



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,
COLOMBIA



Encontro Internacional de
Educação em Engenharia ACOFI

Asignaturas cuello de botella en los programas de pregrado de la facultad de ingeniería en una universidad pública colombiana en el periodo 2017-1 a 2021-1

Luz Elena Valdiri Lugo, Yuri Tatiana Ospina Usaquén

Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá, Colombia

Resumen

Graduarse de ingeniero no es una tarea fácil, especialmente cuando a lo largo del proceso formativo aparecen algunas asignaturas que obstaculizan, retrasan o impiden desarrollar el plan de estudios en los tiempos establecidos, esto debido a que el estudiante debe cursarlas una o más veces. Estas asignaturas para el presente trabajo investigativo son consideradas como “asignaturas cuellos de botella”.

En este sentido se realizó un análisis estadístico descriptivo con R, de los resultados obtenidos por los estudiantes de una Facultad de Ingeniería de una Universidad Pública Colombiana en los semestres comprendidos entre 2017 – 1 hasta 2021 – 1; las bases de datos utilizadas fueron extraídas de los sistemas de información institucionales que arrojan información sobre las siguientes variables: año, semestre, programa académico, nombre de la asignatura, nota, estado, número de créditos de la asignatura y promedio general acumulado, a partir de las cuales se establecieron los siguientes índices: porcentaje de pérdida de una asignatura, pérdida promedio de una asignatura, pérdida promedio del programa, índice de repetencia, porcentaje de estudiantes fugados.

Resultado de este análisis se definieron tres tipos de asignaturas cuello de botella, cuello de botella rotos, cuello de botella medio y cuello de botella largos y para la Facultad se identificaron como: asignaturas con pérdida de promedio alta (Álgebra Lineal, Estática, Cálculo Diferencial, Cálculo Integral, Física - Mecánica, Electrónica Análoga y Laboratorio, Matemáticas Básicas); asignaturas cuello roto (Cálculo Integral, Matemáticas Básicas); asignaturas cuello medio (Alge-

bra Lineal, Calculo Diferencial, Física -Mecánica) y asignaturas cuello largo (Electrónica Análoga y Laboratorio Estática).

Este análisis sirvió de insumo para indagar entre los estudiantes y profesores las causas de pérdida de estas asignaturas y desarrollar talleres de empoderamiento académico.

Palabras clave: cuello de botella; índice de pérdida; índice de repitencia; pérdida promedio

Abstract

Graduating as an engineer is not an easy task, especially when some subjects appear throughout the training process that hinder, delay or prevent the development of the study plan within the established times, due to the fact that the student must take them one or more times. These subjects for the present investigative work are considered as "bottleneck subjects".

In this sense, a descriptive statistical analysis was carried out with R, of the results obtained by the students of a Faculty of Engineering of a Colombian Public University in the semesters between 2017 – 1 to 2021 – 1; The databases used were extracted from the institutional information systems that provide information on the following variables: year, semester, academic program, name of the subject, grade, status, number of credits of the subject and accumulated general average, from of which the following indices were established: percentage of loss of a subject, average loss of a subject, average loss of the program, repetition rate, percentage of absconded students.

As a result of this analysis, three types of bottleneck subjects were defined, broken bottlenecks, medium bottlenecks and long bottlenecks, and for the Faculty they were identified as: subjects with high average loss (Linear Algebra, Statics, Differential Calculus, Integral Calculus, Physics - Mechanics, Analog Electronics and Laboratory, Basic Mathematics); broken neck subjects (Integral Calculus, Basic Mathematics); medium neck subjects (Linear Algebra, Differential Calculus, Physics-Mechanics) and long neck subjects (Analog Electronics and Static Laboratory). This analysis served as input to investigate among students and teachers the causes of losing these subjects and develop academic empowerment workshops.

