

MODELO DE SIMULACIÓN-OPTIMIZACIÓN PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD INSTALADA EN UN SISTEMA DE SERVICIOS EDUCATIVO.

Cristiam Andres Gil Gonzalez

Universidad del Valle – Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística
Calle 13 No 100-00 edificio 357, Santiago de Cali
Cristiam.gil@correounivalle.edu.co

Juan Pablo Orejuela Cabrera

Universidad del Valle – Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística
Calle 13 No 100-00 edificio 357, Santiago de Cali
Juan.orejuela@correounivalle.edu.co

Pablo Cesar Manyoma Velasquez

Universidad del Valle – Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística
Calle 13 No 100-00 edificio 357, Santiago de Cali
Pablo.manyoma@correounivalle.edu.co

RESUMEN

Se presenta una metodología genérica para determinar la capacidad instalada en cualquier sistema de servicios educativo (escuelas, colegios, universidades entre otros), útil para la toma de decisiones a mediano plazo en especial para medir el impacto de formular diversas políticas para maximizar el nivel de servicio de la institución tales como: la cantidad de estudiantes a admitir y su periodicidad, la construcción de nuevos espacios físicos y su capacidad en estudiantes. Se identificaron cuatro elementos fundamentales en la metodología: 1) La determinación del consumo de recursos de un estudiante en el sistema, 2) La capacidad consumida por un programa académico, 3) La capacidad real disponible para una Facultad y 4) La relación existente entre estos elementos para conocer los límites de expansión determinado por el número de estudiantes nuevos a ingresar en el sistema. El modelo desarrollado es aplicado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle – Colombia.

PALABRAS CLAVES: planificación de la capacidad, medición del servicio, educación.

Áreas principales: EDU – IO en Educación, SE – IO en Servicios.

ABSTRACT

It is presented a generic methodology to determine the capacity of any system of educational services (schools, colleges, universities, etc.), it is useful for decision making at medium term especially to measure the impact of policies formulated to maximize the level of service of the institution such as the number of students to admit and its frequency, the construction of new physical space and its capacity in students. We identified four key elements in the methodology: 1) The determination of resource consumption of a student in the system, 2) The capacity consumed by an academic program, 3) Actual capacity available for faculty and 4) the relationship between these elements to know the limits of expansion determined by the number of new students entering the system. The model developed is applied at Faculty of Engineering of the Universidad del Valle - Colombia.

KEYWORDS: capacity planning, service measurement, education.

Main areas: EDU – OR in Education, SE - OR in Services.

1. Introducción

Para el año 2000, en Colombia solo 13.82% de la población (comprendida entre 20 y 24 años) lograban acceder a la educación superior, actualmente esta tasa es de alrededor del 36% (Instituto Latinoamericano de Liderazgo, 2010). De este porcentaje, la fracción atendida por el sector público es de tan solo el 32%. En muchos casos, siendo esta la única opción de acceso para la mayoría de la población del país (90,6% de los habitantes son clasificados con estrato socio-económico medio-bajo o menor), (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, 2003).

Para el país, el departamento del Valle del Cauca representa una de las más importantes regiones en el desarrollo de la educación superior, ya que cuenta con un 9.23% del total de estudiantes inscritos a programas de educación superior y un 8% del total de los estudiantes matriculados en el país. En esta región se destaca la Universidad del Valle por su contribución a lo largo de sus 65 años de historia, y hasta el segundo semestre del 2008, representaba en la región un poco más del 66% de las solicitudes de admisión, 26% del total de estudiantes matriculados y el 44% de los estudiantes graduados.

La Universidad del Valle dispone de una sede principal y 9 sedes regionales, compuestas por 7 facultades y 2 escuelas, que contienen alrededor de 70 programas académicos y 29.217 estudiantes matriculados a enero de 2010, comparando este valor con el que tenía al empezar el año 2000 (17.150 estudiantes) se puede observar un crecimiento del 70,36%.

Este crecimiento se debió principalmente al cambio en el proceso de admisión de estudiantes, de anual a semestral a partir del año 2003. Lo cual no significó necesariamente un aumento de la inversión en infraestructura, este cambio generó problemas en el ofrecimiento de cupos por asignatura, en el manejo del espacio físico y en la asignación de los maestros, obligando así a las directivas a replantear nuevamente la política de admisión semestral, y a buscar una metodología para medir su capacidad.

2. Planteamiento del problema

En el sector de los servicios, las empresas se caracterizan generalmente por su naturaleza diversa en términos de la cantidad de productos intangibles que pueden ofrecer y la variabilidad en el consumo de recursos de las operaciones involucradas en la obtención de estos productos. Esto hace que las técnicas generalmente empleadas para ambientes de manufactura en temas como la planificación y el control de la capacidad no sean en la mayoría de los casos, aplicables a organizaciones dedicadas a la prestación de servicios.

Específicamente en el problema de la determinación de la capacidad en empresas de servicios no existen metodologías claras. Se han realizado esfuerzos importantes en este tema, pero la complejidad del entorno de servicio dificulta la generalización de estas obras, incluso en las mismas actividades productivas, lo que hace que sea un campo con gran potencial de desarrollo. Este fenómeno conduce a la necesidad de plantear propuestas que ayuden a trabajar en forma mucho más precisa.

En cuanto a instituciones académicas, los avances en investigación que se tienen en la materia no son muy amplios. La literatura ha abarcado extensivamente otros problemas que afectan la capacidad como la programación y planeación de personal, espacios y horarios sin llegar directamente a la medición de la capacidad.

Es por ello que se originó como iniciativa de investigación crear una metodología genérica para medir capacidad en término del número de estudiantes que puede llegar a atender un sistema de servicios educativo. Este estudio solo toma en cuenta el recurso de salones de clase y con ello resuelve las siguientes inquietudes:

- ¿Cuál es el consumo de la capacidad de un estudiante?
- ¿Cuál es la disponibilidad de capacidad que tiene la Universidad para este recurso?

Conociendo estos dos elementos, lograr dar respuesta a la siguiente inquietud de investigación: ¿Cuántos estudiantes puede atender un sistema de servicios de carácter educativo y presencial con los recursos físicos actualmente disponibles?

3. Capacidad en instituciones de educación

Según Johnson (2001), el estudio del área de capacidad en manufactura está saturada de artículos. Mientras que en el sector de servicios la tendencia ha sido creciente pero inicialmente solo se ha enfocado en la administración de espacio e instalaciones físicas. En lo que respecta a instalaciones educativas, en la literatura existen muchas propuestas con respecto a inversión en capacidad: apertura, cierre o expansión. Dentro de este tipo de trabajos se encuentran: Greenleaf y Harrison (1987), Henig y Gerschak (1986), Pizzolato (1994), Tewari y Jena (1987) y Viegas (1987). Pero ninguno busca aproximarse al término de capacidad desde sus resultados sino desde los recursos entregados como un múltiplo o proporción de lo que se encuentra ya edificado.

