

Estudio de diferentes conceptos de balance en modelos BACP

José Antonio Aguilar Solís

Departamento de Ingeniería y Tecnologías de Información
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Puebla, Puebla, México

José Luis Martínez Flores

Centro Interdisciplinario de Posgrados, Investigación y Consultoría
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Puebla, Puebla, México

Resumen: El plan de estudios es un producto resultante del proceso de un diseño curricular, donde se definen la ubicación de las asignaturas y la carga académica a cursar por cada periodo. Este problema, denominado de balance curricular – o BACP – ha sido considerado y tratado como un problema de optimización, donde la ubicación de cada asignatura en cada periodo depende de un conjunto de restricciones relativas a niveles de cargas deseados y relaciones de prerrequisitos. En el BACP, las asignaturas deben ubicarse de forma tal que la carga académica del plan curricular esté lo más balanceada posible. Sin embargo, existen diversas interpretaciones para la idea de balance, donde cada una de estas interpretaciones puede expresarse como un criterio de distribución de cursos. En este artículo se parte de un modelo BACP de programación lineal entera desarrollado previamente; después, de acuerdo a cada uno de los diferentes conceptos de balance, se genera una propuesta de modelo; finalmente, los modelos propuestos se evalúan para determinar cuál de éstos es el mejor – en tiempos al óptimo y calidad de solución – para el BACP. Esta evaluación se realiza sobre un conjunto de planes de licenciatura de una institución de educación superior.

Abstract: A study plan is an output of a curricular design process. The study plan – or curricula – shows the location of courses and the academic load to study for each period. This problem, known as balanced academic curriculum problem – BACP – has been considered and treated as an optimization problem, where the location of each course in a certain period depends of a set of constraints, which depends of desired academic load and prerequisites relations. The courses should be located in such way that the academic load of the study plan should be balanced as much as possible. However, several quantitative

expressions exist to show different concepts of balance. In this article, a BACP integer linear programming model previously developed is used as model base and, analyzing the idea of balance, a group of balance concept proposals are explored. These concepts of balance are expressed as objective functions, and they are evaluated in BACP models to determine which alternative is the best for the balance curricular problem. A set of higher education study plans is used for this evaluation.

Keywords: Integer linear programming, Modeling, Application, Balanced Academic Curriculum Problem

Introducción

El diseño curricular, en los niveles de educación superior, trata de un conjunto de procesos que buscan desarrollar profesionistas que respondan a las necesidades del país. Especifica fines, objetivos y metas para lograr una planeación educativa válida y útil. La distribución de asignaturas, llamado plan de estudios o plan curricular, es un producto resultante del proceso de un diseño curricular. En éste se ven reflejadas las asignaturas a cursar así como la carga académica por cada periodo. Así, la estructura de un plan de estudios debe ser específica, donde esta especificación puede recaer en un comité avalado por los maestros, como parte de la tarea o responsabilidad del claustro docente, o una mezcla de ambos [1].

Un factor importante para tener en cuenta al evaluar el éxito académico de los estudiantes es la carga académica que tienen en cada periodo. Ésta es usualmente dada por la suma de los créditos de cada curso en el periodo. Generalmente, algunas restricciones explícitas se imponen al desarrollar un plan de estudios. Se asume, que una buena distribución

de la carga favorece los hábitos académicos y facilita el éxito de los estudiantes [2].

Así, al diseñar el plan de estudio es deseable que éste deba tener, aparte de las herramientas pedagógicas que lleve a quien lo cursa obtener el perfil deseado, que la carga o distribución académica esté balanceada lo mejor posible.

El problema de balance curricular

El problema de balance curricular, denominado BACP por sus siglas en inglés – Balanced Academic Curricular Problem – [3], ha sido considerado como un problema de optimización, donde la ubicación de cada asignatura en un periodo determinado depende de un conjunto de restricciones relativas en general al número de periodos, el número de asignaturas por periodo, la carga académica por periodo, las relaciones de prerrequisitos entre asignaturas y la ubicación preliminar de ciertas asignaturas. Todas estas restricciones pueden definirse de manera más clara con respecto a la definición de la función objetivo, donde conceptualmente se desea que la carga académica de un plan curricular esté lo más balanceada posible.

