

Propuesta de Mejora de los Índices de Satisfacción en una Institución Educativa Técnica usando Programación Lineal Entera

Wilmer Atoche, MSc¹, Amilcar Concha, Eng²

^{1,2}Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, watoche@pucc.edu.pe,amilcar.concha.tayro@gmail.com

Resumen— La presente investigación surge ante la necesidad de resolver una de las principales problemáticas existentes en las instituciones educativas técnicas, las cuales apuntan a disminuir el alto nivel de deserción que existe entre sus estudiantes. Dicho índice de deserción está relacionado directamente con los índices de satisfacción tanto del cliente externo, representado por los alumnos como del cliente interno, representado en su mayoría por los docentes. A partir de un análisis causa-efecto se encontró que gran parte de ambos índices de satisfacción se ven influenciados por la incorrecta elección de los docentes a contratar en el presente ciclo o por la incorrecta asignación de los mismos a determinados cursos. Actualmente no existe un proceso estandarizado de asignación de docentes en la mayoría de instituciones privadas técnicas, se establece la nueva asignación únicamente tomando en cuenta la asignación del ciclo anterior, este proceso no permite una mejora continua de los índices de satisfacción. Se aborda entonces la problemática mediante la creación de encuestas que permitan determinar un puntaje único a cada docente de la institución. Luego de esto se procede con la construcción de un programa lineal que busque optimizar el proceso de asignación de los mejores docentes a los cursos por los que se sienten motivados a dictar y a su vez a los horarios en los cuales tengan disponibilidad, todo esto cumpliendo con la carga horaria en los planes curriculares de cada una de las carreras. Debido a la dicotomía que se presenta en las variables del problema es necesario construir el programa lineal con variables binarias.

Palabras clave— Índice de deserción, programa lineal, variables binarias.

Abstract— The current investigation comes from the necessity of solving one big issue from technical educational institutes, they try to reduce the high dropout rate among their students. This dropout rate is directly related to satisfaction index from their extern customers, represented by the students and intern customers, represented by the teachers of the institute. Based on a cause-and-effect analysis, it was found these satisfaction index were influenced by the incorrect choice of teachers to be hired or to be assigned to certain courses in the current semester. Currently, as there is no standardized process of teacher assignment in most technical institutes, the new assignment is established only taking into account the assignment of the previous cycle, this process does not allow a continuous improvement of the satisfaction index. This issue is approached by creating surveys that allow the creation of a single score for each teacher. After this, we proceed with the construction of a linear program that seeks to optimize the allocation of the best teachers to the courses for which they feel motivated and also taking the schedules in which they have availability, all this respecting the hours in the curricula of each

technical career. Due to the dichotomy presented in the problem variables, it is necessary to construct the linear program with binary variables.

Keywords— dropout rate, linear programming, binary variables

I. INTRODUCCIÓN

El sector educativo ha venido creciendo en los últimos años a tal punto de ubicarse como el segundo sector más atractivo para invertir en el Perú [1]. Esto ha sucedido debido al crecimiento de las instituciones educativas técnicas al incrementar su número de estudiantes ya que actualmente se requieren 300,000 profesionales técnicos al año y solo egresan poco más de 100,000 de los institutos técnicos [2].

A pesar del rápido crecimiento de las instituciones educativas técnicas persiste aún la problemática central de este sector, el cual es el alto índice de deserción de sus alumnos. Esto quiere decir que, así como ingresan a estudiar numerosos estudiantes, también un elevado porcentaje de ellos se retira antes de culminar la carrera. Este es el caso del instituto superior tecnológico San Fernando, un instituto con 21 años de experiencia formando profesionales técnicos en salud en cuatro carreras: enfermería, fisioterapia, farmacia y optometría. Debido a que el programa de optometría abarca más del 75% de su población estudiantil, en el presente estudio nos enfocaremos en resolver la problemática en dicho programa. Con base en la data histórica de la institución para dicha carrera se pudo determinar que el índice de deserción era de 33.6% y además se clasificó el motivo por el cual el alumno desertó. Se hizo un análisis de este índice y se encontró que la deserción de los estudiantes viene influenciada por cuatro factores: factores personales, totalmente intrínsecos a la persona, factores académicos, por bajo rendimiento, factores socioeconómicos, principalmente por falta de medios económicos, y factores institucionales, influenciado por los servicios que brinda el instituto [3].

