Gráfica y Geometría	4,3
Química de Materiales	4,1
Inglés 1	4,7
Epistemología de la Ingeniería	4,2
Álgebra Lineal	3,3
Baloncesto	5,0

En concordancia con la información dispuesta en la base de datos, se procede a identificar la naturaleza de las asignaturas con la ayuda del *software R statistics*.

Núcleo fundamental: Cálculo Diferencial, Introducción a la Ingeniería Civil, Expresión Gráfica y Geometría, Química de Materiales, Epistemología de la Ingeniería, Álgebra Lineal.

Complementarias: Inglés 1

Electivas de deportes: Baloncesto

Según el procedimiento detallado en el numeral 3.2 de este documento, se procede a identificar las asignaturas candidatas por inscribir.

Asignaturas candidatas: Cálculo Integral, Física Mecánica, Pensamiento Algorítmico, Topografía y Fotogrametría, Materiales de Construcción, Laboratorio de Materiales.

Teniendo en cuenta esta información, es posible obtener el conjunto de asignaturas candidatas a inscribir en el próximo periodo académico. Utilizando el modelo de regresión para estimar las calificaciones

de las asignaturas de núcleo fundamental y el procedimiento descrito para obtener las calificaciones de las asignaturas ELE y CP, con ayuda del *software R statistics* se obtienen los resultados de la tabla 3, que presenta para cada asignatura candidata la calificación esperada según el registro histórico del estudiante y los registros de la base de datos académica.

Tabla 5. Asignaturas cursadas y notas estimadas (ejemplo estudiante)

Asignatura candidata	Nota esperada
Cálculo Integral	3,4
Física Mecánica	3,0
Pensamiento Algorítmico	3,6
Topografía y Fotogrametría	3,2
Materiales de Construcción	3,6
Laboratorio de Materiales	3,7
Electiva Deportes	5,0
Complementarias Lenguas	3,9

En la tabla 5 se puede encontrar la nota esperada para cada una de las asignaturas candidatas, información que sirve como apoyo para el proceso de selección de asignaturas por inscribir en el siguiente semestre académico. El promedio esperado de la nota de cada conjunto de asignaturas es entonces un parámetro adicional que el estudiante, junto a su consejero académico, debe considerar al seleccionar el conjunto de asignaturas que más se adapte a los requerimientos institucionales y a sus convicciones de aprendizaje.

Modelo asociado al problema de selección de asignaturas

Modelo original

En la sección anterior se obtuvo el valor esperado de la nota de asignaturas candidatas según el modelo creado con la información de la base de datos y el registro histórico del estudiante. Teniendo en cuenta las formulaciones del problema de la mochila es posible modelar el problema de selección de asignaturas de la siguiente manera:

$$(9) \quad \text{Max} \frac{P_a * C_c + \sum_{\forall_i} c_i E[w_i|G] x_i}{C_c + \sum_{\forall_i} c_i x_i}$$

S.A.

$$(10) \quad C_{min} \leq \sum_{\forall_i} c_i x_i \leq C_{max}$$

$$(11) \quad Cele_{min} \leq \sum_{\forall_i} c_i x_i \leq Cele_{max} \quad \forall x_i \in \{ELE\}$$

$$(12) \quad Ccp_{min} \leq \sum_{\forall_i} c_i x_i \leq Ccp_{max} \quad \forall x_i \in \{CP\}$$

$$(13) \quad x_i \in \{0,1\}$$

El (9) corresponde a la función objetivo, que en este caso está representada por el promedio académico ponderado acumulado esperado de un estudiante según sus datos históricos y según el conjunto de asignaturas que se inscriban en el siguiente periodo académico, en donde P_a y P_c corresponden al promedio acumulado y al número de créditos acumulado que el estudiante lleva hasta el momento. $E[w_i|G]$ representa el valor esperado de la nota de la asignatura según un conjunto de asignaturas cursadas G , mientras que c_i y x_i son el número de créditos de la asignatura y la variable binaria de decisión que indica si la asignatura se inscribe en el siguiente semestre o no.

Esta función objetivo está restringida al número de créditos totales que es posible inscribir en un periodo académico según la modalidad de matrícula inscrita y el número mínimo de créditos que se está dispuesto a inscribir (10), y las restricciones asociadas al número máximo y mínimo de créditos destinados a asignaturas electivas y complementarias que se desee cursar (11), (12).