Para este trabajo, el modelo sobre el se que parte es el propuesto en [4], que se muestra a continuación:

Parámetros:

Nta	número total de asignaturas o cursos.
Ntp	número total de periodos académicos.
mca_j	mínima carga académica permitida por periodo.
Mca_j	máxima carga académica permitida por periodo.
mna_j	mínimo número de cursos por periodo.
Mna_j	máximo número de cursos por periodo.
crd_i	número de créditos de la asignatura.

Variables de decisión:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el curso } i \text{ es asignado al periodo } j \\ 0 & \text{de otra manera} \end{cases}$$

$$\forall i = 1, \dots, Nta \quad \forall j = 1, \dots, Ntp$$

Función objetivo: Minimizar el rango entre carga máxima y carga mínima.

$$\min\{Cmx - Cmn\} \quad (1)$$

Restricciones:

Definición de la carga máxima.

$$\sum_{i=1}^{Nta} crd_i * x_{ij} \leq Cmx \quad (2)$$

Definición de la carga mínima.

$$\sum_{i=1}^{Nta} crd_i * x_{ij} \geq Cmn \quad (3)$$

Mínima y máxima carga académica por periodo.

$$mca_j \leq \sum_{i=1}^{Nta} crd_j * x_{ij} \leq Mca_j \quad (4)$$

Mínimo y máximo número de cursos por periodo.

$$mna_j \leq \sum_{i=1}^{Nta} x_{ij} \leq Mna_j \quad (5)$$

Asignación de curso i a algún periodo j .

$$\sum_{j=1}^{Ntp} x_{ij} = 1 \quad (6)$$

Rango de ubicación deseada del curso c , entre el periodo mpc_c y el Mpc_c .

$$\sum_{j=mpc_c}^{Mpc_c} x_{cj} = 1 \quad (7)$$

Si el curso b tiene al curso a como prerrequisito.

$$\sum_{j=1}^{Ntp} j * x_{bj} - \sum_{j=1}^{Ntp} j * x_{aj} \geq 1 \quad (8)$$

El concepto de balance

Si bien la idea de balance o equilibrio es hasta cierto punto intuitiva, se pueden tomar diversas interpretaciones para representarla de manera cuantitativa. En el caso específico que se aborda en este trabajo se partirá del modelo base descrito y se exploran varias propuestas, expresando cada una de éstas en funciones objetivo alternativas para el modelo de balance curricular.

Alternativas de función objetivo de balance

Las propuestas de balance que se exploran en este trabajo son las siguientes, donde todas las funciones objetivo son de minimización:

- Criterio minimax: es un criterio que ha sido ampliamente abordado en la literatura de BACP ([2], [3], [5] y [6]). Es de la forma

$$\min \{ \max \{ C_1, \dots, C_{N_{tp}} \} \} \quad (9)$$

Como la carga total de asignaturas es constante, el reducir la carga mayor *empujará* a la carga de los periodos a igualarse en lo posible.

- Rango de cargas académicas [4]: es el criterio del modelo base de este trabajo. Toma como función objetivo la minimización del rango de cargas académicas, de la forma

$$\min \{ C_{mx} - C_{mn} \} \quad (1)$$

- Máxima diferencia con respecto a la media: en [7] se maneja como alternativa de balance la diferencia máxima entre cada carga y la carga media. Así, el balance estaría dado por

$$\min \{ \max \{ |C_1 - \mu|, \dots, |C_{N_{tp}} - \mu| \} \} \quad (10)$$

donde μ es la carga media por periodo.

- Diferencia absoluta con respecto a la media: en este trabajo se incluye una propuesta de balance, cuya expresión es de la forma

$$\min \{ \sum |C_j - \mu| \} \quad (11)$$

donde C_j es la carga académica del periodo j y μ la carga media por periodo.

En la Tabla 1 se tiene la denominación de los diversos modelos de BACP, de acuerdo con las diferentes propuestas de balance.