Keywords: bottleneck; loss rate; repetition rate; average lost

1. Introducción

El rendimiento académico de un estudiante es el resultado del trabajo académico desarrollado por el estudiante en su proceso formativo, en sentido micro se puede definir como el resultado obtenido por un estudiante en una asignatura a lo largo de un periodo académico, este resultado se constituye en una valoración cuantitativa, que según la escala de calificaciones utilizada clasifica las asignaturas en asignaturas ganadas y asignaturas perdidas.



En este sentido Vargas (2007), expresa que este es un indicador cuando se aborda el tema de la calidad en la educación superior y que se constituye como un resultado de diferentes y complejos factores que actúan en la persona que aprende, y ha sido definido con un valor atribuido al logro del estudiante en las tareas académicas.

La pérdida de asignaturas ocasiona una diferencia entre el tiempo estimado de duración del programa académico y el tiempo real de graduación de un estudiante; es así como algunas asignaturas retrasan de manera significativa la graduación de los estudiantes. Estas asignaturas para el presente trabajo se han denominado asignaturas cuello de botella.

En Colombia el Ministerio de Educación Nacional en la Resolución del 2773 de 2003, define las características específicas de calidad para los programas de formación profesional de pregrado en Ingeniería estableciendo las siguientes áreas de conocimiento: ciencias básicas, ciencias básicas de ingeniería, ingeniería aplicada, económico administrativa y formación complementaria.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad está comprendida por cinco programas de Ingeniería: Civil, Multimedia, Telecomunicaciones, Mecatrónica e Industrial cuyos planes de estudio corresponden a 10 semestres. Para efectos del estudio se han excluido de las asignaturas electivas de los programas y opción de grado. En total se analizaron 6250 registros de calificaciones definitivas reportadas en el sistema institucional de Calificaciones que corresponden a las 186 asignaturas obligatorias.

2. Metodología

La metodología utilizada es de tipo cuantitativo dado que se realiza el análisis de las bases de datos y se calculan los índices sobre las variables de perdida y repitencia que permiten definir una tipología en los cuellos de botella. La investigación se desarrolló en a partir siguientes etapas: Revisión de la literatura, análisis de la información (clasificación de variables), definición de índices e indicadores (% perdida promedio alto, índices de repitencia, y cálculos de cuellos de botella (largo medio, roto), procesamiento de la información y resultados. A continuación, se describen las etapas de análisis de la información y definición de índices e indicadores y procesamiento de la información.

Etapas: Análisis de la información (Definición de variables)

Para el desarrollo de la investigación se utilizan las bases de datos obtenidas desde las plataformas institucionales, por medio de los reportes UniReportshow en las cuales se resume la información sobre las calificaciones finales obtenidas por los estudiantes semestres comprendidos entre 2017 – 1 hasta 2021 – 1. Para el manejo de la información se anonimizaron los datos. Del sistema institucional se procesaron dos bases de datos:

- **Base de datos perdida:** información de los estudiantes relacionada a la perdida de la asignatura por semestre entre 2017-1 a 2021-2 y



- **Base de datos repitencia:** información sobre la repitencia de las asignaturas asociada a los estudiantes que repiten las asignaturas.

De estas bases de datos se analizan las siguientes variables:

- **Base de datos perdida:** Año, Semestre, Código del estudiante, Programa, Nivel de la asignatura en el plan de estudios, Asignatura y Estado de aprobación de la asignatura.
- **Base de datos repitencia:** Año, Semestre, Código del estudiante, Programa, Nivel de la asignatura en el plan de Estudios y Asignatura.

