

Una mirada analítica de la administración de las actividades docentes una universidad y del uso de su infraestructura

Resumen/Abstract

Dos problemas claves para cualquier universidad son la programación de las actividades que se desarrollan en un semestre, cursos seminarios o tutoriales, así como la utilización de las salas de clases. En general, resolver estos problemas de forma manual implica un gasto enorme de recursos y tiempo, sin considerar que se obtienen programaciones de baja calidad con múltiples conflictos horarios e ineficiente en el uso de la infraestructura. Si consideramos que estos problemas deben ser resueltos de manera periódica, aumenta la necesidad de incorporar nuevos enfoques de solución que permita automatizar los procesos y que permitan a los directivos de estas unidades académicas tomar decisiones correctas y eficientes en el uso de los recursos.

Dentro de este contexto, este artículo presenta la experiencia de la implementación de un sistema de soporte a la toma de decisiones, llamado FENSkeder. Este sistema tiene como objetivo generar una programación de actividades y asignación de la infraestructura de manera óptima. La optimización se realiza mediante la resolución de un modelo basado en principios de la Investigación Operativa. Una de las funcionalidades que tiene este sistema es que permite interactuar directamente con el claustro de profesores, recogiendo en línea sus disponibilidades horarias para dictar los cursos. Con la implementación del sistema se obtuvieron múltiples beneficios para la organización, siendo posible mencionar por ejemplo: 1) disminuir los tiempos de ciclo del proceso; 2) mejorar la calidad de las programaciones horarias disminuyendo los errores humanos y conflictos horarios; 3) explorar y analizar múltiples escenarios de forma sencilla

mediante una interfaz amigable y; 4) disminuir la carga de trabajo de los planificadores permitiéndoles desarrollar otras tareas.

Palabras claves

Programación de actividades universitaria, gestión de infraestructura, sistema de soporte a la toma de decisiones

Introducción

Desde hace varias décadas que los sistemas computacionales han brindado apoyo a la administración de las universidades, siendo desarrollados para diversos objetivos, como por ejemplo: inscripción de estudiantes a cursos, gestión académica de cursos, gestión del personal y gestión financiera, entre otros. Con la implementación de estos sistemas ha sido posible lograr cierto nivel de eficiencia administrativa y operativa mejorando la agilidad organizacional [19].

Dentro de este contexto, un proceso esencial y recurrente en las universidades es aquel que genera la programación horaria de las actividades, como por ejemplo los cursos que en ella se imparten y las salas de clases que son necesarias. En su forma más simple, la programación horaria asigna cada actividad a un bloque horario y a una sala de clases, teniendo que satisfacer una serie de requerimientos y condiciones, necesarias para el normal funcionamiento de la universidad [20]. De éstas últimas, es posible mencionar por ejemplo: tamaños y tipos de sala de clase, disponibilidad horaria de los profesores y no tener conflictos horarios de cursos que un mismo grupo de estudiantes debe cursar simultáneamente en un periodo académico. Si consideramos que la programación horaria debe obedecer a múltiples objetivos que tienen los directivos de las unidades académicas, hacen de la programación de actividades y la asignación de infraestructura un problema intelectualmente interesante de resolver.

Cuando se analiza la naturaleza combinatorial que tiene este problema, cuya complejidad computacional aumenta exponencialmente con el número de actividades a programar [14,15,18], resulta natural pensar que los enfoques manuales, basados en la prueba y error son ineficientes en universidades de mayor tamaño [12]. Cabe destacar que a la hora de resolver este tipo de problema en aplicaciones reales, no sólo se debe considerar la complejidad computacional del problema, sino además, se deben considerar una serie de factores interconectados que varían en el tiempo y que no se conocen con certeza como por ejemplo: los pronósticos de la demanda de actividades, los cambios en la disponibilidad horaria de los profesores, modificaciones en los requisitos de los cursos o la creación de nuevos cursos, programas de estudio y actividades estudiantiles.