Tabla 1: Modelos BACP según criterios de balance

Criterio de balance	Modelo BACP
Minimax	BACP-1
Rango de cargas	BACP-2
Máxima diferencia	BACP-3
Diferencia absoluta	BACP-4

Aplicación a planes de estudio

Para llevar a cabo el análisis de los diferentes modelos BACP, se tomó un conjunto de cinco planes de estudio como muestra, pertenecientes a la rama de ingeniería de una institución de educación superior: Ingeniería en

Agronomía, Ingeniería Civil, Ingeniería en Manufactura de Autopartes, Ingeniería Industrial, e Ingeniería Química. Para estas licenciaturas se realizó un proceso de diseño curricular, que culminó en planes de estudios vigentes a partir del mes de agosto del 2007. El código de identificación para estos planes es el siguiente: lag, lci, lma, lnd e lqm, respectivamente.

En la Tabla 2 se muestran las características generales de cada plan de estudios. Todos son planes de 9 periodos.

Tabla 2: Características generales de los planes de muestra

Código	Total de cursos	Total de créditos	Total de relaciones de prerequisite
lag	62	361	19
lci	61	488	48
lma	61	395	48
lnd	61	376	47
lqm	60	402	53

En las Tablas 3 y 4 se muestran las dimensiones – en términos del número de variables y restricciones – de los modelos BACP resultantes para cada plan de estudios.

Tabla 3: Número de variables de los modelos BACP

	Número de variables (variables enteras, total de variables)			
	BACP-1	BACP-2	BACP-3	BACP-4
lag	558, 559	558,560	558,577	558,576
lci	549, 550	549,551	549,568	549,567
lma	549,550	549,551	549,568	549,567
lnd	549,550	549,551	549,568	549,567
lqm	540,541	540,542	540,559	540,558

Tabla 4: Número de ecuaciones de los modelos BACP

	Número de ecuaciones (función objetivo+restricciones)			
	BACP-1	BACP-2	BACP-3	BACP-4
lag	139	148	157	139
lci	170	179	188	170
lma	178	187	196	178
lnd	175	184	193	175
lqm	174	183	192	174

Resultados

El software utilizado en los modelos de programación lineal entera resultantes fue HyperLingo, de Lindo Systems Inc. [8], para encontrar las soluciones.

Iteraciones y tiempos al óptimo: A continuación se presentan, en las tablas 5 y 6, los concentrados de número de iteraciones al óptimo y tiempo para alcanzar el óptimo de los modelos BACP-1 a BACP-4 de cada uno de los planes.

Tabla 5: Concentrado de iteraciones BACP-1 a BACP-4

	Número promedio de iteraciones al óptimo			
	BACP-1	BACP-2	BACP-3	BACP-4
Ici	18,680*	167,778*	**	109,770
lag	48,228	1,570,205*	**	154,613
lma	12,712	19,175	650	15,230
Ind	**	**	773	26,004
lqm	575	673,832	2,246	32,209

Tabla 6: Concentrado de tiempos BACP-1 a BACP-4

	Tiempo promedio al óptimo (segundos)			
	BACP-1	BACP-2	BACP-3	BACP-4
Ici	4.1*	28.0*	**	22.9
lag	8.6	486.5*	**	28.6
lma	3.3	4.1	0.3	3.7
Ind	**	**	0.9	6.3
lqm	0.6	177.1	0.8	6.9

El asterisco indica que la solución óptima no siempre se alcanzó en un tiempo menor a 1 hora. El doble asterisco significa que la solución óptima no se alcanzó nunca en un tiempo menor a 1 hora.

Evaluación cruzada: Otro aspecto a considerar está también en la *calidad de la solución*, en términos de la evaluación de la solución de cada propuesta con respecto al valor de función objetivo de las demás. Así, para establecer la calidad de la solución, los resultados de cada modelo se evaluaron sobre todos los criterios de balance establecidos en este trabajo. Así, el modelo con la mejor calidad sería aquel que es el mejor en todos, o varios, de estos criterios.

Las Tablas 7 y 8 muestran el concentrado de esta evaluación cruzada, tanto de valores promedio como de medianas de los valores de función objetivo de los planes.

