



Proponer un modelo de asignación de recursos humanos apalancando en su equilibrio financiero para una organización educativa (media y básica) aplicando programación lineal

Presentado por: Joel Fernando Jaramillo García

Dirigido por:

Sebastián Zapata

Codirigido por:

Miguel Ángel Ariza

**Maestría en Ingeniería de la Gestión
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano
Año 2021**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	3
MARCO TEÓRICO.....	4
CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.....	5
LA FUNCIÓN OBJETIVO LINEAL.....	6
CONJUNTO DE RESTRICCIONES.....	7
SOLUCIÓN OPTIMA.....	10
ANÁLISIS POST OPTIMAL.....	12
OBJETIVOS.....	13
CONCLUSIONES.....	13
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15

RESUMEN

El presente artículo hace referencia a la aplicación de la programación lineal como método matemático para la resolución de la asignación de jornadas laborales y cantidades de docentes necesarias en un plantel educativo de media y básica, adicionalmente se realizó un análisis post optimal, buscando un pivote de la solución inicial para encontrar una siguiente solución factible.

Palabras claves: Programación lineal, timetabling, solución óptima, valor óptimo, optimización, minimización, función objetivo.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la educación básica y media, están buscando obtener mejores niveles de calificación a nivel Latinoamérica (Ministerio de Educación Colombia, 2018), en el año 2017 se obtuvieron los resultados de las pruebas del saber 11 contrastadas con las de 2016 conservando el mismo nivel, esto nos da un indicativo de que necesitamos implementar mejoras de alto impacto en el sistema educativo para poder seguir construyendo una mejora continua y significativa. (Ministerio de educación, 2018)

En cuanto a la situación de Colombia con respecto a otros países nos referenciamos en las mediciones que realizan las pruebas PISA, es de aclarar que esta prueba no se realiza en todos los países del mundo, tiene una periodicidad de 3 años, es de participación voluntaria y revisa aspectos de comprensión de lectura, matemáticas y ciencias. PISA fue implementado por OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) para la medición de 2015 alrededor de 540.000(OECD, 2015) estudiantes menores de 15 años de 72 países realizaron la evaluación, Colombia participó en 28 departamentos 125 municipios 380 colegios (públicos 258 y privados 122) 13.718 estudiantes, aunque mejoramos en las tres temáticas no alcanzamos la media.

La calidad educativa está ligada a diferentes variables como lo son: factores socioeconómicos, calidad del docente, contenidos curriculares relevantes, infraestructura,

horas dedicadas fuera de clase en las que desarrolla metodologías y preparan clases. Este artículo solamente desarrollará la cantidad de horas máxima que se pueden permitir proporcionar a los profesores con un equilibrio financiero, manteniendo la estacionalidad de los estudiantes que pierden el año escolar y modelando de acuerdo con una cantidad de horas por asignatura constantes para cada grupo.

Esta investigación busca simular un modelo de asignación de recursos humanos, para la atención de los servicios de educación media y básica, ya que se identifica la necesidad de incrementar la calidad de la educación, sin perder de vista la restricción de costos de mano obra por medio de la programación lineal.

MARCO TEÓRICO

Es necesario evaluar la tasa de llegada de los estudiantes a diferentes cursos y ver su tasa de salida en conjunto con aquellos que no logren aprobar el año, para este análisis se requiere describir este proceso de manera estocástica, través de cadenas de Markov (Frederick S. Hiller, 2010), de esta manera se afinaría las tasas de llegada a los diferentes cursos sin embargo no se ahondará en este artículo esta variable y se considerará como una constante que puede ser actualizada año a año para que el modelo lineal sea corrido a principios de cada año hallando la cantidad de recursos necesarios para cubrir la oferta horaria.

La estructura organizacional de los colegios es mecanizada según los lineamientos que ofrece (Jones, 2008). mecanizada por la restricción de dar clase a los estudiantes y cumplir con las actividades posteriores debe dejar un margen que pueda manejar la organización es aquí cuando la organización se enfrenta a un desafío en la definición de políticas estrategias y pudiendo movilizar la mano de obra necesaria para que se cumplan los objetivos. En conclusión, a este apartado las organizaciones mecanizadas generan un comportamiento predecible de las personas mientras que las estructuras orgánicas promueven la flexibilidad.