Los primeros tres factores son totalmente exógenos a la institución, sin embargo, el factor institucional, además de representar el principal factor de deserción con 39.0%, induce a que muchos casos de insatisfacción reproduzcan dicha experiencia negativa a futuros potenciales estudiantes a captar. Además, es el único factor en el cual la institución tiene mayor responsabilidad, por lo que se puede disminuir a mediano plazo. La Fig. 1 muestra la participación de cada uno de los factores en el índice de deserción.

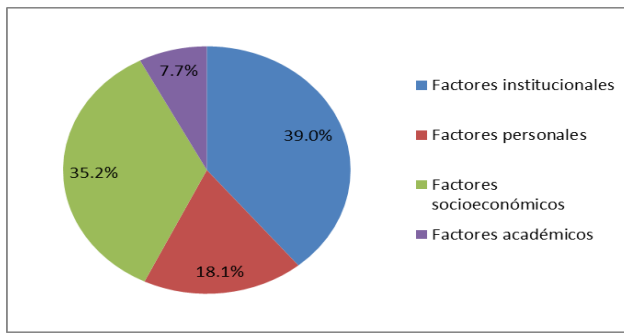


Fig. 1 Participación por factor en el índice de deserción.

En el factor institucional, la mayor relación entre el estudiante y la institución se da mediante los docentes, por ello que la relación alumno-docente debe ser la mejor posible y para que esto suceda el nivel de satisfacción tanto del alumno como del docente debe mejorar continuamente. Por esta razón fue necesaria la creación de un índice de satisfacción del alumno y del docente con el fin de monitorearlos ya que ambos ayudarían a reducir el factor institucional, el cual es el principal factor del índice de deserción. En ambos casos se usaron encuestas y se encontró que el índice de satisfacción del docente estaba en 47.4% y el del alumno en 46.0%. Luego se realizó un análisis causa efecto para identificar las principales variables que influían. De este estudio se determinó que derivaban principalmente de la incorrecta elección de docentes a contratar o la incorrecta asignación de los mismos a sus determinados cursos. Actualmente al no haber un proceso estandarizado para la elección y asignación de docentes se toma como única base la elección y asignación del ciclo anterior y solo se procede a realizar cambios en caso un docente ya no tenga disponibilidad horaria para dictar. Se sigue entonces el siguiente diagrama de flujo:

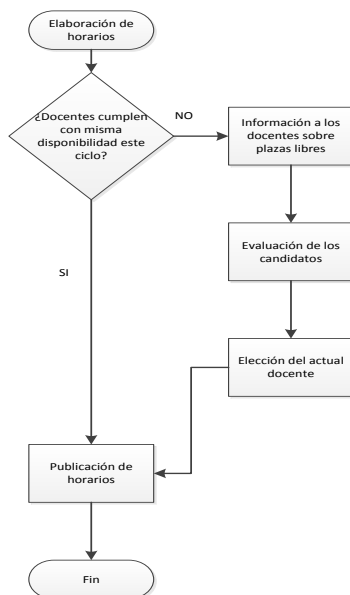


Fig. 2 Diagrama de flujo de la situación actual.

Claramente este proceso al seguir el diagrama de flujo mostrado, no permite una mejorar continua de ambos índices de satisfacción. Para el caso del índice de satisfacción del alumno, no elige a los mejores docentes disponibles y para el caso del índice de satisfacción del docente, no asigna los docentes a los cursos por los que se sienten motivados a dictar. Ambos efectos perjudican la relación tan importante de alumno-docente.