Tabla 7: Concentrado de valores cruzados – promedios

	Promedios			
	BACP-1	BACP-2	BACP-3	BACP-4
Ici	12.29	12.29	**	12.29
lag	10.87	9.11	**	9.11
lma	52.87	51.71	107.18	56.11
Ind	**	**	56.80	40.58
lqm	20.93	20.93	34.00	19.07

Tabla 8: Concentrado de valores cruzados – medianas

	Medianas			
	BACP-1	BACP-2	BACP-3	BACP-4
Ici	1.56	1.56	**	1.56
lag	4.89	1.00	**	1.00
lma	25.56	23.78	47.11	23.78
Ind	**	**	28.67	19.56
lqm	14.00	14.00	23.33	10.67

La ausencia de resultados óptimos está indicada con un doble asterisco.

Interpretación de resultados

De acuerdo con los resultados, se tiene que:

- Los modelos BACP-1 poseen en general un alto desempeño y una buena calidad. Sin embargo, en casos como en el plan con código Ind no se llegó al óptimo en un periodo razonable.
- Los modelos BACP-2 en general tienen un pobre desempeño, aunque en algunos casos ofrece una buena calidad. En el plan con código Ind no se llegó al óptimo en un periodo razonable.
- Los modelos BACP-3 en general tienen un desempeño pobre o no alcanzaron resultados óptimos. Asimismo, la calidad de sus soluciones no es buena.
- En cuanto a BACP-4, su desempeño dentro de los planes va de regular a bueno, ubicándose ligeramente por debajo de BACP-1. Sin embargo, ofrece en general la mejor calidad de solución. Este modelo arrojó siempre soluciones óptimas en tiempos menores a 1 hora.

De acuerdo a los resultados comparativos, se considera entonces al modelo BACP-4 como la mejor propuesta para este conjunto de planes de estudio.

Vale la pena recalcar que aunque el modelo BACP-1 es de menor dimensión que el modelo BACP-4, éste último supera esa relativa desventaja con una mejor calidad de solución.

Conclusiones y extensiones

Un plan de estudios, al ser un elemento tangible de un proceso de diseño curricular, debe ser atractivo y útil no solamente desde el punto de vista pedagógico, sino también económico y funcional. Por tanto, conviene que la carga académica esté adecuadamente distribuida para que el alumno no resienta – en términos económicos o de esfuerzos académicos – aumentos o disminuciones significativos o no de un periodo a otro.

En este trabajo se hizo la revisión del concepto de balance, analizando las principales definiciones que se han establecido para este concepto, e implementándolas en modelos alternos para poder medir su eficiencia y definir cuál es el más adecuado en términos de desempeño.

Los resultados aplicados, y su posterior análisis, arrojaron que la definición de balance que mejores resultados generales obtiene, en cuanto a tiempo y calidad de solución, es la correspondiente al objetivo de minimizar la suma de las diferencias entre la carga de cada periodo y la carga promedio.

Un aspecto a resaltar es que – como el del diseño de ubicaciones de cursos – aún existen muchos procesos que, por costumbre o inercia, aún se realizan de manera artesanal, mediante prueba y error, privándose de la riqueza que las soluciones tecnológicas pueden proporcionar. Al estar libres los responsables de los programas de realizar el diseño del plan de materias de forma manual, les permite a éstos explorar alternativas, comparar escenarios, y establecer y evaluar propuestas más allá de solamente concentrarse en ubicar las asignaturas y *equilibrar las cargas*. Permite asimismo olvidarse en cierta medida de la parte operativa y concentrarse en la parte creativa, como el buscar nuevos esquemas y modalidades de oferta educativa que, a su vez, requerirán de ciertos procesos que puedan sistematizarse mediante tecnología. Entonces, se establece una relación auto-reforzadora entre nuevos esquemas y nuevas oportunidades de aplicar la tecnología para procesos.