Otro aspecto importante dentro de este análisis se relaciona a la incertidumbre en que están inmersas las decisiones asociadas a la programación de cursos. En principio, se debe estimar para cada curso de una malla cuántos estudiantes se inscribirán y, por ende, determinar cuántas secciones se realizarán y de qué tamaño. Esta decisión es de carácter estratégico, ya que si son mal tomadas afectan negativa y transversalmente a toda la institución educativa. Otro factor relevante dentro de este análisis es la disponibilidad de la infraestructura y su equipamiento. Los requerimientos de los cursos no son homogéneos y, por tanto, los tipos de salas de clase deben adecuarse a cada necesidad. Por ejemplo, pueden existir cursos en que cada sesión tengan que utilizar un tipo de sala de clase distinto, lo que dificulta la programación de cursos. Cuando la programación de cursos posee errores en este ámbito no habrá espacio disponible para programar ciertos cursos, lo que puede derivar en el arriendo de salas de clase externas, la programación de cursos en salas de clase no adecuadas, utilizar módulos horarios no deseados, o que los cursos centrales no se dicten por especialistas. Estas situaciones, como es evidente, provocarán un

descontento general en los estudiantes, los profesores y directivos, afectando negativamente la imagen de estas entidades educativas.

Dentro de este contexto, en este artículo se presentan una mirada analítica para la administración de una universidad: la programación de horarios y salas de clase dada una predicción de demanda de estudiantes de cada curso. Además, se describe brevemente un sistema de soporte que apoya las decisiones de programación de cursos y asignación de infraestructura llamado FENSkeduler. Este sistema incorpora modelos de optimización que incluyen los objetivos y condiciones obligatorias y deseables de los directivos de la Facultad de Economía y Negocios de la Universidad de Chile.

Revisión de literatura

Los sistemas de soporte a la toma de decisiones basados en modelos analíticos han apoyado diferentes problemas por más de dos décadas [1]. Dentro de este ámbito, entre los enfoques de solución más utilizados están los que introducen modelos de programación matemática basados en programación lineal entera. El trabajo de Werra [4] es considerado uno de los trabajos seminales dentro de esta área. En este trabajo se analiza de manera teórica una serie de problemas de optimización como la programación de cursos, de exámenes y de estudiantes a cursos [2,3,5,13,16]. Estos modelos sirvieron de inspiración de varios software que resuelven este tipo de problemas.

En 1989, Chantal y de Werra [1] desarrollan un sistema computacional para el problema de programación horaria en una escuela de educación para adultos. Mientras que en 1993, Jonhson [10] implementa un sistema computacional para la *Loughborough University Business School*. Este sistema incorpora un manejo eficiente en la información de los cursos mediante diferentes consultas a una base de datos. Uno de los principales beneficios dentro de esta institución educativa es la mayor estandarización del proceso que fue automatizado completamente. En nuestro caso,

también conseguimos beneficios similares al estructurar y automatizar parcialmente el proceso y al manejar eficientemente la información mediante una base de datos.

Stallaert [20] desarrolla un sistema computacional para la programación horaria de la *UCLA's Anderson School of Management*. El sistema realiza la programación en dos etapas, asignado primero los cursos core de cada malla curricular y, luego programa los demás cursos. El sistema tiene la facilidad de realizar diferentes programaciones de los cursos core, de acuerdo a diferentes criterios. Esto permite hacer un análisis de sensibilidad y seleccionar una buena programación para los cursos core, lo que luego resulta en una mejor programación horaria. Adicionalmente, presenta funcionalidades de manejo de información y generación de reportes que facilitan los posteriores ajustes que se deban realizar.

SlotManager [7] es uno de los primeros sistemas que utiliza la arquitectura con tres componentes: interfaces, bases de datos y un modelo de optimización. Hubo un trabajo interesante en el trabajo de la interfaz pues es amigable para el usuario y permite funcionalidades para el manejo de la información de los estudiantes, información de las salas de clase disponibles y caracterizaciones de los cursos que se dictan.

Otro sistema computacional llamado *eClasScheduler* [12] fue diseñado para programar los cursos que imparte la unidad de educación ejecutiva de la Universidad de Chile. En este caso el problema resuelto presenta diferencias sustanciales respecto de los mostrados anteriormente en donde se programa una semana tipo, acá se deben programar todas las semanas de clases simultáneamente. Los beneficios reportados por el uso de este sistema son la reducción de los costos de arrendamiento, disminución de los conflictos horarios y un uso eficiente de las salas de clase.