Para evitar que esta metodología sesgue la convicción de aprendizaje de los estudiantes, las asignaturas electivas y complementarias se deben manejar de

manera general, sin sugerir alguna asignatura en particular, lo que podría desviar y viciar los objetivos propios del estudiante. Por lo tanto, cada uno de los grupos de asignaturas de opción complementaria y electivas contará con un número de asignaturas igual al máximo permitido para cada naturaleza ($Cele_{max}$, Ccp_{max}) y cada una tendrá el mismo valor esperado de la calificación de un crédito académico. Esta medida es necesaria para formular el proceso de decisión adecuadamente y recomendar el número de créditos de asignaturas electivas o complementarias que el estudiante debería inscribir.

Debido a que este modelo tiene varias restricciones y además su función objetivo no es lineal debido al cociente entre variables, se puede asumir la selección de asignaturas como un problema de la mochila no lineal con restricciones múltiples.

Modelo relajado

Para facilitar un posible método de solución se presenta la relajación lineal del modelo anterior, cuya función objetivo se reemplaza por la suma ponderada de las diferencias de la nota esperada de cada asignatura con el promedio acumulado del estudiante.

$$(14) \quad \text{Max} \sum_{\forall_i} c_i (E[w_i|G] - P_a) x_i$$

$$(15) \quad C_{min} \leq \sum_{\forall_i} c_i x_i \leq C_{max}$$

$$(16) \quad Cele_{min} \leq \sum_{\forall_i} c_i x_i \leq Cele_{max} \quad \forall x_i \in \{ELE\}$$

$$(17) \quad Ccp_{min} \leq \sum_{\forall i} c_i x_i \leq Ccp_{max} \quad \forall x_i \in \{CP\}$$

$$(18) \quad x_i \in \{0,1\}$$

A pesar de que el modelo relajado tiene en cuenta muchas de las características del modelo original, tiende a maximizar el total de créditos inscritos.

Expectativas de métodos de solución

Modelo original

Es necesario implementar métodos de solución que soporten la no linealidad del problema. Uno de los que se podría aplicar es la búsqueda exhaustiva del mejor conjunto de asignaturas, es decir, analizar cada una de las posibles combinaciones de asignaturas que el estudiante puede inscribir. Debido a la naturaleza del problema, si n es el conjunto de asignaturas candidatas, entonces existirán $2^n - 1$ conjuntos diferentes para los cuales se deberá calcular su función objetivo. Para el ejemplo presentado en la sección 4.2 el número de asignaturas candidatas es $2^{10} = 1024$, entonces el cálculo total de la función objetivo es . El total de posibles conjuntos no es demasiado grande como para abordarlo de manera exhaustiva por medio de métodos de ramificación y acotamiento.

Ahora, también podría ser deseable un método más robusto en su tiempo de solución sin importar qué tan grande es el conjunto de asignaturas candidatas. Para esto se requieren métodos de búsqueda dirigida que permitan encontrar una buena solución en tiempos de respuesta adecuados y soporten el proceso de selección de asignaturas de los estudiantes.

Modelo relajado

Este modelo podría resolverse con métodos de solución de programación entera. Debido a la linealidad de su función objetivo y el pequeño número de variables de decisión, es una excelente estrategia para abordar de manera eficiente y eficaz la solución del modelo asociado al proceso de selección de asignaturas.

Conclusiones

El proceso de selección de asignaturas para un estudiante que se beneficia con la flexibilidad curricular es un paso crítico dentro de su desarrollo cognitivo. Por ello muchas universidades han implementado diversas estrategias dirigidas a encaminar ese proceso de selección hacia un conjunto de asignaturas que asegure el bienestar del estudiante. Estas metodologías podrían no ser personalizadas u objetivas, por lo cual el desarrollo de una basada en el registro histórico de los estudiantes de cada programa académico puede aumentar el aprovechamiento del plan de estudios flexible.

El cálculo de la nota esperada para ser usada como parámetro de discriminación le permitirá al estudiante tomar decisiones más acertadas sobre su futuro académico, además de ser una prealerta que tiene el estudiante antes de empezar el semestre y que le permitirá concentrar sus esfuerzos en aquellos cursos que tienen un valor esperado más bajo.