II. MARCO TEÓRICO

Los problemas de asignación de recursos en una empresa permiten generar ahorros en procesos de vital importancia del negocio o incrementar los ingresos. Este tipo de problemas tiene como base designar el nivel importancia de determinadas actividades, las cuales compiten entre sí por recursos necesarios y limitados para realizarlas [4]. Para resolver dichos problemas es necesario abordarlos mediante la creación de modelos matemáticos para describir propiamente el problema. La programación lineal es una rama de la investigación operativa y utiliza dichos modelos matemáticos para brindarnos una o varias soluciones factibles y óptimas, dándonos así un planeamiento sistemático de los recursos que se usarán en dichas actividades. Cabe recalcar que todas las funciones matemáticas del problema deben ser funciones lineales. Es decir, el problema descrito debe tener la siguiente forma:

$$\text{Maximizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Sujeto a

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

⋮

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

Donde

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$$

Cabe destacar que en el problema a presentarse existe dicotomía en las variables de decisión. Por ello, es necesario construir el programa lineal con variables binarias. Se pueden resolver problemas de programación lineal usando diversos métodos como por ejemplo usando el método gráfico en caso sean a pequeña escala o también usando el método simplex para problemas incluso a gran escala. Sin embargo, por lo general los problemas reales en los que se puede aplicar programación lineal tienden a ser mucho más extensos que cualquier otro problema teórico [5]. Es por esto que para su desarrollo se usan lenguajes de modelado como Lingo o AMPL.

III. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

En primer lugar, se estableció una forma de medición por cada docente para definir la prioridad con la que se le debe asignar. Se utilizó entonces un sistema de encuestas en los alumnos para medir a sus docentes con una puntuación por cada pregunta respondida. Esta encuesta abarcó temas de puntualidad, trato con el alumno, fomento de participación, dominio del curso y metodología de cada uno de sus docentes. Al tabular la totalidad de las encuestas se obtuvo una nota única por cada docente de la institución, la cual tenía un rango de 0 a 20. Para el caso de docentes nuevos en la institución, el coordinador de carrera definió una nota según la hoja de vida del profesor.

Como segundo paso se implementó un nuevo formato denominado "Formato de disponibilidad horaria". En dicho documento el docente informa formalmente en qué horarios dispone de tiempo durante la semana para el dictado de cursos en el presente semestre y los cursos por los que se siente motivado a dictar. La institución tenía disponible para ese ciclo a 15 docentes entre activos y nuevos.

Como tercer paso se elaboró un cuadro que indique los cursos por ciclo y su respectiva carga horaria semanal, la cual debe estar detallada en el plan curricular de cada carrera expedido por el Ministerio de Educación. Las cargas horarias por curso son de 2, 4 o 6 horas como máximo. Cabe destacar que no es necesario que un mismo docente dicte la totalidad de horas de un curso en la semana. Se debe tomar en cuenta que existe un salón por cada uno de los 6 ciclos que dura la carrera y que la carga horaria es de 4 horas por 5 días de la semana. De esto se puede deducir que existen 10 turnos horarios en cada semana por salón de clase y al existir 6 salones diferentes, deriva en que existan 60 bloques diferentes de cursos en toda la institución.

En las tablas I, II y III se pueden visualizar los elementos descritos anteriormente y las representaciones que tendrán en la programación lineal.