Etapas: Definición de índices e indicadores

A partir del análisis de la información se definen los siguientes indicadores relacionados a la: pérdida de una asignatura, pérdida por Facultad y repitencia de una asignatura. Estos se describen a continuación:

- **Indicadores relacionados a la pérdida de una asignatura**

- *Porcentaje de Perdida de una asignatura por semestre:* Este porcentaje se calculó por cada una de las asignaturas en cada uno de los semestres de 2017 – 1 a 2021-1

$$\%P_{S_n} = \frac{\text{Número de estudiantes reprobados en el semestre } n}{\text{Número de estudiantes matriculados en el semestre } n}$$

- *Perdida Promedio de una asignatura $\overline{P_{Asig}}$:* Este indicador se tomó como el promedio de los porcentajes de pérdida para cada una de las asignaturas que se imparten los programas de la Facultad

$$\overline{P_{Asig}} = \frac{\%P_{S_1} + \%P_{S_2} + \dots + \%P_{S_9}}{9}$$

- **Indicadores relacionados a la pérdida por Facultad**

- *Perdida promedio para la Facultad ($\overline{P_{Fac}}$):* Para este indicador se considera el número de asignaturas n que hacen parte del Plan de estudios vigente para cada programa de la Facultad

$$\overline{P_{Fac}} = \frac{\overline{P_{Asig_1}} + \overline{P_{Asig_2}} + \dots + \overline{P_{Asig_n}}}{n}$$

Donde $\overline{P_{Asig_n}}$ corresponde a la pérdida promedio de cada asignatura del plan de estudio analizado.

- *Asignatura con pérdida promedio alta:* Las asignaturas que se consideran con pérdida promedio alta son aquellas cuya pérdida promedio cumple:

$$\overline{P_{Asig}} \geq \overline{P_{Fac}} + \sigma_{Fac}$$

Donde σ_{Fac} es la desviación estandar¹ calculada para las asignaturas del programa.

- **Indicadores relacionados a la repitencia de una asignatura**

1. Se define la desviación estándar como: $\sigma_{Fac} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (P_{Fac} - P_{Asig_i})^2}{n}}$



- *Porcentaje de Repitencia*: Este índice establece el porcentaje de estudiantes que en el periodo de tiempo de 2017-I a 2021-I repitieron la asignatura y se calcula así:
$$\% \text{ de Repitencia: } \frac{\text{Número de estudiantes Repitentes de la asignatura}}{\text{Número de Estudiantes Matriculados en la asignatura}}$$
- *Porcentaje de Repitencia de una vez*: Este índice se calcula sobre el número total de estudiantes que repiten la asignatura y permite reconocer el porcentaje de estudiantes que requieren repetir la asignatura una vez para aprobarla.

$$\% \text{ de Repitencia de una vez: } \frac{\text{Número de estudiantes que repiten la asignatura una vez}}{\text{Número de estudiantes que repiten la asignatura}}$$

- *Porcentaje de Repitencia de dos o más veces*: Este índice se calcula sobre el número total de estudiantes que repiten la asignatura y permite reconocer el porcentaje de estudiantes que requieren repetir la asignatura una 2 o más veces para aprobarla

$$\% \text{ de Repitencia de una 2 o más: } \frac{\text{Número de estudiantes que repiten la asignatura 2 o más veces}}{\text{Número de estudiantes que repiten la asignatura}}$$

Posterior a la determinación de los índices descritos se definen los siguientes tipos de asignaturas cuello de botella:

- **Asignaturas tipo Cuellos de Botella Rotos.**

Este tipo de cuello de botella aparece cuando se compara el indicador de *% perdida promedio* ($\overline{P_{Asig}}$) con el *% de repitencia de una asignatura*. A la diferencia entre estos indicadores se le denominará **% de Fugados** y si es mayor al promedio de porcentajes de perdida de dos o más, determinará que una asignatura se comporta como un cuello de botella roto

- **Asignaturas tipo Cuellos de Botella Medios.** Este tipo de cuello de botella está dado por las asignaturas con un alto índice de *% Perdida Promedio* y *% de Repitencia de una sólo vez alto*, lo que implica que muchos estudiantes pierden la asignatura, pero sólo requieren una repetirla una vez para que esta sea aprobada.

- **Asignaturas tipo Cuellos de Botella Largos.** Este tipo de cuello de botella está dado por las asignaturas con un alto índice de *% Perdida Promedio* y *% de Repitencia de una dos o más alto*.