Objetivos

Los tres principales objetivos que busca este trabajo son; i) conseguir alinear la programación de actividades de las tres carreras de Pregrado de la Universidad de Chile a los objetivos estratégicos de la Facultad, entre los que se pueden mencionar, promover el registro cruzado entre las Escuelas de Pregrado y la Escuela de Posgrado por medio de sus magister de continuidad. Es así como los cursos de la Escuela de Posgrado se han incorporado a la programación docente integrada entre ambas Escuelas de esta forma los estudiantes de Pregrado pueden inscribir cursos electivos de último año los cuales son ofrecidos por la Escuela de Posgrado. Con lo anterior, podemos realizar una programación docente integrada entre ambas Escuelas y así optimizar los recursos de infraestructura, docente y financieros de la Facultad.; ii) sistematizar los procesos los cuales se realizaban en base a la experiencia, de forma secuencial y manual, programando primero los horarios de los cursos para luego realizar la asignación de salas de clase. Además se debe considerar el constante aumento de los estudiantes de Pregrado en la FEN, el manejo de los procesos de negocios se han complejizado, lo que hace muy costoso generar programaciones docentes eficientes, trabajando de manera manual.; iii) dejar el conocimiento de todos los procesos de negocios que conforman la programación docente al interior de nuestra organización, sin depender de las distintas personas que componen la Secretaría de Estudios.

Metodología

Los enfoques analíticos más utilizados se basan en modelos de programación lineal entera. Este tipo de enfoque asigna a cada curso a un horario y una sala de clase. Por ejemplo, si asignamos un curso c al patrón (lunes.1 - jueves.2, H-302) implica que el curso c dictará sus sesiones los días lunes y jueves en el bloque horario 1 utilizando la sala de clases H-302 para ambas clases. De acuerdo con lo anterior, para cada curso c existe un conjunto de patrones factibles del conjunto

total de patrones existentes. Para que un patrón sea factible para un curso, éste debe cumplir una serie de condiciones como por ejemplo que el profesor que dicta el curso tenga disponibilidad horaria o que el número de estudiantes inscritos sea menor o igual que la capacidad de la sala de clase.

Este tipo de modelo puede contemplar la optimización de una serie de objetivos que puede perseguir una unidad académica sujeto a una serie de condiciones obligatorias y deseables. En general, estos modelos poseen la siguiente estructura:

$$\text{Minimizar}(\text{Maximizar}) F(x)$$

$$\text{s. a. } Ax \leq b$$

Ecuación 1

La función objetivo $F(x)$ puede contemplar uno o más términos que reflejan los diferentes intereses de la unidad académica. Por ejemplo se podría considerar: 1) minimizar el uso de un cierto tipo de sala de clase (ej. Auditorios); 2) se podría minimizar el uso de horarios no deseados (ej. Viernes a las 18:00 hrs.); 3) se podría minimizar el número total de conflictos horarios entre cursos de un mismo semestre o de semestres continuos; 4) minimizar el número total de salas de clase utilizadas por la programación de cursos; o 5) minimizar las ventanas horarias, entre otros objetivos.

Respecto de las condiciones obligatorias y deseables definidas por la expresión $Ax \leq b$ se pueden mencionar por ejemplo; 1) no permitir topes horarios entre cursos dictado por un mismo profesor; 2) no utilizar una sala de clase con más de un curso a la vez; 3) no permitir los conflictos horarios entre cursos que según la malla curricular se deben tomar simultáneamente por un mismo grupo de estudiantes. Es importante destacar que evitar completamente todos los conflictos horarios es una tarea muchas veces imposible de realizar en la práctica. Por esta razón, en general se busca minimizar el número total de conflictos.

Es importante mencionar, que luego de muchos análisis se logró llegar a las denominadas “Rutas” las que se determinan por las tres condiciones más importantes para la programación docente de FEN, las cuales se les asigna, semestre a semestre, una importancia relativa lo que hace que se vuelva un sistema flexible para el logro de los distintos objetivos de mediano y corto plazo. *Las rutas uno* son aquellos cursos los cuales se minimizan sus conflictos horarios dado que se encuentran en el mismo semestre, *las rutas dos* son aquellos cursos los cuales se minimizan sus conflictos horarios dado que se encuentran un semestre atrás y un semestre en adelante, mientras que *las rutas tres* son aquellos cursos en los cuales se minimizan los conflictos horarios dado que tienen un número histórico, determinado semestre a semestre, de estudiantes que realizan estos cursos el mismo semestre. Finalmente, el módulo de optimización contiene el código del modelo de programación lineal entera. Para resolver este modelo se utilizó el solver CPLEX [9].