Las instituciones tienen un número limitado de espacios de enseñanza y recursos que necesitan ser utilizados eficientemente. Esta eficiencia generalmente es referida como "utilización", la cual es básicamente la fracción de las horas-silla u horas-recurso que se encuentran en uso (Burgess, 1996). Según Beyrouthy, Burke, Landa-Silva, McCollum, McMullan y Parkes (2006), en instituciones reales la utilización puede ser sorpresivamente baja, quizá solo del 20% al 50%. Para compensar esto, en el momento de planear el monto de capacidad en espacio a ser proveído, las directivas sobrestiman la capacidad generando excesos.

Usualmente los estudios de determinación de capacidad en instituciones educativas, llegan a explorar la capacidad hasta los departamentos o centros de costo, sin profundizar en los procesos. Es evidente que el problema de la planeación de la capacidad en departamentos se debe a que estos se descomponen en especialidades y disciplinas más concretas, que muchas veces son desestimadas por la naturaleza de la planeación jerárquica y/o agregada (Burgess, 1996).

Según Becher y Kogan (1992), la educación superior se encuentra supeditado a 4 niveles: la autoridad central o gobierno nacional que restringe el presupuesto, establece metas estratégicas y rige el sector. Las instituciones, quienes realizan la planeación agregada de capacidad y buscan el balance de los servicios prestados dentro de las instalaciones de acuerdo a las limitaciones de presupuesto. Las unidades productivas (facultades, departamentos, centros de investigación) encargadas de administrar los cupos de los estudiantes, de acuerdo a una desagregación de los planes de capacidad y por último los individuos (estudiantes) quienes provocan la variabilidad del sistema y consumen la capacidad.

Desde un enfoque operativo, la capacidad en instituciones de educación debe ser definida como el límite superior de la carga en la cual una unidad productiva puede sostener operación en pro de los estudiantes (Stevenson, 1999). Entendiendo como unidad productiva las facultades, las escuelas, el espacio en los salones de clase, los laboratorios disponibles, personal administrativo, personal profesoral y las herramientas tecnológicas, computacionales y bibliográficas entre otras (Johnson, 2001).

La administración de las instituciones educativas, necesita estimar la demanda para determinar el número de estudiantes a atender en el periodo académico siguiente en estas unidades productivas, buscando así asignar el presupuesto para espacio en los salones de clase, nuevos edificios, nuevas contrataciones de personal, adquisición de material bibliográfico entre otras (Mueller y Rockerbie, 2005).

Las organizaciones deben planear oportunamente la adquisición, la disponibilidad y el uso de esta capacidad; ya que esto desencadenará su éxito medido a mediano y largo plazo. Con frecuencia el hecho de tomar decisiones con respecto a la ampliación de capacidad requiere de fuertes inversiones de capital para así evitar el deterioro de la competitividad, pero para ello es necesario tener especial cuidado, ya que los nuevos

recursos adquiridos pueden verse subutilizados en algún momento (Krajewski y Ritzman, 2002).

4. Metodología de medición de la capacidad.

La elaboración de esta metodología permite determinar el número adecuado de estudiantes que puede atender un sistema de servicios educativo (SSE). Este estudio fue desarrollado para ser aplicado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle. Para realizar esta estimación inicialmente es necesario determinar el número de estudiantes matriculados en cada uno de los programas académicos pertenecientes a esta facultad (Y_j). Donde cada subíndice j , representa un programa académico.

$$SSE = \sum_j Y_j \quad (1)$$

A su vez el número de estudiantes matriculados en cada programa académico j , será definido como la suma del número de estudiantes pertenecientes a cada semestre académico m (O_{jm}). Las carreras profesionales que ofrece la Facultad de Ingeniería, implican cursar asignaturas que se encuentran agrupadas en 10 semestres, lo cual determina el rango del subíndice m .

$$Y_j = \sum_m O_{jm} \quad \forall j \quad (2)$$

En la determinación de capacidad en sistemas de servicios, el tiempo es usualmente el recurso que limita la prestación de los mismos. El número adecuado de usuarios que el sistema es capaz de atender puede ser conocido mediante el cociente entre la disponibilidad total de tiempo y la carga unitaria que un usuario típico emplea del sistema. En este contexto, con el fin de conocer el número de estudiantes matriculados a cada semestre m del programa académico j en el periodo en curso (O_{jm}), en primer lugar se debe calcular la capacidad total consumida de recursos por los estudiantes localizados en el semestre m (CTR_{jm}) y luego se debe encontrar el consumo de recursos de un estudiante perteneciente a ese semestre (CUR_{jm}), tal y como se muestra a continuación:

$$O_{jm} = \frac{CTR_{jm}}{CUR_{jm}} \quad \forall j, m \quad (3)$$

Para dar solución al problema de investigación no solo es necesario el cálculo de estos dos elementos (CTR_{jm} y CUR_{jm}), también se debe encontrar el número de estudiantes que podrían ser admitidos en cada programa académico j (X_j) con aquella capacidad que no ha sido empleada para el servicio de los usuarios que se encuentran en el sistema actualmente (en el periodo académico en curso). Para ello se emplea el modelo de optimización de recursos descrito mas adelante.

4.1. Determinación del consumo unitario de recursos (CUR_{jm}).

El Consumo unitario de recursos de un estudiante que pertenece al programa académico j y se encuentra ubicado en el semestre m , es compuesto por la suma de las cargas unitarias de las asignaturas que pertenecen a tal semestre (K_i). Como se muestra en la ecuación 4:

$$CUR_{jm} = \sum_{i \in I(m)} K_i \quad \forall m \quad (4)$$

En la Universidad del Valle no existe un estándar en la capacidad consumida por estudiante, gracias a la flexibilidad que permite esta institución en el proceso de matrícula de asignaturas, lo cual dificulta el cálculo del Consumo unitario de recursos (CUR_{jm}). El consumo de capacidad no ocurre por estudiante, sino por grupo matriculado en cada asignatura (G_i), ocasionando que ha cada estudiante le corresponda un fragmento del Tiempo semanal requerido (T_i). Esta fragmentación se puede realizar gracias a que existen Tamaños de grupo predeterminados para cada asignatura (G_i), esto significa que cada grupo programado para la asignatura i generalmente está compuesto por un límite de cupos para los estudiantes que pueden matricularla.