A nivel organizacional existen diferentes necesidades particulares, inherentes a la razón de ser de las mismas o de los accionistas, en el campo de la educación básica y media se habla con frecuencia de la calidad educativa, y es uno de los pilares estratégicos de la

organización sin perder de vista la rentabilidad de la empresa, estas necesidades se definen como estrategia empresarial y luego se decantan como indicadores con todas sus propiedades (Esquiaqui & Marulanda, 2012), también es común la aplicación del BALANCED SCORECARD o tablero de mando como modelo de gestión que permite medir los indicadores alineados a planes de acción a través de mapas estratégicos en estos tableros es común ver indicadores asociados a los costos de mano de obra que se presentan en la organización (Fernández, 2001).

Actualmente la preocupación de la calidad educativa a nivel mundial va de la mano con efecto de los ingresos laborales, tener una sociedad más educada permite ser más competitivos (Parantap, Basu; Keshab, 2012).

En esta línea se ha trabajado para temas universitarios con respecto a aprobaciones y reprobaciones de asignaturas, esta variable construye la cantidad de grupos que se presentaran en los cursos siguientes variable necesaria para el modelado de este caso (Otero et al., 2016).

La generación del modelo se realizará usando el método de programación lineal buscando describir de manera conceptual las restricciones del plantel educativo “del mundo real al mundo conceptual” (Barbosa, 2003) de esta manera se generará un modelo robusto que permita predecir los recursos necesarios en alineación con los objetivos organizacionales.

En similitud se han estudiado diferentes problemas de horarios de las escuelas secundarias, esta clase de problemas no son triviales e incluso se organizaron competencias alrededor de estos casos para que los estudiantes de diferentes universidades participen en su solución, las competencias de 2011 se centraron en problemas de escuelas secundarias “El ITC2011” (Müller et al., 2831).

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL

Para la construcción del modelo en programación lineal, es necesario representarlo mediante un modelo o matriz que tiene los siguientes tópicos:

Los **Costos de la nómina asistencial** es la función objetivo en la que centraremos los resultados buscando su reducción al máximo permitido.

Restricciones de demanda que están asociadas al conjunto de materias y e intensidad horaria que se dictan en el plantel educativo.

Restricciones de Oferta que son las jornadas o tiempo máximo de turnos laborales implementadas en el plantel educativo.

El modelado de un problema en programación lineal consta de dos parten fundamentales:

La primera es la función objetivo lineal que en nuestro caso describe los costos de los docentes de acuerdo con las jornadas establecidas en el plantel.

La segunda es un conjunto de restricciones descritas en forma de desigualdades lineales que detallan las restricciones de demanda y oferta.

Tomando como ejemplo la estructura para crear un modelo de programación lineal (Hillier & Liberman, 2010 pp. 28-29) en su generalidad consta de los siguientes elementos, una función objetivo que se va a minimizar constituida por variables X,Y con sus respectivos coeficientes, adicionalmente un conjunto de restricciones de tipo desigualdad o incluso igualdad acompañada de variables y coeficientes.

Función objetivo

$$\text{Min } Z = 3X + 2Y$$

Restricciones

$$X \leq 4$$

$$2Y \leq 12$$

$$3X + 2Y \leq 18$$

$$X, Y \geq 0$$

LA FUNCIÓN OBJETIVO LINEAL

La función objetivo lineal es una expresión matemática que representa una ecuación lineal que a su vez constituye un hiperplano. Su desplazamiento constituye el nivel de optimización que se desea buscar (Kolman Bernard & Hill David R., 2004).