Resultados

Uno de los principales beneficios del uso de sistemas de soporte para la toma de decisiones basados en modelos de optimización es la eficiencia operativa. Esta eficiencia está relacionada al mejor uso de la infraestructura y al cumplimiento de las condiciones obligatorias que debe cumplir la programación de horarios.

En la FEN, el número total de estudiantes ha crecido sostenidamente en el tiempo, lo que permite intuir que exista un aumento sistemático de la demanda por espacio. Sin embargo, ha sido posible gestionar estos aumentos de demanda manteniendo constante en el número de salas de clase. La ilustración 1 muestra la evolución del número de secciones programadas (31%) y el número de estudiantes (23%) respecto del número total de salas de clase entre los períodos 2009 al 2012. Se observa que el número total de salas de clase se ha mantenido prácticamente constante en los últimos 3 años.

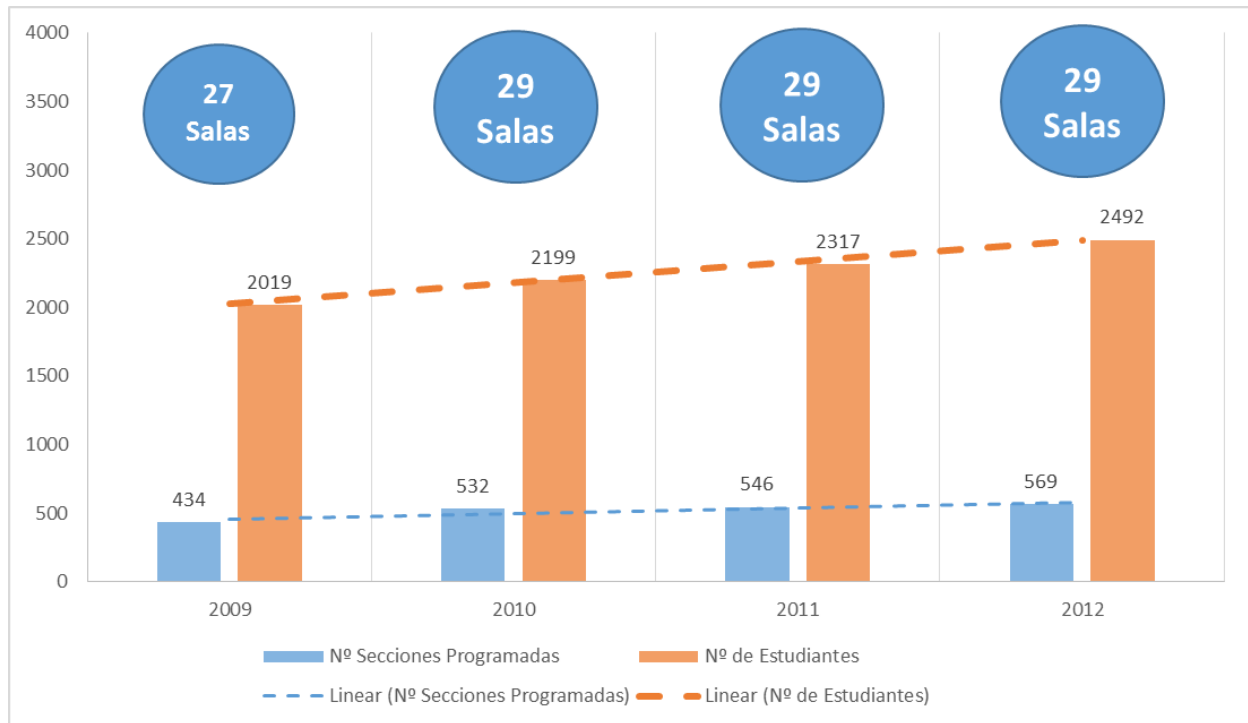


Ilustración 1: Número de secciones programadas, número de estudiantes y número de salas disponibles con respecto del tiempo.