Se asume que todos los grupos tienen el mismo tamaño en estudiantes. Si los datos de cada grupo de una misma asignatura son iguales en su mayoría, se utiliza la moda y en el caso de que los grupos sean similares pero no iguales, se utiliza el promedio, eliminando aquellos datos que se desvían de la media considerablemente. Bajo este supuesto el cálculo de la Carga unitaria de un estudiante en la asignatura i (K_i) se expresa de la siguiente forma:

$$K'_i = \frac{T_i}{G_i} \quad \forall i \quad (5)$$

Sin embargo, esta expresión de la forma en que es expresada no es suficiente para encontrar el Consumo unitario de recursos (CUR_{jm}), ya que solo representaría a aquellos estudiantes que optaron por matricular todas las asignaturas que pertenecen a ese semestre (caso ideal) y en la realidad tal evento no es el predominante, por ello es importante encontrar estudiantes típicos o más representativos del sistema.

La metodología de medición de capacidad de una Facultad esta basada en el comportamiento de lo que se denomina un Estudiante representativo. Este individuo personifica el comportamiento promedio de la población de estudiantes. Este comportamiento se refleja en los procesos de matrícula de asignaturas en diferentes semestres, el estudiante hace uso de la flexibilidad (repetir asignaturas reprobadas y/o tomar decisiones respecto a la mezcla de asignaturas a cursar). Por lo tanto, la capacidad que este necesita generalmente es menor a la ideal

Para obtener la Carga unitaria de un estudiante representativo (K_i), es necesario entender que este consume capacidad incluso si no ha matriculado la asignatura i , ya que es un estudiante promedio y por ello le corresponde una fracción de capacidad con respecto a un estudiante ideal.

$$K_i = F_i * K'_i \quad \forall i \quad (6)$$

Esta fracción ha sido definida como la Tasa efectiva de matrícula de la asignatura i (F_i). Es el porcentaje de estudiantes que matricularon la asignatura con respecto a aquellos estudiantes que tenían la posibilidad de matricularla. La Tasa efectiva de matrícula de la asignatura i (F_i), es estimada a partir de datos históricos. Para su calculo (expresión 7), la información requerida es el número de estudiantes que han matriculado en la asignatura i en diferentes periodos académicos (S_i) y el numero de estudiantes aptos para matricular dicha asignatura en los mismos periodos académicos (L_i).

$$F_i = \frac{\sum_t S_{it}}{\sum_t L_{it}} \quad \forall i \quad (7)$$

Los estudiantes aptos para matricular la asignatura i (L_i) es el número de estudiantes que satisfacen todos los requerimientos (asignaturas pre-requisito) para matricular la asignatura i . Para calcular este parámetro se necesita conocer tanto la cantidad de estudiantes repitentes (R_i) como la cantidad de estudiantes que tienen la opción de matricular la asignatura por primera vez (NOP_i), y se emplea la siguiente

expresión:

$$L_{i,t} = NOP_{it} + R_{i,(t-1)} \quad \forall i \quad (8)$$

Los estudiantes nuevos con opción (NOP_i), es la cantidad de estudiantes que pueden matricular la asignatura i por primera vez. Esto significa que no habían matriculado y/o aprobado, hasta el momento, todas las asignaturas pre-requisito de la asignatura i (expresión 9). Para las asignaturas pertenecientes a primer semestre, ya que estas no cuentan con asignaturas pre-requisito que restrinjan su matricula, los estudiantes que tiene opción por primera vez para matricularla son aquellos que son admitidos al programa académico (expresión 10).

$$NOP_i = \min(A_1, A_2, A_3, \dots, A_p) \quad \forall i \quad (9)$$

donde P es el conjunto de asignaturas prerrequisito de la asignatura i .

$$NOP_i = X_j \quad \forall i \in (j_{(i)}, Z_{(i)}) \quad (10)$$

donde Z es el conjunto de asignaturas pertenecientes al semestre académico 1.

Se debe aclarar que los parámetros L_i y S_i , inicialmente son datos recopilados de la historia (sistema de información). Sin embargo, en el modelo de optimización de recursos estos parámetros son calculados en un proceso de simulación previa. Este proceso se realiza una única vez para asemejar los 35 años de historia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle y obtener el estado actual de estudiantes matriculados en cada asignatura y por ende en el sistema. Posteriormente, se ejecuta una vez luego de cada proceso de optimización para emular el transcurso de un periodo académico a otro.

Los estudiantes aprobados (A_i) es la cantidad esperada de estudiantes que cursaron la asignatura i en el periodo t y la aprobaron al final de ese periodo. Se obtiene a partir de la diferencia entre los estudiantes matriculados (S_i) y los estudiantes que no aprobaron la asignatura (R_i) (expresión 11).

$$A_i = S_i - R_i \quad \forall i \quad (11)$$

Los estudiantes repitentes (R_i), es la cantidad de estudiantes que se encontraban matriculados el periodo anterior en la asignatura i (Para dar mayor claridad se hace uso del subíndice $t-1$) y no la aprobaron. Para efectos de la metodología, este valor (expresión 12) es una fracción de los estudiantes matriculados en la asignatura y se denomina como Porcentaje de reprobados (P_i).

$$R_i = S_i * P_i \quad \forall i \quad (12)$$

El Porcentaje de reprobados (P_i), es la tasa de estudiantes que reprobaron la asignatura i (R_i) con respecto a todos aquellos estudiantes que han matriculado la asignatura (S_i). P_i , al igual que la Tasa efectiva de matricula (F_i), es un dato basado en la historia, por lo cual para su cálculo se recopila la información de diferentes periodos académicos tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$P_i = \frac{\sum_t R_{it}}{\sum_t S_{it}} \quad \forall i \quad (13)$$

S_i representa todos los estudiantes matriculados en una asignatura, todos aquellos individuos que realmente consumen capacidad, por ello este parámetro será explicado en el componente de la capacidad total consumida por semestre (CTR_{jm}).

4.2. Determinación de la capacidad total consumida por semestre (CTR_{jm}).

Existe una gran cantidad de recursos en un sistema educativo que podrían limitar la capacidad de este, probablemente los más importantes sean las horas-profesor y los espacios físicos destinados para la enseñanza (comúnmente los salones de clase, aunque podrían también incluirse en esta clasificación escenarios deportivos y laboratorios entre otros).

El desarrollo de este estudio se concentra en las restricciones de capacidad en espacio físico a las que el sistema educativo se encuentra subordinado, ya que este es el recurso con menor flexibilidad. Lo anterior significa que la inversión en infraestructura que debe hacer dicha facultad para adaptarse o incrementar su capacidad es alta. Aunque la disponibilidad del capital no sea un inconveniente, la disponibilidad de las instalaciones a corto plazo si lo es, ya que su periodo de construcción no es inmediato. Por lo tanto el sistema no puede responder rápidamente a las necesidades de su demanda.