La función objetivo se puede representar de la siguiente manera:

$$\text{(Minimizar) } Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$$

Para nuestro caso, la función objetivo a minimizar es el costo de nómina para esto se describe la siguiente función lineal:

$$\text{Minimizar } Z = \$ 1.986.300 \text{ (Profesor Combo 1 TC)} + \$ 1.016.400 \text{ (Profesor Combo 1 MT)} + \\ \$ 2.000.000 \text{ (Profesor Combo 1 HC)} + \$ 1.986.300 \text{ (Profesor Combo 2 TC)} + \$ 1.016.400 \\ \text{(Profesor Combo 2 MT)} + \$ 2.000.000 \text{ (Profesor Combo 2 HC)} + \$ 1.986.300 \text{ (Profesor} \\ \text{Combo 3 TC)} + \$ 1.016.400 \text{ (Profesor Combo 3 MT)} + \$ 2.000.000 \text{ (Profesor Combo 3 HC)}.$$

Donde:

TC: corresponde al costo de tiempo completo que puede trabajar un docente.

MT: corresponde al costo de medio tiempo que puede trabajar un docente.

HC: corresponde al costo de por horas que puede trabajar un docente.

Los coeficientes representan el costo de nómina de los profesores de acuerdo con la jornada laboral contratada.

CONJUNTO DE RESTRICCIONES

Por lo general, se hace referencia a las limitaciones como restricciones, estas se pueden agrupar en tres tipos.

1. Las primeras restricciones a veces reciben el nombre de **restricciones demanda u oferta** dependiendo del caso de estudio.

$$a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{in}X_n \geq b_i / a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{in}X_n \leq b_i$$

$$a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{in}X_n \geq b_i / a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{in}X_n \geq b_i$$

2. Algunas restricciones funcionales en forma de ecuación.

$$a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{in}X_n = b_i$$

3. Por último, las restricciones de no negatividad $x_j \geq 0$ (Hillier & Liberman, 2010, p. 29)

Para nuestro caso, las restricciones que describe el problema son:

Restricciones demanda: para esta se necesita conocer la cantidad de cursos y la cantidad de horas que se oferta por cada asignatura, a continuación, se presenta una tabla que describe la situación de la institución.

CANTIDAD DE CURSOS Y HORAS SEMANALES REQUERIDAS

	Cursos proyectados	6	7	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6
COMBOS	AREA	PJ	J	TR	1o	2o	3o	4o	5o	6o	7o	8o	9o	10o	11o
1	Ciencias N	0	0	0	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
1	Ciencias S	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1
3	Ed Artística	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	2	1	1
3	Ed Física	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
2	Ética y Valores	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Ed Religiosa	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Lengua Castellana	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	Inglés	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1	Matemáticas	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1	Tecnología e Inf.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	Filosofía	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
2	Ciencias Econo.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	Ciencias Políticas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
3	Énfasis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
2	Ambiente escolar	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7
1	Lectura Crítica	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	Emprendimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
3	Director Grupo Preescolar	16	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL HORAS SEMANALES		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
TOTAL HORAS SEMANALES * CURSO		216	252	288	288	252	252	252	252	252	252	252	252	216	216

Figura 1 Asignaturas establecidas en el plantel educativo, con su respectiva intensidad horaria por semana, **fuentes autor.**

Para la reducción del problema se establecieron grupos que se denominaron combos que se encuentran descritos en la figura 1 en la primera columna, dada esta reducción se presenta la siguiente tabla.

COMBOS Y HORAS SEMANALES REQUERIDAS

Cursos proyectados	6	7	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	97
AREA * SEMANA	PJ	J	TR	1o	2o	3o	4o	5o	6o	7o	8o	9o	10o	11o	HORAS DEMANDA
Combo 1	12	14	16	104	91	91	91	91	98	98	98	98	78	78	1.058
Combo 2	72	84	96	136	119	119	119	119	119	119	119	119	114	114	1.568
Combo 3	132	154	176	48	42	42	42	42	35	35	35	35	24	24	866
TOTAL HORAS SEMANALES * CURSO	216	252	288	288	252	252	252	252	252	252	252	252	216	216	3.492