Otro indicador que también muestra beneficios de eficiencia operativa es el número de ajustes manuales que debe realizar la Secretaría de Estudios a las inscripciones de cursos de los estudiantes después de la publicación de los resultados de la inscripción de cursos. Por ejemplo, en el año 2008 el número total de inscripciones de cursos en el semestre de primavera fue de 43.052, mientras que en el semestre primavera del 2012 pasa a 57.106 inscripciones, es decir, existe un aumento de un 32%. Sin embargo, entre este mismo período el número total de ajustes manuales se ha mantenido sin aumentos significativos. Este resultado permite intuir que con el uso de modelos de optimización el número de conflictos horarios disminuye y, por tanto, el número de ajustes manuales se mantiene constante. La Figura 8 muestra el crecimiento sostenido que ha experimentado el número total de inscripciones de cursos. Además, se muestra el porcentaje de ajustes manuales el cual bordea un 8% en promedio.

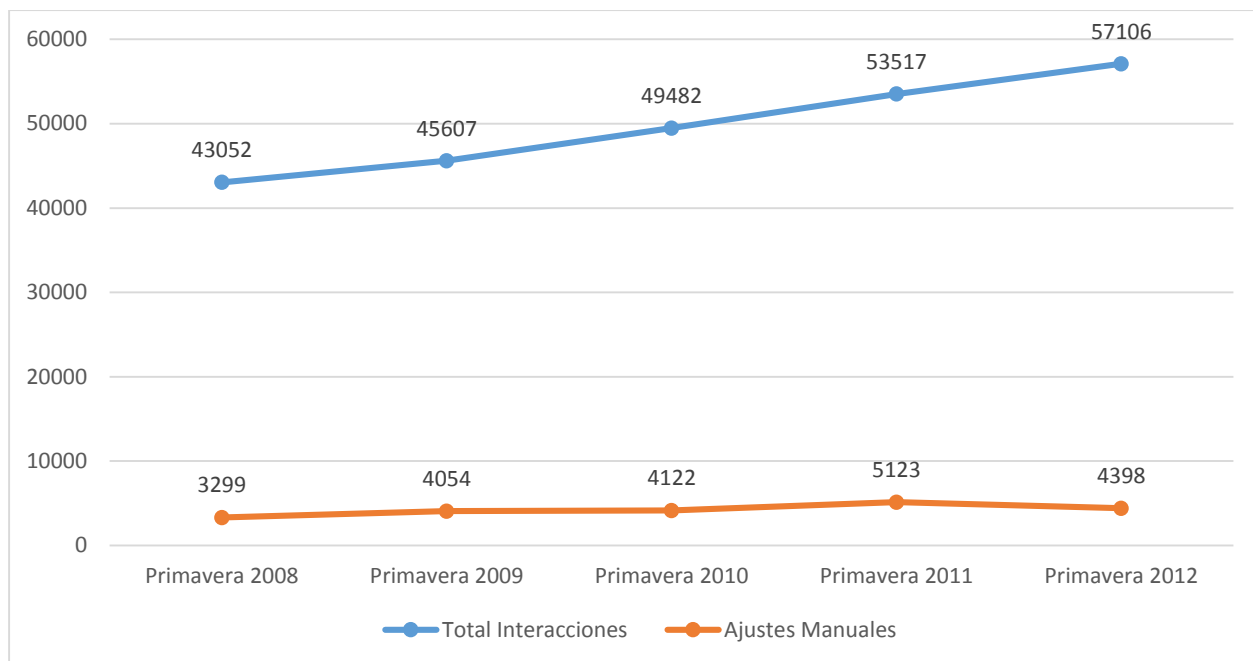


Ilustración 2 Número total de inscripciones de cursos respecto del porcentaje de modificaciones manuales de la inscripción de estudiantes.

Además de los beneficios operativos para los estudiantes generados por la minimización de los conflictos horarios, se han incorporado objetivos que buscan beneficiar a los profesores. Por ejemplo, uno de los objetivos incorporados en la programación de horarios busca mantener la misma sala de clase cuando un profesor tiene programados sus cursos en bloques horarios seguidos. Esta condición persigue que un profesor no recorra largas distancias en los cortos breaks entre cada clase. La Tabla 1 muestra que en el semestre primavera 2008 de un total de 37 profesores que tenían cursos programados en bloques seguidos, solo el 68% fue asignado a una misma sala de clase, mientras que en semestre primavera 2011 de un total de 56 profesores en esta situación, el 82% fue posible mantener la sala de clase con la programación generada por FENSkeder. Cabe destacar que estas programaciones se realizaron con la misma cantidad de salas y considerando un aumento de un 23% de eventos a programar (393 el primavera 2008 a 485 el primavera 2011).