Los espacios físicos son condicionados por dos características: la primera es la capacidad en términos de disponibilidad de tiempo y la segunda es la capacidad de usuarios que puede albergar cada instalación, la cual generalmente se mide por el número máximo de estudiantes que podría albergar. Estas características en conjunto generan inconvenientes para el aprovechamiento de las instalaciones, ya que el número de estudiantes que tiene una asignatura programada en uno de estos espacios físicos, es un proceso de selección que ha pasado por diferentes filtros (asignaturas prerrequisito en diferentes periodos de tiempo) aumentando la heterogeneidad de los estudiantes que ingresaron juntos.

Estas particularidades evidencian la importancia de contar con una herramienta de optimización que garantice satisfacer las necesidades de recursos (espacios físicos) de los individuos que se encuentran en el sistema, y al mismo tiempo estime el mayor número de nuevos individuos que podrían ingresar al sistema.

Por ello la capacidad total consumida de recursos para las asignaturas asociadas a cada semestre m para el programa académico j (CTR_{jm}) están sujetas al número de horas programadas de estas asignaturas a todos los espacios físicos y su ecuación es la siguiente:

$$CTR_{jm} = \sum_{i \in I(m)} PR_i * T_i \quad \forall j, m \quad (14)$$

Donde T_i son la horas semanales requeridas para que un docente dicte sesiones de clase de la asignatura i en un salón y PR_i es la cantidad de grupos a programar en el periodo académico actual de la asignatura i , este numero puede ser un numero decimal, ya que muchos programas académicos comparten asignaturas en su pensum y a cada uno le corresponde una fracción, se determina como el cociente entre el numero esperado de estudiantes matriculados (S_i) y el tamaño de grupo (G_i) de la asignatura i , como lo muestra la siguiente expresión:

$$PR_i = \frac{S_i}{G_i} \quad \forall i \quad (15)$$

El numero esperado de estudiantes matriculados (S_i), es la cantidad pronosticada de estudiantes que cursaran la asignatura i en el periodo académico en curso, por lo tanto consumirán horas de recurso salón y profesor. Se estima a partir de la siguiente ecuación:

$$S_{i,t} = [L_{i,t} + E_{i,(t-1)}] * [F_i] * [1 + CRR] \quad \forall i \quad (16)$$

Donde CRR es un porcentaje, el cual tiene por objetivo corregir errores de estimación en la metodología. Es calculado como el valor que minimice la variación entre el dato real de matriculados en los programas académicos versus el dato encontrado en la simulación previa.

El número esperado de estudiantes no matriculados (E_i), es la cantidad de

estudiantes que cumpliendo todos los prerequisites de la asignatura i decidieron no matricularla en el periodo académico en curso.

$$E_{i,t} = [1 - F_i] * [L_{i,t} + E_{i,(t-1)}] * [1 + CRR] \quad \forall i \quad (17)$$

Los valores iniciales de S_i y E_i en el proceso de simulación son cero debido a la no existencia de estudiantes matriculados en el primer periodo de admisión a un programa académico.

El desarrollo de la metodología al hallar tanto la capacidad total consumida de recursos (CTR_{jm}) como el consumo unitario de recursos (CUR_{jm}) permite encontrar el número de estudiantes matriculado en cada semestre académico (O_{jm}), a estos estudiantes se les debe garantizar suficiencia en recursos (espacios físicos) y con ello determinar aquellos recursos que podrían ser empleados para atender nuevos estudiantes. Sin embargo hasta el momento no conocemos la disponibilidad de estos recursos (capacidad en sillas y horas) por lo cual se debe realizar su medición (literal 4.3) como insumo para el proceso de optimización (literal 4.4).

4.3. Medición de los recursos disponibles para una Facultad (RDF_z).

Los espacios físicos pueden ser agrupados en conjuntos de acuerdo a las características que compartan como: componentes tecnológicos, componentes científicos y principalmente su capacidad en estudiantes a albergar (Wz). Cada conjunto es representado por el subíndice z , el cual es una marca de clase. Agrupar estos elementos ayuda a disminuir la complejidad en la asignación de horas, ya que permitirá plantear en el modelo de optimización los espacios físicos en menor número de elementos y manejarlos de mejor forma en términos de disponibilidad de tiempo. El número de horas disponibles por tipo de recurso físico z para los estudiantes de la Facultad de Ingeniería (RDF_z) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$RDF_z = C_z * MBR * U * V \quad \forall z \quad (18)$$

Donde:

- La cantidad de espacios físicos disponibles tipo z (C_z), es el conjunto de salones de clase y/o laboratorios (con características similares no solo en estudiantes a albergar sino también equipo técnico y/o tecnológico) que son aptos para impartir las sesiones de clase de una o varias asignaturas.
- El umbral de tiempo (MBR), son las horas totales disponibles en días hábiles con las que cuenta un espacio físico tipos. En la Universidad del Valle, las asignaturas pueden ser programadas de lunes a viernes entre las 7am y 10pm (15 horas/día). Los días sábado son usualmente programados entre las 7am y 1pm (6 horas/día). Por lo cual el valor calculado para el umbral de tiempo (MBR) en nuestro caso estudio es de 81 horas/semana.
- El porcentaje de capacidad disponible para la Facultad de Ingeniería (V), es un parámetro calculado a partir de datos históricos y es la proporción entre las horas programadas de asignaturas para estudiantes pertenecientes a los programas académicos de la Facultad de Ingeniería, con respecto a las horas programadas para estudiantes de todos los programas académicos que pueden hacer uso de cada espacio físico en la Universidad.
- La tasa de utilización global (U), es un parámetro basado en el comportamiento histórico de la asignación de horas a los espacios físicos. Es el porcentaje de las horas-salón totales disponibles que son usadas o podrían ser usadas para programar las asignaturas de todas las facultades de la Universidad.

La capacidad de un sistema que ofrece una mezcla de productos y/o servicios es claramente afectado por el proceso de programación de estos a sus unidades productivas, este problema de investigación ha sido extensamente estudiado por la academia, sin embargo no hace parte del problema de investigación de este proyecto, para lo cual se emplea el parámetro U con el objetivo de perfilar la eficiencia de la programación de las horas en los salones de clase.

$$U = \left[\frac{\sum_i (PR_i * T_i) + \sum_z PAC_z}{MBR * \sum_z C_z} \right] \quad (19)$$

Esto implica incluir en el cálculo del parámetro la carga total generada por la programación académica de la institución en estudio (primera sumatoria del numerador en la ecuación 19), mas la suma de todas aquellas horas que no han sido programadas pero podrían ser potencialmente usadas para dictar sesiones de clase (PACz), esto según la política de franjas horarias que posee la universidad (Tabla 1), respecto a todas las horas disponibles en estos espacios para programar sesiones de clase (denominador de la ecuación 19).