Figura 2 Combos de asignaturas y cantidad horaria por semana, **fuentes autor.**

Se estableció una jornada de 30 horas semanales máximas para dictar clases en aulas, con esta constante se convierten las horas de la demanda, describiendo las restricciones de demanda:

$$(\text{Profesor Combo 1 TC}) + (\text{Profesor Combo 1 MT}) + (\text{Profesor Combo 1 HC}) \geq 35$$

$$(\text{Profesor Combo 2 TC}) + (\text{Profesor Combo 2 MT}) + (\text{Profesor Combo 2 HC}) \geq 52$$

$$(\text{Profesor Combo 3 TC}) + (\text{Profesor Combo 3 MT}) + (\text{Profesor Combo 3 HC}) \geq 28$$

Restricciones oferta: para esta se necesita conocer la cantidad de cursos dado que cada curso requiere un docente que realice acompañamiento al curso y restricciones del negocio que están dadas de la siguiente manera, el 70% de los docentes de tiempo completo pueden ser medio tiempo y el restante puede ser hora catedra.

$$(\text{Profesor Combo 1 TC}) + (\text{Profesor Combo 2 TC}) + (\text{Profesor Combo 3 TC}) \geq 97$$

$$(\text{Profesor Combo 1 MT}) + (\text{Profesor Combo 2 MT}) + (\text{Profesor Combo 3 MT}) \leq 70\% \sum_{i=1}^3 \text{Profesor Combo } i \text{ TC}$$

$$(\text{Profesor Combo 1 HC}) + (\text{Profesor Combo 2 HC}) + (\text{Profesor Combo 3 HC}) \leq 30\% \sum_{i=1}^3 \text{Profesor Combo } i \text{ TC}$$

Restricciones no negatividad: por razones inherentes a la solución la cantidad de docentes no puede ser negativa, así como no pueden ser fracciones.

Restricción de no negatividad: $\sum_{i=1}^3 \text{Profesor Combo } i \text{ TC} \geq 0$, $\sum_{i=1}^3 \text{Profesor Combo } i \text{ MT} \geq 0$ y $\sum_{i=1}^3 \text{Profesor Combo } i \text{ HC} \geq 0$.

Restricción de enteros: $\sum_{i=1}^3 \text{Profesor Combo } i \text{ TC} \in Z$, $\sum_{i=1}^3 \text{Profesor Combo } i \text{ MT} \geq 0$ y $\sum_{i=1}^3 \text{Profesor Combo } i \text{ HC} \geq 0$

SOLUCIÓN OPTIMA

La terminología de las soluciones de los modelos lineales varia respecto a lo acostumbrado el termino solución es usado ampliamente para distinguir la respuesta final a un problema, sin embargo, en los modelos lineales este termino se interpreta como una de las soluciones factibles que tiene el problema, es común que estos modelos tengan una región factible de soluciones o incluso que no tenga solución al no poder cumplir con alguna restricción "solución no factible".

Para nuestro caso al correr el modelo en solver por el motor simplex encontramos la siguiente solución:

Celda objetivo (Mín)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$D\$38	FO Min costo de nomina PJ	\$ 210.966.300	\$ 192.671.100

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
\$D\$41	Restricciones demanda: Profesor Combo 1 TC	17	68	Continuar
\$E\$41	Restricciones demanda: Profesor Combo 1 MT	18	0	Continuar
\$F\$41	Restricciones demanda: Profesor Combo 1 HC	0	0	Continuar
\$G\$41	Restricciones demanda: Profesor Combo 2 TC	52	1	Continuar
\$H\$41	Restricciones demanda: Profesor Combo 2 MT	0	0	Continuar
\$I\$41	Restricciones demanda: Profesor Combo 2 HC	0	0	Continuar
\$J\$41	Restricciones demanda: Profesor Combo 3 TC	28	28	Continuar
\$K\$41	Restricciones demanda: Profesor Combo 3 MT	0	0	Continuar
\$L\$41	Restricciones demanda: Profesor Combo 3 HC	0	0	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
\$M\$43	Combo 1 7o	68	\$M\$43>=\$O\$43	No vinculante	33
\$M\$44	Combo 2 7o	52	\$M\$44>=\$O\$44	Vinculante	0
\$M\$45	Combo 3 7o	28	\$M\$45>=\$O\$45	Vinculante	0
\$M\$48	Tiempo completo 7o	97	\$M\$48>=\$O\$48	Vinculante	0
\$M\$49	medio tiempo 7o	0	\$M\$49<=\$O\$49	No vinculante	68
\$M\$50	catedra 7o	0	\$M\$50<=\$O\$50	No vinculante	20