	Sin FENSKEDULER Primavera 2008	Con FENSKEDULER Primavera 2011
Cumple condición	25 (68%)	46 (82%)
No cumple condición	12 (32%)	10 (18%)
Total	37	56

Tabla 1 Comparación del número de cursos-sección en bloques horarios continuos.

Un aspecto fundamental para la obtención de los resultados mencionados anteriormente, es la incorporación de un modelo analítico para pronosticar la demanda de cursos-sección de un semestre particular. Este modelo ha permitido disminuir considerablemente el número de cancelaciones de cursos y, por ende, disminuir el costo de oportunidad generado a los profesores. La Tabla 2 muestra el número de cursos pronosticados, el número de cursos cancelados y los cursos que finalmente se dictaron en el tiempo. Se observa que el error del modelo de pronóstico no supera el 2% cancelando en promedio 6 secciones en total por semestre.

	2009-2	2010-1	2010-2	2011-1	2011-2	2012-1	2012-2
Pronóstico de cursos	240	282	268	304	291	323	284
Cursos cancelados	3	3	6	4	11	3	9
Cursos reales	234	279	253	283	263	304	265
Error del pronóstico	1,3%	1,1%	2,2%	1,3%	3,8%	0,9%	3,2%

Tabla 2 Cantidad de cursos-sección proyectados y errores de los pronósticos de cursos.

Discusión

Con el crecimiento que se puede observar en las dos últimas décadas en la educación universitaria en nuestro país, se hace primordial profesionalizar y automatizar los procesos de negocios core de las de las instituciones de educación superior. Más aún, luego de los anuncios de gratuidad del gobierno, y considerando que los ingresos de las instituciones de educación superior se podrían ver afectados, por lo que de alguna manera se deberá hacer frente a los cambios que presenta la industria. Los procesos de negocios core no se deben tercerizar, menos aún, incorporando sistemas

poco flexibles y que no se encuentren alineados con los objetivos estratégicos de cada organización. De lo contrario no se logrará la eficiencia que la industria exige para mantener el nivel de servicio que entregan las considerando los escenarios actuales y los que se deberán enfrentar en el mediano plazo.

Nuestros resultados evidencian que el paso de un proceso manual y secuencial a una sistematización de los procesos, alineados a los objetivos de mediano plazo de nuestra facultad ha permitido aumentar el número de las matrículas sin la necesidad de aumentar significativamente la infraestructura de nuestra facultad.

Finalmente, como desafío consideramos que se debe volver a pensar el proceso de estimación de la demanda el cual no debe ser obtenido, únicamente, con información histórica como lo realizamos actualmente. Este trabajo no se ha realizado dado que el año 2013, se realizaron procesos de reforma curricular en las tres carreras lo que ha generado que la información disponible en nuestras bases de datos posea sesgos y los patrones que se puedan observar en la inscripción de cursos no sean del todo fiable.

Conclusiones

Los sistemas que dan soporte a las decisiones asociadas a la programación de actividades permiten hacer un uso eficiente de la infraestructura. Además, con este tipo de tecnología es posible gestionar los aumentos en el número de matrículas, sin necesariamente aumentar el número de salas de clase existentes. Si consideramos que este tipo de sistema permite almacenar, consolidar y administrar la información, así como automatizar los procesos claves, es posible evitar los errores humanos y ser eficiente en el uso de los recursos escasos.

Es importante mencionar que este tipo de tecnología permite transparentar los procesos y levantar información relevante que se encuentra oculta dentro de la organización. Esta información permite a los directivos tomar decisiones de mejor calidad y disponer de manera precisa el uso real de la infraestructura, siendo posible realizar las tareas propias del proceso independientemente de las personas que los ejecutan. Por tanto, es posible mantener el conocimiento y la experiencia dentro de la organización, así como disminuir los tiempos de aprendizaje frente a cambios en la conformación de los equipos trabajo.

Finalmente, podemos concluir que las soluciones sofisticadas para la gestión docente basadas en sistemas de información y modelos analíticos no nacen por si solas. Es más, éstas nacen por las necesidades de organizaciones complejas, las cuales necesitan tomar periódicamente decisiones en ambientes dinámicos y con alta incertidumbre. Es claro, que las soluciones sofisticadas permiten alinear los objetivos de los distintos estamentos académicos: directivos, profesores y estudiantes, encontrando óptimos globales para las distintas unidades académicas que conforman una universidad.