Etapas: Procesamiento de la información

Se procede a trabajar con las bases de datos en R, se realiza el cruce de las bases de datos para tomar estadísticos descriptivos y la definición de los indicadores que darán cuenta de las asignaturas que se han denominado *Cuellos de botella*

3. Análisis de Resultados

Para el análisis de la información se utilizó el software R, donde se calcularon los promedios de pérdida de las calificaciones de las asignaturas y las desviaciones estándar. Posteriormente se calcularon los valores de referencia (perdida promedio, perdida por facultad, desviación estándar)



dar del programa y desviación estándar de facultad). A partir de los resultados obtenidos se procede a clasificar las asignaturas en los cuellos de botella anteriormente descritos.

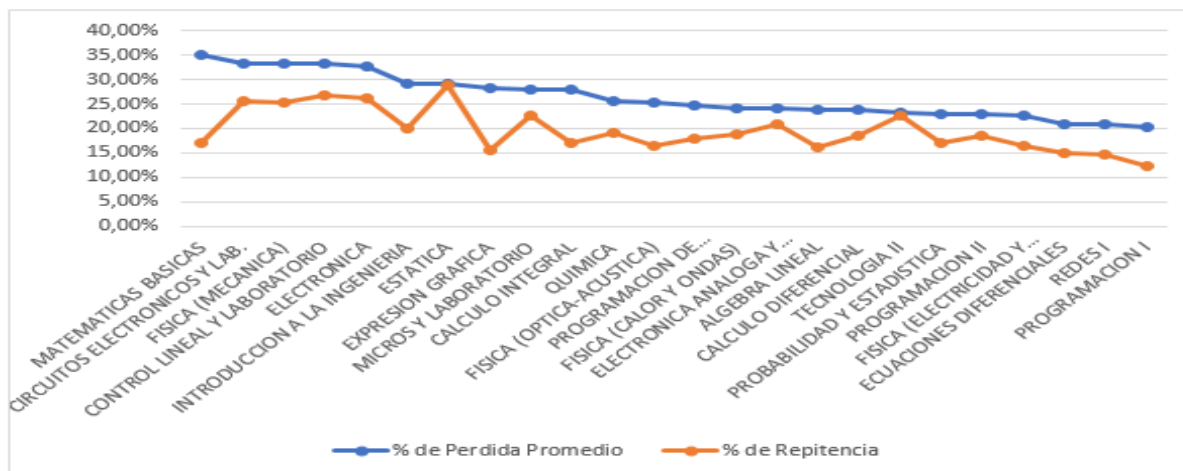
En el análisis de la pérdida promedio de las 186 asignaturas se logra identificar que El indicador de pérdida promedio para la Facultad de Ingeniería corresponde a $\overline{P_{Fac}} = 10.08\%$ con una desviación estándar de $\sigma_{Fac} = 8.28\%$, con esto se define que las asignaturas con pérdida promedio alta son aquellas tienen que $\overline{P_{asig}} \geq 18.36\%$. En la siguiente tabla se presentan estas asignaturas y su % de pérdida promedio y % de repitencia:

Asignatura	% de Pérdida Promedio	% de Repitencia
MATEMÁTICAS BÁSICAS	35,15%	17,00%
CIRCUITOS ELECTRÓNICOS	33,36%	25,73%
FÍSICA (MECÁNICA)	33,17%	25,43%
CONTROL LINEAL Y LABORATORIO	33,16%	26,73%
ELECTRONICA	32,55%	26,31%
INTRODUCCIÓN A LA INGENIERIA	29,23%	20,04%
ESTÁTICA	29,18%	28,71%
EXPRESIÓN GRÁFICA	28,11%	15,55%
MICROS Y LABORATORIO	28,02%	22,50%
CALCULO INTEGRAL	27,87%	17,18%
QUIMICA	25,69%	19,21%
FÍSICA (ÓPTICA - ACÚSTICA)	25,22%	16,32%