Figura 3 informe Microsoft Excel, solver motor Simplex 24/07/2021, Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas. **fuentes autor.**

Analizando esta primera solución encontramos que el costo de nomina de un mes seria de \$ 210.966.300 con la siguiente respuesta a las variables de demanda:

Profesor Combo 1 TC	17
Profesor Combo 1 MT	18
Profesor Combo 1 HC	0
Profesor Combo 2 TC	52
Profesor Combo 2 MT	0
Profesor Combo 2 HC	0
Profesor Combo 3 TC	28
Profesor Combo 3 MT	0
Profesor Combo 3 HC	0

ANÁLISIS POST OPTIMAL

Ahondando en la búsqueda de una mejor solución se estableció el modelo desde un punto de una solución conocida, a partir de la primera corrida para esto se dejó la variable “Profesor Combo 3 TC = 28” y se corrió el modelo nuevamente encontrando una nueva solución óptima ver (figura 3 columna Valor fina), con un valor de costo de nómina mes de \$192.671.100 con la siguiente respuesta a las variables de demanda:

Profesor Combo 1 TC	68
Profesor Combo 1 MT	0
Profesor Combo 1 HC	0
Profesor Combo 2 TC	1
Profesor Combo 2 MT	0
Profesor Combo 2 HC	0
Profesor Combo 3 TC	28
Profesor Combo 3 MT	0
Profesor Combo 3 HC	0

Se realizaron diferentes corridas partiendo de vértices conocidos y solo variando uno a la vez, sin embargo, no se encontró una mejor solución.

OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

Generar un modelo de asignación de recursos humanos para una organización educativa (media y básica) minimizando los gastos asociados.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos son:

- a. Generar un modelo lineal que describa las necesidades de tiempo para cada asignatura teniendo en cuenta la cantidad de grupos que se puedan presentar en cada curso.
- b. Comparar el modelo de programación lineal con el modelo de actual de la compañía en términos financieros.
- c. A partir de la solución óptima fijar algunas variables para buscar otras opciones de solución.

CONCLUSIONES

La formulación del modelo matemático de este problema cumple con la dinámica actual de la organización en cuanto a la asignación de recursos y jornadas, de los respectivos cursos proyectados y sus materias con su intensidad horaria. Particularmente la organización analizada genera contratos anuales, lo que permite que año a año se defina la planta docente adecuada para la atención (Kripka et al., 2005).

El uso de la programación lineal para la resolución de este tipo de problemas es muy eficiente para encontrar soluciones y aún más, si se llega a una solución post-optimal, en cuanto a los beneficios también resulta útil la definición de las cantidades de recursos y jornadas más adecuadas para la prestación del servicio, pudiendo extrapolar esta solución a otros planteles educativos de la misma compañía con diferentes tamaños, solo se requiere ajustar las matrices de restricción de demanda y oferta, también podemos correr el modelo año a año para definir la planta docente adecuada de acuerdo al cambio de cantidades de grupos que surja.

Partiendo de la planta docente instalada actualmente, la cual tiene 152 docentes con jornadas a tiempo completo generando un costo mes de \$ 301.917.600, la primera solución de \$ 210.966.300 ya es una reducción de \$ 90.951.300 y en contraste con la solución post-optimal \$ 192.671.100 encontramos una reducción de \$ 18.295.200 cifras muy importantes dado que el costo de nomina de colegios para el año 2018 rondaba el 28% ver **figura 4**, esto incide directamente en la utilidad del ejercicio y como se observa es uno de los rubros más importantes en los conceptos de gasto.