TABLA I
DOCENTES EN LA PROGRAMACIÓN LINEAL

Docentes	L	M	N	O	P
	Q	R	S	T	U
	V	W	X	Y	Z

TABLA II
DISPONIBILIDAD HORARIA EN LA PROGRAMACIÓN LINEAL

Disponibilidad horaria					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
8:00 a 10:00	B	D	F	H	J
10:00 a 12:00	C	E	G	I	K

TABLA III
CURSOS EN LA PROGRAMACIÓN LINEAL

Cursos					
Primer ciclo	A1	A2	A3	A4	A5
	A6	A7	A8	A9	A10
Segundo ciclo	A11	A12	A13	A14	A15
	A16	A17	A18	A19	A20
Tercer ciclo	A21	A22	A23	A24	A25
	A26	A27	A28	A29	A30
Cuarto ciclo	A31	A32	A33	A34	A35
	A36	A37	A38	A39	A40
Quinto ciclo	A41	A42	A43	A44	A45
	A46	A47	A48	A49	A50
Sexto ciclo	A51	A52	A53	A54	A55
	A56	A57	A58	A59	A60

Finalmente se procede a crear el modelo matemático para resolverlo usando programación lineal:

1) *Variables de decisión*: Deben tener la siguiente forma

$$D_i H_j A_k$$

Dónde:

D: docente (para $i = 1, 2, \dots, n$)

n: número total de docentes

H: horario (para $j = 1, 2, \dots, m$)

m: número total de horarios disponibles

A: asignatura (para $k = 1, 2, \dots, l$)

l: número total de cursos

Las variables de decisión deben permitir agrupar las tres características a tomar en cuenta para una futura asignación, es decir, docente a asignar, horario de dictado y el curso que va a dictar. Como las variables de decisión son dicotómicas, es decir, establecen si se va a cumplir o no una asignación, estas se definirían como binarias. Dichas variables de decisión tienen la siguiente forma: "Decisión de que el docente () dicte en el horario () el curso ()".

Además:

$$C_i$$

C: Nota por cada docente obtenida en la encuesta (para $i = 1, 2, \dots, n$)

n: número total de docentes

2) *Función objetivo*: La función objetivo debe maximizar el nivel de servicio esperado que brindan los docentes en todos los cursos que se dictan.

$$\sum_i \sum_j \sum_k C_i * D_i H_j A_k$$

3) *Restricciones tipo I*: Dado que todas las variables son binarias y que la sumatoria será igual a 1, este tipo de

restricciones establece que solo se escoja a un docente en un curso-horario. A la vez al hacer una restricción por cada curso establece que dicha materia se dicte de manera obligatoria. Se forman “l” restricciones de la forma:

$$\sum_i \sum_j D_i H_j A_k = 1$$

Para k = (1, 2, ... l)

4) *Restricciones tipo II:* Estas restricciones indican que el docente solo puede dictar un curso a la vez en un mismo espacio de tiempo. Se forman “n*m” restricciones de la forma:

$$\sum_k D_i H_j A_k \leq 1$$

Para i = (1, 2, ... n)

Para j = (1, 2, ... m)

5) *Restricciones tipo III:* Estas restricciones no permiten que se dicten cursos del mismo ciclo al mismo tiempo, a la vez que obliga a que cada salón reciba clases en todos los turnos. Debido a que se dictan 10 asignaturas diferentes en cada uno de los 6 ciclos de la carrera, se forman entonces “m” grupos de restricciones de la forma que van desde el H_1 hasta el H_{10} :

$$\sum_{k=1}^{k=10} \sum_i D_i H_{10} A_k = 1 \text{ Primer ciclo}$$

$$\sum_{k=11}^{k=20} \sum_i D_i H_1 A_k = 1 \text{ Segundo ciclo}$$

$$\sum_{k=21}^{k=30} \sum_i D_i H_1 A_k = 1 \text{ Tercer ciclo}$$

$$\sum_{k=31}^{k=40} \sum_i D_i H_1 A_k = 1 \text{ Cuarto ciclo}$$

$$\sum_{k=41}^{k=50} \sum_i D_i H_1 A_k = 1 \text{ Quinto ciclo}$$

$$\sum_{k=51}^{k=60} \sum_i D_i H_1 A_k = 1 \text{ Sexto ciclo}$$

6) *Restricciones tipo IV:* Estas restricciones convierten a todas las variables de decisión en binarias, es decir, 1 cuando se afirme la decisión y 0 cuando se rechace. Dichas restricciones tienen la siguiente forma:

@BIN (Variable de decisión)

7) *Restricciones tipo V:* Son las restricciones por formato de disponibilidad horaria, es decir específicas de este problema. Estas restricciones se encargan de hacer validar los turnos en los que el docente dispone de tiempo y los cursos que el docente desea dictar. Dichas restricciones tienen la siguiente forma:

Variable de decisión = 0; el docente no puede dictar en ese turno o ese curso específico.

Variable de decisión >= 0; el docente si puede dictar en ese turno y ese curso específico.

IV. RESULTADOS

Luego de ejecutar el modelo en el programa Lingo, se obtuvieron los siguientes resultados relevantes presentados en la tabla IV, es decir las únicas variables que no resultaron 0:

TABLA IV
RESULTADOS DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL

Variable	Value	Variable	Value	Variable	Value
MCA1	1	WJA21	1	UBA41	1
MHA2	1	SHA22	1	UEA42	1
NGA3	1	SEA23	1	WDA43	1
MEA4	1	OKA24	1	XKA44	1
MBA5	1	YCA25	1	OIA45	1
RFA6	1	XDA26	1	XFA46	1
UDA7	1	ZGA27	1	YHA47	1
RIA8	1	UFA28	1	UCA48	1
MKA9	1	YIA29	1	WGA49	1
MJA10	1	QBA30	1	NJA50	1
XIA11	1	WEA31	1	OJA51	1
XHA12	1	WFA32	1	YBA52	1
YJA13	1	ZKA33	1	WKA53	1
YDA14	1	SCA34	1	YEA54	1
YKA15	1	SGA35	1	RHA55	1
OCA16	1	ZIA36	1	NCA56	1
ZFA17	1	XBA37	1	SFA57	1
QEA18	1	ZJA38	1	SDA58	1
RBA19	1	QDA39	1	SIA59	1
RGA20	1	QHA40	1	UGA60	1

Con los resultados anteriormente expuestos y con las equivalencias entre los códigos y nombres reales de cada curso y horarios se pudo entregar a la institución educativa San Fernando, la asignación de los docentes a elegir en el ciclo actual al curso que deberían dictar en un determinado horario. Este entregable se muestra en las siguientes tablas V, VI, VII, VIII, IX, X que muestran el resultado para los ciclos primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto respectivamente que tiene la carrera técnica y las respectivas asignaciones de cada curso horario.

TABLA V
Horario del Primer ciclo

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
8 - 10	Anatomía Humana General – A5 Docente: M Horario: B	Introducción a la Optometría – A7 Docente: U Horario: D	Introducción a la Optometría – A6 Docente: R Horario: F	Matemática Básica – A2 Docente: M Horario: H	Matemática Básica – A10 Docente: M Horario: J
10 - 12	Matemática Básica – A1 Docente: M Horario: C	Anatomía Humana General – A4 Docente: M Horario: E	Lengua y Gramática – A3 Docente: N Horario: G	Introducción a la Optometría – A8 Docente: R Horario: I	Física Aplicada – A9 Docente: M Horario: K

TABLA VI
Horario del Segundo ciclo

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
8 - 10	Motilidad Ocular – A19 Docente: R Horario: B	Óptica Oftálmica I – A14 Docente: Y Horario: D	Fisiología Ocular – A17 Docente: Z Horario: F	Estados Refractivos del Ojo – A12 Docente: X Horario: H	Óptica Oftálmica I – A13 Docente: Y Horario: J
10 - 12	Anatomía Ocular – A16 Docente: O Horario: C	Fisiología Ocular – A18 Docente: Q Horario: E	Motilidad Ocular – A20 Docente: R Horario: G	Estados Refractivos del Ojo – A11 Docente: X Horario: I	Anatomía Ocular – A15 Docente: Y Horario: K