Asignatura	% de Pérdida Promedio	% de Repitencia
PROGRAMACIÓN DE COMPUTACION III	24,69%	17,86%
FÍSICA (CALOR Y ONDAS)	24,20%	18,70%
ELECTRONICA ANÁLOGA	24,10%	20,96%
ALGEBRA LINEAL	23,76%	16,06%
CALCULO DIFERENCIAL	23,69%	18,61%
TECNOLOGIA II	23,25%	22,77%
PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA	23,08%	16,91%
PROGRAMACIÓN II	22,94%	18,38%
FÍSICA (ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO)	22,77%	16,51%
ECUACIONES DIFERENCIALES	20,93%	14,87%
REDES I	20,81%	14,74%
PROGRAMACIÓN I	20,42%	12,41%

Tabla 1. Asignaturas con índice de pérdida promedio alto y de % de Repitencia Facultad de Ingeniería. Fuente: Elaboración propia

En la siguiente gráfica se muestran los polígonos que permiten comparar los porcentajes de pérdida promedio y los porcentajes de fugados por asignatura.



Gráfica 1. Polígono de comparación de % de repitencia y % de pérdida promedio. Facultad de Ingeniería. Fuente: Elaboración propia

En particular, se puede observar que algunas distancias entre el % *pérdida promedio* y el % *fugados* son considerablemente altas, lo que implica que los estudiantes pierden la asignatura y no vuelven a matricularla. Para la clasificación de estas asignaturas como cuellos de botella roto se considera que el % *fugados* $\geq 8\%$ y corresponden a: Matemáticas Básicas, Introducción a la ingeniería, Expresión gráfico, Cálculo Integral, Física (óptica-acústica) y Programación I. En la siguiente tabla, se ilustran los índices de pérdida promedio, de repitencia y fugados.

Asignatura	% de Pérdida Promedio	% de Repitencia	% de Fugados
MATEMÁTICAS BÁSICAS	35,15%	17,00%	18,15%
INTRODUCCIÓN A LA INGENIERIA	29,23%	20,04%	9,18%
EXPRESIÓN GRAFICA	28,11%	15,55%	12,56%
CALCULO INTEGRAL	27,87%	17,18%	10,70%
FÍSICA (ÓPTICA - ACÚSTICA)	25,22%	16,32%	8,90%
PROGRAMACIÓN I	20,42%	12,41%	8,02%

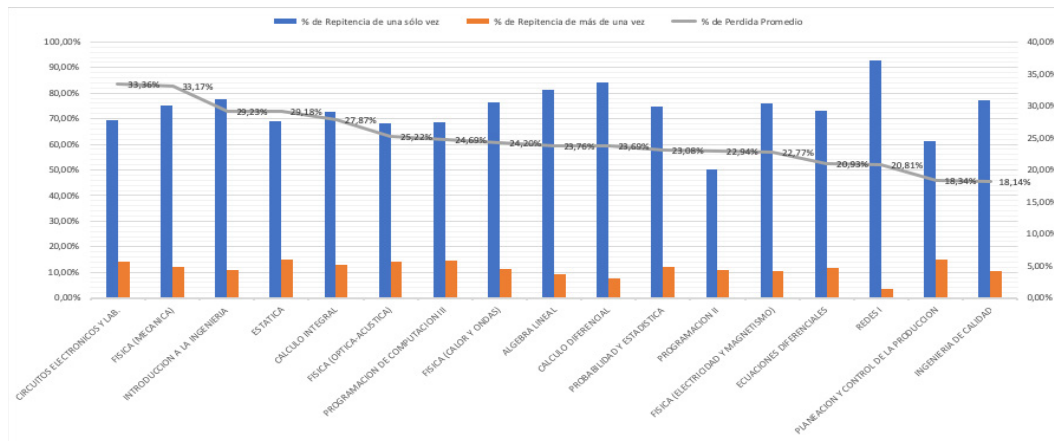
Tabla 2. Cuellos rotos Administración de Empresas -Villa académica. Fuente: Elaboración propia.