		Longitud de la franja		
		3 horas	2 horas	1 hora
7 - 8	7 - 10		7 - 9	
8 - 9			9 - 11	
9 - 10			11 - 13	
10 - 11	10 - 13			
11 - 12				
12 - 13				
13 - 14				13 - 14
14 - 15	14 - 17	15 - 18	14 - 16	14 - 15
15 - 16				
16 - 17			16 - 18	
17 - 18				17 - 18

Tabla 1. Política de franjas horarias de la Universidad del Valle.
Fuente: Oficina de registro académico, Universidad del Valle.

El cálculo del número de horas disponibles por tipo de recurso físico z para los estudiantes de la Facultad de Ingeniería (RDF_z) es uno de los parámetros fundamentales que alimentará el modelo de optimización de recursos que será planteado en el próximo literal, el cual tiene como objetivo maximizar la eficiencia en el uso de los recursos para los estudiantes que se encuentran actualmente en el sistema, así brindar mayor cobertura con los estudiantes que podrían ser admitidos a primer semestre del mismo periodo.

4.4. Modelo de optimización de recursos.

La intención de esta sección es realizar la formulación verbal y matemática del modelo empleado para optimizar la capacidad de las instalaciones del sistema de servicios educativo. Además describir y explicar el modelo a partir del análisis de la función objetivo y de las restricciones.

4.4.1. Parámetros

G_i = Tamaño máximo de un grupo a programar de la asignatura i, determinado en número de estudiantes a matricular.

T_i = Número horas semanales de clase que requiere cada grupo a programar de la asignatura i en un espacio físico.

M_i = Número esperado de estudiantes que matricularan la asignatura i . Se suman todas las necesidades de cupo de los estudiantes que pertenecen a los programas académicos y deben cursar la asignatura i (expresión 20).

$$M_i = \sum_{i \in I(j)} S_i \quad \forall i \quad (20)$$

H_{iz} = 1, si un espacio físico tipo z es idóneo (en capacidad en sillas y equipos) para programar un grupo de la asignatura i . 0, de lo contrario.

B_i = Número mínimo de horas que deben ser programadas de una sesión de clase de la asignatura i en un espacio físico.

D_j = Factor de balance entre programas académicos para matricular estudiantes a semestre 1. Este parámetro tiene como función ponderar la admisión de estudiantes para evitar que el modelo matemático asigne los recursos remanentes a solo uno o pocos programas académicos.

PS_{ij} = 1, si la asignatura i es cursada por estudiantes de primer semestre del programa académico k . 0, de lo contrario.

F_i = Tasa efectiva de matrícula de la asignatura i .

4.4.2. Variables

X_j = Cantidad de estudiantes que pueden ser matriculados a primer semestre del programa académico k .

N_{iz} = Cantidad de fracciones de tiempo que se deben programar de la asignatura i a un espacio físico tipo z .

L_i = Número de grupos abiertos para estudiantes nuevos de las asignaturas pertenecientes a semestre 1.

HG_{iz} = 1, si la asignatura i hará uso de las horas disponibles de un espacio físico tipo z . 0, de lo contrario.

4.4.3. Función objetivo

$$\text{Maximizar } \sum_j X_j \quad (21)$$

4.4.4. Restricciones

$$LS_i \geq \left[\frac{\sum_j (X_j * PS_{ij} * F_i) + M_i}{G_i} \right] \quad \forall i(a) \quad (22)$$

$$LS_i \geq \frac{M_i}{G_i} \quad \forall i(b) \quad (23)$$

$$BLC_j = \left[\frac{D_j}{\sum_j D_j} \right] * \sum_j X_j \quad \forall j \quad (24)$$

$$(1 - 20\%) * BLC_j \leq X_j \quad \forall j \quad (25)$$

$$(1 + 20\%) * BLC_j \geq X_j \quad \forall j \quad (26)$$

$$\sum_z N_{iz} \geq T_i * LS_i \quad \forall i \quad (27)$$

$$\sum_i N_{iz} \leq RDF_z \quad \forall z \quad (28)$$

$$HG_{iz} \leq H_{iz} \quad \forall i, z \quad (29)$$

$$HG_{iz} * B_i \leq N_{iz} \quad \forall i, z \quad (30)$$

$$N_{iz} \leq RDF_z * HG_{iz} \quad \forall i, z \quad (31)$$

$$X_j \geq 0 \quad \forall j \quad (32)$$

$$N_{iz}, L_i \in \text{Enteros} \quad (33)$$

$$HG_{iz} \in \{0,1\} \quad (34)$$

La función objetivo (expresión 21) maximiza el número de estudiantes a admitir en todos los programas académicos que pertenecen al sistema educativo en estudio. La apertura de grupos para satisfacer la demanda de cupos en las asignaturas de primer semestre y semestres posteriores se garantiza con la expresión 22 y expresión 23 respectivamente. Para evitar la asignación de los recursos disponibles solo a aquellos programas académicos con menor consumo de carga se proponen las restricciones 24, 25 26 las cuales procuran mantener un balance entre programas académicos en la admisión de estudiantes, se ha agregado una holgura del $\pm 20\%$ arbitrariamente para mayor eficiencia en los recursos en pro de la función objetivo.

La restricción 27 satisface las horas requeridas por todos los grupos que se programaran de la asignatura i . La restricción 28 limita las horas a programar en cada conjunto de recursos físicos respecto a las horas disponibles. La restricción 31 permite asignar horas de un recurso físico tipo z siempre y cuando la restricción 29 permita su uso por su idoneidad en capacidad y equipo en él. La restricción 30 evita que sean asignadas menos fracciones de tiempo de las permitidas para una sesión de clase, cuando se ha decidido usar un espacio tipo z . Las expresiones 32, 33 y 34 representan las restricciones obvias de no negatividad y el tipo de valor esperado en las variables.

5. Caso estudio.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle esta compuesta por 7 escuelas, 1 departamento y 1 instituto de investigación. Los cuales ofrecen 18 programas de pregrado: 13 de los cuales son de carácter profesional y 5 de carácter tecnológico,.