TABLA VII
Horario del Tercer ciclo

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
8 - 10	Óptica Física y Geométrica – A30 Docente: Q Horario: B	TPO I – A26 Docente: X Horario: D	Óptica Oftálmica II – A28 Docente: U Horario: F	Óptica Fisiológica – A22 Docente: S Horario: H	Óptica Fisiológica – A21 Docente: W Horario: J
10 - 12	Clínica I – A25 Docente: Y Horario: C	Óptica Fisiológica – A23 Docente: S Horario: E	TPO I – A27 Docente: Z Horario: G	Óptica Oftálmica II – A29 Docente: Y Horario: I	Clínica I – A24 Docente: O Horario: K

TABLA VIII
Horario del Cuarto ciclo

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
8 - 10	Patología Ocular – A37 Docente: X Horario: B	Neurofisiología de la Visión – A39 Docente: Q Horario: D	Clínica II – A32 Docente: W Horario: F	Neurofisiología de la Visión – A40 Docente: Q Horario: H	Patología Ocular – A38 Docente: Z Horario: J
10 - 12	TPO II – A34 Docente: S Horario: C	Clínica II – A31 Docente: W Horario: E	Evaluación de la Visión Binocular – A35 Docente: S Horario: G	Visión Binocular – A36 Docente: Z Horario: I	TPO II – A33 Docente: Z Horario: K

V. IMPACTO

TABLA IX
Horario del Quinto ciclo:

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
8 - 10	Clínica III – A41 Docente: U Horario: B	Análisis Optométrico – A43 Docente: W Horario: D	Estrabología – A46 Docente: X Horario: F	Lentes de Contacto I – A47 Docente: Y Horario: H	Ética – A50 Docente: N Horario: J
10 - 12	Lentes de Contacto I – A48 Docente: U Horario: C	Clínica III – A42 Docente: U Horario: E	Lentes de Contacto I – A49 Docente: W Horario: G	Clínica de la Visión Binocular – A45 Docente: O Horario: I	Análisis Optométrico – A44 Docente: X Horario: K

Un semestre después de implementar las mejoras anteriormente desarrolladas, se pudo cuantificar el impacto inicial en los índices de satisfacción del alumno y del docente.

El índice de satisfacción del alumno incrementó de 46.0% a 57.3% y el índice de satisfacción del docente incrementó de 47.4% a 55.3%. A pesar de haberse realizado la medición tan solo un semestre después de la implementación ya se visualizaron crecimientos moderados en ambos índices. Dichos índices ayudarán a disminuir el principal factor del índice de deserción el cual es el factor institucional. La meta que inicialmente se programó fue de reducir el índice de deserción de un 33.6% a un 27.0% en un horizonte de 3 años y para lograr dicho objetivo el factor institucional debería disminuir en un 50%. En la Fig.2 se presentan los factores proyectados del índice de deserción luego del plazo inicial. Sin embargo, no fue posible medir el impacto en el índice de deserción ya que un semestre se considera un tiempo muy corto para que dicho índice muestre variaciones. Se espera entonces que, a mediano plazo, el índice de deserción empiece a reflejar las mejoras encontradas en los índices de satisfacción de los alumnos y docentes.

TABLA X
Horario del Sexto ciclo

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
8 - 10	Clínica de Lentes de Contacto – A52 Docente: Y Horario: B	Lentes de Contacto II – A58 Docente: S Horario: D	Lentes de Contacto II – A57 Docente: S Horario: F	Optometría Pediátrica – A55 Docente: R Horario: H	Clínica de Lentes de Contacto – A51 Docente: O Horario: J
10 - 12	Administración en Salud – A56 Docente: N Horario: C	Clínica IV – A54 Docente: Y Horario: E	Baja Visión – A60 Docente: U Horario: G	Baja Visión – A59 Docentes: S Horario: I	Clínica IV – A53 Docente: W Horario: K