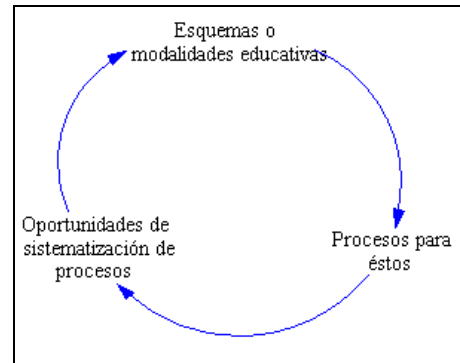


Fig. 1 Relación esquemas-sistematización.

Algunos aspectos que pueden explorarse como extensiones a este trabajo son:

- Ampliar el número y variedad de planes académicos a ser evaluados.
- Definir nuevas propuestas al concepto de balance para su evaluación.
- Establecer criterios para *desempate* de propuestas con el mismo valor de balance, mediante el uso del enfoque multicriterio.
- Estudiar el uso de metaheurísticas [9], que pueden ser convenientes, más que para reducir el tiempo de búsqueda, para uniformizarlo.
- Desarrollo de interfases para los DSS con el modelo.

Los trabajos posteriores deberán estar orientados hacia estas direcciones, con el propósito de generar aplicaciones que sean rápidas, económicas y útiles para las instituciones educativas, donde los procesos de diseño y planeación de programas son cada día más dinámicos.

Referencias

- [1] M. Casarini, Teoría y diseño curricular, México: Ed. Trillas, 1999.
- [2] C. Castro y S. Manzano, "Variable and value ordering when solving balanced academic curriculum problems", *Proceedings of the ERCIM WG on constraints*, 2001.
- [3] B. Hnich, Z. Kizilan, T. Walsh, "Modeling a balanced academic curriculum problem", *Proceedings CPAIOR02*, 2002.
- [4] J. Aguilar, J. Martínez, M. Cabrera, J. Nuño, "El problema de balancear un plan de estudios: un modelo matemático", *Segundo Taller Latino Iberoamericano de Investigación de Operaciones*, 2007.



3^{er} Taller Latino Iberoamericano de Investigación de Operaciones
14, 15 y 16 de octubre de 2009, Acapulco, Guerrero, México.

- [5] P. Flener, A. Frish y B. Hnich, Matrix Modeling: exploiting common patterns in constraint programming, *Proceedings CPAIOR02*, 2002.
- [6] B. Hnich, Z. Kizilan, I. Miguel y T. Walsh, Hybrid modeling for robust solving, *página web de Brahim Hnich*, <http://homes.ieu.edu.tr/~bhnich/>, 2004.
- [7] P. Schaus, Y. Deville, P. Dupont, J. Regin, Simplification and extension of the spread constraint, *Third international workshop on constraint propagation and implementation*, September 2006.
- [8] Lindo Systems Inc., <http://www.lindo.com/>.
- [9] T. Lambert, C. Castro, E. Monfroy, M. Riff y F. Saubion, Hybridization of genetic algorithms and constraint propagation for the BACP, *Lecture notes in computer science 3668 pp. 421-423*, 2006.

Dirección: 21 sur 1103, Col. Santiago, C.P. 72410, Puebla, Puebla, México. e-mail: joseluis.martinez01@upaep.mx

José Antonio Aguilar Solís

Ingeniero Industrial y Maestro en Sistemas de Información por la Universidad de las Américas-Puebla. Doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Catedrático de tiempo completo en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Áreas de interés: Optimización, Simulación, Dinámica de Sistemas.

Dirección: 13 poniente 1927, 2° piso, oficina 1832, Col. Santiago, C.P. 72410, Puebla, Puebla, México. e-mail: joseantonio.aguilar@upaep.mx

José Luis Martínez Flores

Licenciado en Matemáticas y Doctor en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Ha sido profesor-investigador en el Posgrado en Ingeniería de Sistemas de la UANL y en el Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas del ITESM Campus Monterrey. Actualmente es profesor-investigador y coordinador del Posgrado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro del Centro Interdisciplinario de Posgrados Investigación y Consultoría de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Es miembro de la Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM) y de la American Mathematical Society (AMS). Ha publicado en revistas arbitradas internacionales y ha participado en diferentes foros como ponente. Sus actuales áreas de interés son Logística, Optimización y Redes Neuronales Artificiales.