La investigación desarrollada en esta metodología de medición de capacidad en un sistema de servicios educativos, se encuentra enfocada a los 13 programas profesionales ofertados por la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle. Para determinar el consumo unitario de recursos (CUR_{jm}) y la capacidad total consumida por programa (CTR_{jm}) fue estructurada una hoja de cálculo en Microsoft Excel 2010, la cual facilitó los procesos de simulación mediante el uso de Microsoft Visual Basic 7.0.

Antes de iniciar el proceso de simulación en conjunto con el modelo de

optimización diseñado, se realizó el proceso de simulación previa donde se ejecutaron n ciclos con el objetivo de probar la confiabilidad del modelo metodológico desarrollado. La rutina utilizó como insumo principal los valores reales de admisión en cada programa académico de la Facultad de Ingeniería buscando comparar el dato real de estudiantes matriculados con el dato obtenido mediante simulación. Esta información fue obtenida del aplicativo del Sistema para la prevención de la deserción de la educación superior (SPADIES) del Ministerio Educación Nacional. Un ciclo de simulación representa la transición entre periodos académicos y los procesos que eso implica como la matrícula, la pérdida de asignaturas y la admisión de estudiantes

Luego de reiterados ensayos el factor de corrección CRR se ha estimado en 1%, con este valor se puede observar que luego de simular los proceso de admisión en los últimos 20 periodos académicos (desde agosto-diciembre/1999 hasta agosto-diciembre/2009), la brecha entre el dato real y el dato simulado se estabilizó y no supero en $\pm 5\%$ desde el periodo enero-julio de 2008 (Ilustración 1).

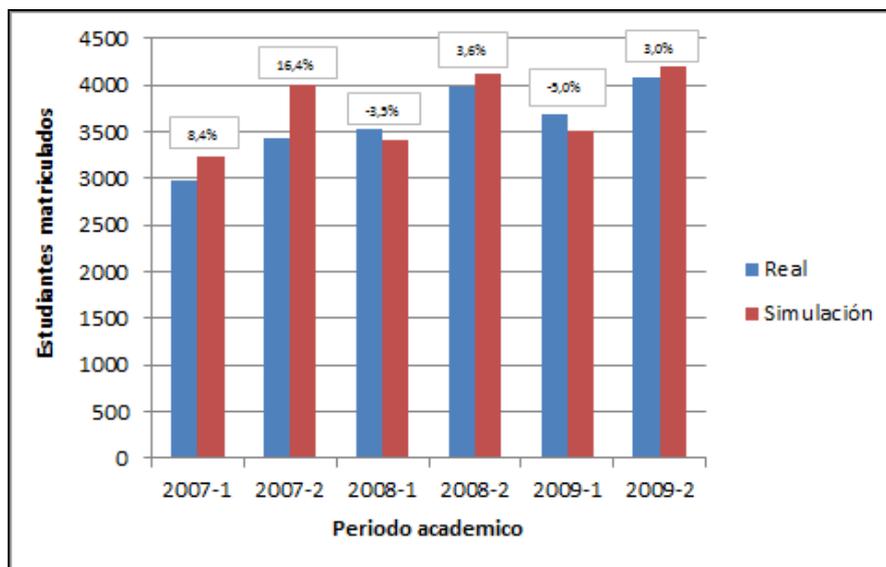


Ilustración 1. Estudiantes matriculados en la Facultad. Real vs Simulación.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de cada ciclo de simulación el número esperado de estudiantes matriculados en cada asignatura i (S_i) se consolida en el parámetro M_i para alimentar el modelo de optimización de recursos (recordemos muchos de los programas académicos tienen asignaturas en común), esta consolidación permite reducir el numero de elementos en el conjunto i de casi 600 a 392 asignaturas.

En la Universidad del Valle existen 177 recursos físicos (salones de clase y laboratorios) disponibles para la programación de sesiones de clase (datos entregados por la oficina de registro académico de la Universidad del Valle). De acuerdo a su capacidad medida en sillas (W_z) se han establecido 15 tipos y su respectiva disponibilidad en número de espacios (C_z).

En la Universidad del Valle, las asignaturas pueden ser programadas de lunes a viernes entre las 7am y 10pm (15 horas/día). Los días sábado son usualmente programados entre las 7am y 1pm (6 horas/día). Por lo cual el valor calculado para el umbral de tiempo (MBR) en nuestro caso estudio es de 81 horas/semana.

El valor del porcentaje de capacidad disponible para la Facultad de Ingeniería (V) se determinó como 40,14% de las horas totales programadas, se determinó como valor promedio acumulado en los últimos 15 periodos académicos. Se observo que este valor varió en este lapso de tiempo entre el 36,58% y el 43,04%, considerándose solido. El valor de la tasa de utilización global se estableció como el 92,69% de las horas totales

disponibles, donde el 19,65% corresponde a tiempo con el potencial para programar horas de clase (PAC) establecido a partir de la política de franjas horarias.

El criterio de balance en la admisión de estudiantes a primer semestre se muestra en la tabla 2, y es construido a partir de la ponderación porcentual de los estudiantes nuevos de cada programa.

Dj												
3740	3741	3743	3744	3745	3746	3747	3748	3749	3750	3751	3752	3753
8,06%	7,26%	8,06%	6,45%	6,45%	6,45%	5,65%	7,26%	7,26%	5,65%	16,13%	8,06%	7,26%

Tabla 2. Criterio de balance en estudiantes a admitir por programa.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se describirán los principales resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de medición de capacidad de una Facultad en el caso de estudio detallado.

6. Análisis de resultados.

Luego del proceso de simulación previa, donde se alcanza un estado de estudiantes matriculados mediante simulación similar al estado real del sistema, se realizaron 106 iteraciones con ayuda del software de modelación matemática LINGO 8.0 con un tiempo total de corrida de 10 horas en un equipo de computo con procesador Intel Core 2 Duo de 2.2 GHz y 3gb de memoria RAM.

Cada iteración es un proceso de simulación que involucra la transición de estudiantes matriculados en todas las asignaturas de un periodo académico al siguiente, posteriormente se activa el modelo de optimización de recursos donde se determinan el número de grupos a abrir de cada asignatura, se asignan espacios físicos adecuados y se distribuye el tiempo disponible en ellos, con el fin de maximizar el ingreso de estudiantes nuevos y se almacenan los resultados.

El principal resultado arrojado del proceso de simulación-optimización puede ser observado en la Ilustración 2, la cual resuelve la principal inquietud de investigación: la Facultad de Ingeniería con los recursos físicos actuales disponibles puede atender en promedio 5182 estudiantes con una desviación estándar de 265 estudiantes aproximadamente. Es importante resaltar que el 85% de las iteraciones se encuentra en el rango entre [4972; 5413] estudiantes, sin cambiar significativamente la media encontrada.