Referencias bibliográficas

- [1] N. Chantal, D. de Werra, An interactive system for constructing timetables on a PC, *Eur. J. Oper. Res.* 40 (1989) 32–37.
- [2] S. Daskalaki, T. Birbas, Efficient solutions for a university timetabling problem through integer programming, *Eur. J. Oper. Res.* 160 (2005) 106–120.
- [3] S. Daskalaki, T. Birbas, E. Housos, An integer programming formulation for a case study in university timetabling, *Eur. J. Oper. Res.* 153 (2004) 117–135.
- [4] D. de Werra, An introduction to timetabling, *Eur. J. Oper. Res.* 19 (1985) 151–162.
- [5] M. Dimopoulou, P. Miliotis, Implementation of a university course and examination timetabling system, *Eur. J. Oper. Res.* 130 (2001) 202–213.
- [6] J. A. Ferland, C. Fleurent, SAPHIR: A decision support system for course scheduling, *Interfaces* 24 (1994) 105–115.
- [7] L. R. Foulds, D. G. Jonhson, SlotManager: A microcomputerbased decision support system for university timetabling, *Decision Support Systems* 27 (2000) 367–381.

- [8] T. R. Hinkin, G. M. Thompson, SchedulExpert: Scheduling courses in the Cornell University School of Hotel Administration, *Interfaces* 32 (2002) 45–57.
- [9] IBM ILOG CPLEX Optimization Studio web page, url: <http://www-01.ibm.com/software/integration/optimization/cplex-optimization-studio> (accessed: 19-07-2013).
- [10] D. Johnson, A database approach to course timetabling, *J. Oper. Res. Soc.* 44 (1993) 425–433.
- [11] T. P. Liang, C. C. Lee, E. Turban, Model management and solvers for decision support, in: F. Burstein, C. Holsapple (Eds.), *Handbook on Decision Support Systems Vol. 1*, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 2008, pp. 231–258.
- [12] J. Miranda, eClasSkeduler: A Course Scheduling System *Interfaces*, *Interfaces*, 40 (2010), pp196-207.
- [13] S. A. MirHassani, A computational approach to enhancing course timetabling with integer programming, *Appl. Math. Comput.* 175 (2006) 814–822.
- [14] E.L. Mooney, R. L. Rardin, W. J. Parmenter, Large-scale classroom scheduling, *IIE Trans.* 28 (1996) 369–378.
- [15] P. Pongcharoen, W. Promtet, P. Yenradee, C. Hicks, Stochastic optimisation timetabling tool for university course scheduling, *Internat. J. Production Econom.* 112 (2008) 903–918.
- [16] A. Qualizza, P. Serafini, A Column Generation Scheme for Faculty, in: E. Burke and M. Trick (Eds.), *PATAT 2004, LNCS Vol. 3616*, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 2005, pp. 161–173.
- [17] G. R.Reeves, E. P. Hickman, Assigning MBA students to field study project teams: A multicriteria approach, *Interfaces* 22 (1992) 52–58.
- [18] A. Schaerf, Local search techniques for high-school timetabling problems. *IEEE Trans. Systems Man Cybernetics* 29 (1999) 368–377.
- [19] D. B. Seo, A. I. La Paz, Exploring the dark side of IS in achieving organizational agility, *Communications of the ACM* 51 (2008) 136–139.
- [20] J. Stallaert, J. 1997. Automated timetabling improves course scheduling at UCLA, *Interfaces* 27 (1997) 67–81.
- [21] D. Teodorovic, E. Krcmar-Nožic, Multicriteria model to determine flight frequencies on an airline network under competitive conditions, *Transportation Sci.* 21 (1989) 14–25.
- [22] R.M. Saltzman and T.M. Roeder, Simulating student flow through a college of business for policy and structural change analysis, *Journal of the Operational Research Society* 63 (2012)511-523
- [23] B. Ram and S. Sarin and A. Mallik, A methodology for projecting course demands in academic programs, *Computers Ind. Engng.*, 12 (1987) 99-103.
- [24] S.M. Chena and C.-C. Hsub, A New Method to Forecast Enrollments Using Fuzzy Time Series, *Int. J. Appl. Sci. Eng.*, 23 (2004) 234-244.
- [25] E.W. Bessent and A.M. Bessent, Student Flow in a University Department: Results of a Markov Analysis 10 (1980) 52-59.