Para la implementación de esta metodología es realmente importante capacitar a los consejeros académicos y estudiantes en el uso e interpretación de la información resultante de ella. Más importante aún es presentarla únicamente como herramienta de apoyo, que junto con el acompañamiento personalizado provisto por la universidad podría dar algunas pistas sobre el conjunto de asignaturas más apropiado para cada estudiante.

Trabajos futuros

Solución del modelo

Según algunas situaciones analizadas pertenecientes al plan de estudios del programa de Ingeniería Civil de Pontificia Universidad Javeriana Sede Bogotá, se concluyó que el número de asignaturas candidatas está entre 5 y 22, dependiendo del semestre que se

esté cursando y de las asignaturas complementarias y electivas que se pueda cursar. Como se mencionó anteriormente, el mapeo exhaustivo de opciones puede no ser un problema la mayoría de veces, pero podría requerir de un tiempo de ejecución que sobrepasa las expectativas funcionales de la herramienta para el público al que está dirigido. Más aún, el gran problema de obtener la solución única del modelo propuesto es que se podría ofrecer una única alternativa, que de una u otra forma podría viciar las convicciones de aprendizaje del estudiante. Por ello se sugiere la implementación de procesos metaheurísticos que permitan la generación de diversos conjuntos de asignaturas factibles con cambios mínimos en los valores de la función objetivo, ya que se debe recordar que los parámetros

del modelo son variables aleatorias que se verán afectadas por características propias del estudiante y del entorno.

Diversificación del modelo

Es necesaria la exploración de variables que sirvan como criterios discriminantes entre diferentes conjuntos de asignaturas, lo cual aumentaría la personalización de la metodología. Entre algunas de esas variables están:

- Dificultad relativa de la asignatura.
- Aporte global dentro del cumplimiento del plan de estudios, medido en el número de asignaturas pertenecientes a la ruta de la asignatura.

Referencias

- Babaioff, M., Immorlica, N., Kempe, D. & Kleinberg, R. (2007). A knapsack secretary problem with applications. In M. Charikar, K. Jansen, O. Reingold, & J. P. Rolim (Eds.), *Approximation, randomization, and combinatorial optimization. Algorithms and Techniques SE - 2* (Vol. 4627, pp. 16-28). Springer Berlin Heidelberg.
- Bretthauer, K. M. & Shetty, B. (2002). The nonlinear knapsack problem – algorithms and applications. *European Journal of Operational Research*, 138(3), pp. 459-472.
- D'Ambrosio, C. & Martello, S. (2011). Heuristic algorithms for the general nonlinear separable knapsack problem. *Computers & Operations Research*, 38(2), pp. 505-513.
- Kellerer, H., Pferschy, U., & Pisinger, D. (2004). *Knapsack Problems*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Martello, S., & Toth, P. (1990). *Knapsack problems: algorithms and computer implementations*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Montgomery, D. C. (2006). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & Sons.
- Pisinger, D. (2005). Where are the hard knapsack problems? *Computers & Operations Research*, 32(9), pp. 2271-2284.
- Restrepo, J. (2005). El sistema de créditos académicos en la perspectiva colombiana y Mercosur: aproximaciones al modelo europeo. *Revista de la Educación Superior*, XXXIV (3)(135), pp. 131-152.

Autores

Ricardo Fernando Otero Caicedo

Magíster en Ingeniería Industrial (Bogotá, Colombia, 2014) e Ingeniero Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá, Colombia, 2013). Profesor Temporal Pontificia Universidad Javeriana Departamento de Ingeniería Industrial. Calle 40 5-50. Bogotá (Colombia).
r.otero@javeriana.edu.co

Juan Pablo Caballero Villalobos

Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes (Bogotá, Colombia, 2005). Ingeniero Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá, Colombia, 1999). Profesor Asociado Pontificia Universidad Javeriana Departamento de Ingeniería Industrial. Calle 40 5-50. Bogotá (Colombia).
juan.caballero@javeriana.edu.co

Eliana María González Neira

Magíster en Ingeniería Industrial (Bogotá, Colombia, 2011) e Ingeniera Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá, Colombia,

2004). Profesor Instructor Pontificia Universidad Javeriana Departamento de Ingeniería Industrial. Calle 40 5-50. Bogotá (Colombia).
eliana.gonzalez@javeriana.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.