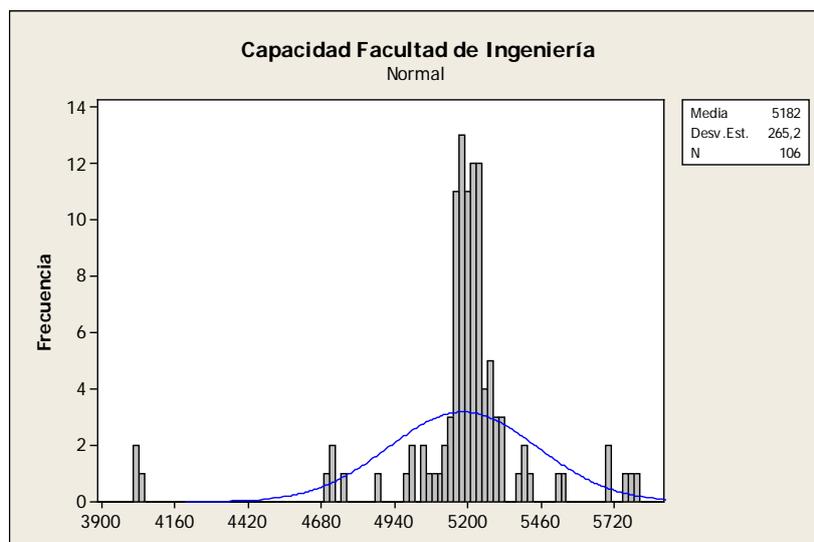


Ilustración 2. Grafica de frecuencia de la capacidad de la Facultad de Ingeniería.

Fuente: Elaboración propia.

Donde en promedio 1066 individuos de los estudiantes matriculados en cada periodo académico en la Facultad de Ingeniería son estudiantes recién admitidos, estos datos presentan una desviación estándar de 248 individuos (ilustración 3).

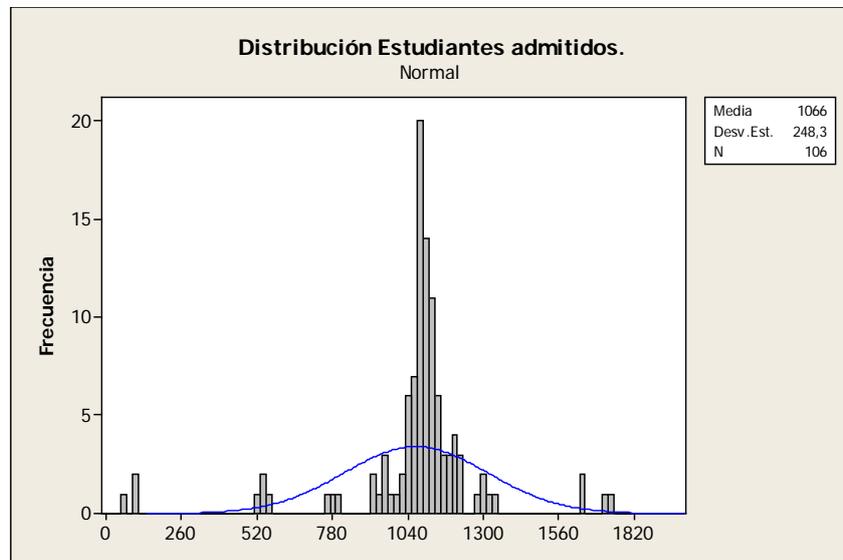


Ilustración 3. Grafica de frecuencia del número de estudiantes admitidos.
Fuente: Elaboración propia.

El número de estudiantes con dos o más periodos en la Universidad del Valle se puede observar en la Ilustración 4 discriminado por programa académico profesional. Este dato es presentado como un intervalo de confianza del 95%.

Se puede notar que estos intervalos son estables, ya que la mayor diferencia presentada entre el limite superior y el limite inferior no supera los 11 estudiantes (programa de ingeniería industrial) y donde el programa con menor número de estudiantes matriculados es ingeniería agrícola con al menos 212 individuos, lo cual sugiere que un error de estimación no superaría el 5%.

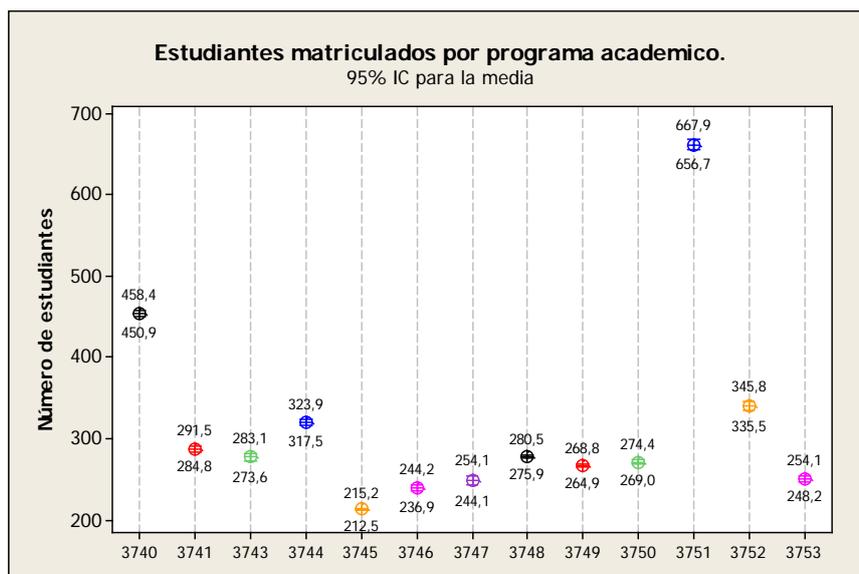


Ilustración 4. Rango de estudiantes matriculados por programa académico.
Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 5 se puede observar el número de estudiantes admitidos discriminado por programa académico, también se presenta como un intervalo de confianza de 95%. La magnitud del número de estudiantes admitidos es virtud del modelo de optimización de recursos y es regulado por la restricción del balance de admisión, la cual permite aproximarse proporcionalmente al número de estudiantes admitidos históricamente y divergir $\pm 20\%$.