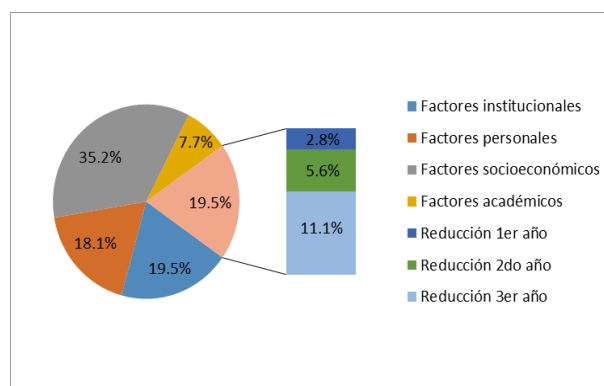


Fig. 2 Deserción proyectada.

Es importante también comprender que el impacto de las mejoras realizadas bajo el nuevo proceso de asignación de docentes, no solo permitirá reducir el índice de deserción de la población estudiantil, si no también elevará el índice de satisfacción del cliente interno y externo e incrementará los ingresos de la institución debido al mayor número de estudiantes activos en el futuro.

VI. CONCLUSIONES

Fue necesario acudir a la data histórica para comprender los factores que influenciaban el índice de deserción y realizar un análisis causa efecto para reconocer el origen del bajo índice de satisfacción de los alumnos y docentes.

Se encontró que la principal causa de los bajos índices de satisfacción surge de una incorrecta asignación de los docentes a sus cursos y horarios. Además, se determinó que el proceso actual con el que se realizaba la asignación no permitía una mejora continua para la institución.

Se realizaron numerosos procedimientos para conseguir que la problemática real de asignación se pueda convertir en un problema de programación lineal

Se logró encontrar una solución óptima y factible para el programa lineal la cual permitió que se ejecute la mejor asignación posible de docentes en la institución académica.

Tan solo un semestre después de implementar las mejoras, ya se encontró mejoras de 11.3 puntos porcentuales en el índice de satisfacción del alumno y 7.9 puntos porcentuales en el índice de satisfacción del docente. El incremento de estos índices ayudará al instituto a continuar con su misión principal la cual es brindar una educación de calidad.

A pesar de no haber podido medir una variación en el índice de deserción por el corto plazo que representa un semestre, al menos en un plazo de un año después de la implementación se espera que dicho índice empiece a mostrar mejoras tal como los índices de satisfacción. De lograr la meta inicialmente propuesta para los 3 primeros años, esto se vería reflejado en un incremento de S/.159,600 en el flujo de caja de la institución debido al alumnado adicional que se mantendría con la disminución del índice de deserción.

Finalmente se concluye que la implementación de soluciones para problemáticas reales en empresas usando modelos de programación lineal resulta beneficiosa en todo aspecto, por lo que se debería difundir mayormente su uso.

REFERENCIAS

- [1] El Comercio (2015) – disponible en la web:
<http://elcomercio.pe/economia/peru/ejecutivos-ven-crecimiento-economico-menor-al-5-2015-noticia-1782900>
- [2] Gestion (2016) – disponible en la web:
<http://gestion.pe/empleo-management/peru-demanda-300000-profesionales-tecnicos-al-ano-solo-egresa-tercera-parte-2163678>
- [3] Canales, Andres y de los Rios, Danae (2007). Factores explicativos de la deserción universitaria. *Calidad en la educación*, 26, pp. 171-201.
- [4] Hillier, Frederick S. y Lieberman, Gerald J. (2010). Introducción a la Investigación de Operaciones. Novena edición. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- [5] Winston, Wayne L. (2005). Investigación de Operaciones: aplicaciones y algoritmos. Cuarta edición. Ciudad de México: Thomson.

Digital Object Identifier: (to be inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).