CONCEPTOS DEL GASTO		% PARTICIPACIÓN
GASTOS DE PERSONAL	GASTOS DOCENTES	28,6%
	GASTOS PERSONAL ADTIVO	4,4%
HONORARIOS		0,1%
IMPUESTOS		1,9%
ARRENDAMIENTOS		0,8%
SERVICIOS PÚBLICOS		2,8%
ASEO, VIGILANCIA		3,3%
TRANSPORTE		0,4%
SCIOS CONTRATADOS		3,7%
MANTENIMIENTO		4,7%
PROVISIONES/DEPRECIACIONES		1,6%
ALIMENTACIÓN		22,6%
MATERIALES/SUMINISTROS		1,1%
GASTOS INDIRECTOS		24,0%

Figura 4 porcentaje de Participación de gastos. fuente autor.

La programación lineal es un recurso muy útil para poder hallar soluciones a situaciones de complejidad media, incluso este caso se podría haber modelado de tal forma que determinara que asignaturas y cantidad de profesores en diferentes jornadas se requieren

en un plantel educativo, este tipo de modelado se puede ajustar para aplicar a negocios de retail, con demandas cambiantes y podría determinar las jornadas mas indicadas para el recurso que se usa en ese tipo de negocios, en la actualidad existen compañías que tiene el servicio de modelado de jornadas laborales, pero sus costos son muy altos haciéndolos inviables para organizaciones medianas y pequeñas, es aquí donde cabe buscar soluciones con este método.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, J. C. (2003). What is Mathematical Modelling? *Mathematical Modelling: A Way of Life*, 227–234. <https://doi.org/10.1533/9780857099549.5.227>
- Esquiaqui, G., & Marulanda, W. (2012). Estructura organizacional y estrategia empresarial. *Nueva Granada*, 36. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/7083>
- Fernández, A. (2001). El Balanced Scorecard: Ayudando a implantar una estrategia. *Revista de Antiguos Alumnos*.
- Hillier, Frederick, & Liberman, Gerald. (2010). *INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES*.
- Jones, G. (2008). *Teoría Organizacional Diseño y cambio en las organizaciones*. www.pearsoneducacion.net/jones
- Kolman Bernard, & Hill David R. (2004). *Bernard Kolman, David R. Hill-Algebra Lineal (8th Edition). v.Español. (2004)*. 1–2.
- Kripka, R. M. L., Oro, N. T., & Kripka, M. (2005). DISTRIBUCIÓN DE HORAS DE CRÉDITO EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR: UNA FORMULACIÓN PARA MAXIMIZAR EL USO DE LOS RECURSOS HUMANOS. *Ciencia y Engenharia/ Science and Engineering Journal*, 14(1), 67–74.
- Ministerio de Educación Colombia. (2018). *La calidad educativa en Colombia sigue avanzando - Ministerio de Educación Nacional de Colombia*. https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-364324.html?_noredirect=1
- Müller, T., Rudová, H., Müllerová, Z., Müller, T., Rudová, H., & Müllerová, Z. (2019). *University course timetabling and International Timetabling Competition 2019*. <http://www.itc2019.org>.
- OECD. (2015). COLOMBIA Key findings PISA results 2015. *Oecd*. <https://www.oecd.org/pisa/PISA-2015-Colombia.pdf>

Otero, R., Bolívar, S., & Palacios, J. (2016). Análisis de la retención de estudiantes de ingeniería basado en la pérdida consecutiva de una misma asignatura. Un enfoque de Cadenas de Markov Retention analysis of engineering students based on consecutive course failure. A Markov Chain Approach. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 5(16), 7–18. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=215048805002>

Parantap, Basu; Keshab, B. (2012). Government_bias_in_education_s.PDF. *Southern Economic Journal*, 79, 607–668. <http://link.galegroup.com.ezproxy.utadeo.edu.co:2048/apps/doc/A302463710/AONE?u=utadeo&sid=AONE&xid=6c6cbab8>