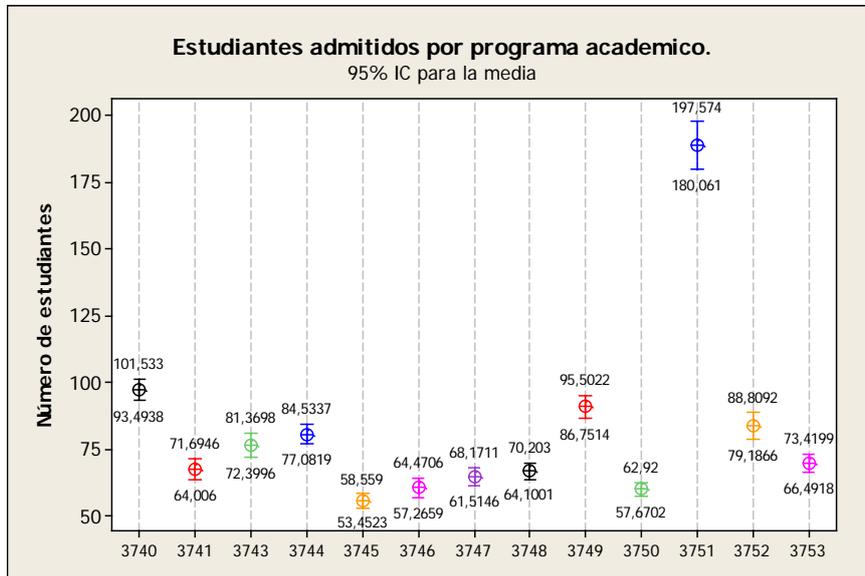


Ilustración 5. Rango de los estudiantes admitidos por programa académico.
Fuente: Elaboración propia.

Es notable que exista una alta correlación (positiva) entre el número de estudiantes matriculados y el número de estudiantes admitidos. Lo cual hace presumir que cualquier incremento en la cantidad de estudiantes admitidos debe ser pensado minuciosamente debido a que la capacidad para atender estos nuevos estudiantes en el sistema no solamente se requiere en el periodo actual si no que será necesaria en periodos futuros. Se debe definir si existen o no garantías en la disponibilidad de recursos (ya sean físicos y/o financieros) en los periodos académicos próximos y así tomar acciones prospectivas para evitar repercusiones negativas en el nivel de servicio.

7. Conclusiones

En los sistemas educativos el problema de determinación de capacidad es abordado desde el estudio de la capacidad de la infraestructura de los planteles, sin embargo existen otros componentes tales como docentes, laboratorios, bibliotecas, comedores universitarios, centros deportivos, servicio médico y equipos tecnológicos entre otros, que deben tenerse en cuenta en el momento de la planeación del servicio educativo ya que configuran parte de la calidad asociada al servicio.

Esta investigación adopta los conceptos de estudiante tipo, el cual consolida el consumo de capacidad de la población como un comportamiento promedio para programas de pregrado. Y utilización, el cual trata el problema de programación de tiempo y espacios sin abordarlo, desarrollados por Manyoma, Orejuela y Gil (2011), demostrando que estos elementos siguen siendo medidas acordes para estudios en niveles superiores (Facultades). Además abre la posibilidad para investigaciones posteriores en otro tipo de industrias de servicios.

Tener capacidad disponible en el periodo académico actual para atender estudiantes matriculados en la universidad no garantiza la disponibilidad de capacidad en un futuro, se deben tomar acciones concienzudas como definir el volumen de estudiantes a admitir, su periodicidad y la apertura de asignaturas en términos de esa periodicidad.

Este modelo metodológico y matemático es una buena aproximación al problema de la capacidad instalada de una universidad, útil para la toma de decisiones a corto y mediano plazo en especial para medir el impacto de formular diversas políticas para maximizar el nivel de servicio de la institución tales como: la construcción de nuevos espacios físicos, la capacidad apropiada en sillas de esos espacios físicos, tamaños de grupo para las asignaturas.

El desarrollo de este documento es basado en el análisis de un caso específico: la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle. Sin embargo la metodología desarrollada se ha pensado de manera genérica y puede ser aplicada no solo a otras facultades y universidades sino a establecimientos educativos de diversos tipos como escuelas, colegios y planteles de formación técnica y tecnológica que puedan tener limitaciones en administrar recursos físicos.

Esta tesis se presenta como una herramienta robusta con requerimientos de información básicos, los cuales pueden ser obtenidos a partir del sistema de información de cualquier institución que desee aplicarlo y que posea algo de historia como: el número de estudiantes matriculados, el numero de estudiantes reprobados, pre-requisitos de los cursos o asignaturas, cantidad de espacios físicos disponibles y su capacidad en estudiantes a albergar.

Referencias bibliográficas

- Becher, T. y Kogan, M.** (1992). *Process and Structure in Higher Education*. Londres: Routledge.
- Beyrouthy, C., Burke, E., Landa-Silva, D., McCollum, B., McMullan, P. y Parkes, A.** (2006). The teaching space allocation problem with splitting. The 6th international conference for the practice and theory of automated timetabling. Republica Checa: Brono.
- Burgerss, T.** (1996). Planning the academic's workload: different approaches to allocating work to university academics. *Higher education*, 32, 63-75.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2003). Encuesta calidad de vida 2003. Recuperado el día 22 de septiembre de 2009. www.dane.gov.co
- Greenleaf, N. y Harrison, T.** (1987). A mathematical programming approach to elementary school facility decisions. *Socio-economic planning sciences*, 21, 395-401.
- Henig, M. y Gershak, Y.** (1986). Dynamic capacity planning of public schools in changing urban communities. *Socio-economic planning sciences*, 20, 319-324.
- Instituto Latinoamericano de Liderazgo** (2010). Evolución de la Educación Superior en Colombia en la última década. Recuperado el día 21 de septiembre de 2010, www.universidad.edu.co
- Johnson, D.** (2001). Lessons learned from industry: applying capacity planning in an institution for higher education. *Managerial finance*, 27, 17-32.
- Krajewski, L. y Ritzman, L.** (2002). *Operations management: strategy and analysis* (6ta edición). Prentice-Hall.
- Manyoma, Orejuela y Gil** (2011). Methodology to determine the installed capacity in an academic program. *Estudios gerenciales*, Vol 27-121, 143-158.
- Mueller, R. y Rockerbie, D.** (2005). Determining demand for university education in Ontario by type of student. *Economics of education review*, 24, 469-483.
- Pizzolato, N.** (1994). A heuristic for large size p-median location problems with application to school location. *Annals of operations research*, 50, 473-485.
- Stevenson, W.** (1999). *Production operations management* (6ta edición). Boston: McGraw-Hill.
- Tewari, V. y Jena, S.** (1987). High school location decision making in rural India and location-allocation models. En: Ghosh, A. y Rushton, G., *Spatial analysis and location-allocation models* (137-162). New York: Van Nostrand Reinhold.
- Viegas, J.** (1987). Short and mid-term planning of an elementary school network in a suburb of Lisbon. *Sistemi urbani*, 1, 57-77.