En el análisis de los índices de repitencia se observa que algunas asignaturas de pérdida promedio alta tienen dos tipos de comportamiento; el primero corresponde a aquellas asignaturas que se repiten una vez y son aprobadas denominadas *Cuellos de Botella medios* y el segundo tipo de asignaturas que requieren más dos o más veces cursadas para su aprobación, estas asignaturas son las denominadas *Cuellos de Botella Largos*.

Para la clasificación de las asignaturas como cuello de botella medios se toma que el % *de repitencia de una vez* $\geq 70\%$ y corresponden a: Circuitos electrónicos y lab., Física (mecánica), Introducción a la ingeniería, Estática, Cálculo integral, Física (óptica - acústica), Programación de computación III, Física (calor y ondas), Álgebra lineal, Cálculo diferencial, Probabilidad y estadística, Programación II, Física (electricidad y magnetismo), Ecuaciones diferenciales, Redes I, Planeación y control de la producción e Ingeniería de calidad. En la siguiente gráfica se ilustran

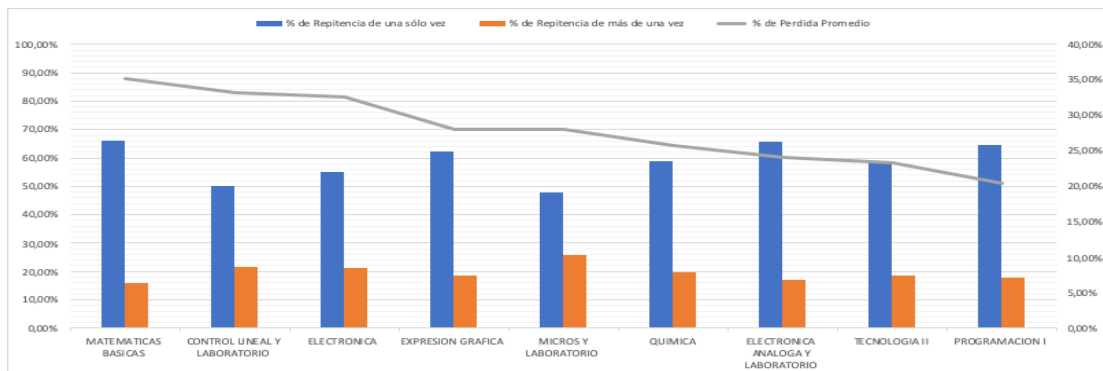


estas asignaturas con su perdida promedio y las barras de porcentajes para % de repitencia una vez.



Gráfica 2. Cuellos medios Facultad de Ingeniería. Fuente: Elaboración propia

Para la clasificación de las asignaturas como cuellos de botella largos se considera que % de repitencia de 2 o más veces $\geq 15\%$, es decir, que estas asignaturas requieren cursarse 2 o más de una vez para lograr la aprobación, las asignaturas que se clasifican así son: Matemáticas básicas, Control lineal y laboratorio, Electrónica, Expresión Gráfica, Micros y laboratorio, Química, Electrónica análoga y laboratorio, Tecnología II y Programación I. En la gráfica 3 las barras de color naranja muestran los porcentajes de repetición de dos o más veces y se observa que de manera simultanea el porcentaje de repitencia de una sólo una vez se encuentra por debajo de 70%.



Gráfica 3. Cuellos largos Facultad de Ingeniería. Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

Como principal aporte de esta investigación se encuentra la construcción de la tipología de Cuellos de botella y la identificación de las asignaturas que en la Facultad de Ingeniería tiene esos comportamientos. Para los cuellos de botella rotos que tienen asignaturas con un índice de perdida promedio alto y un % porcentaje de fugados superior al 8%, lo que implica que los estudian-



tes desisten de la matriculación de esta asignatura así que se puede considerar como un posible descueres. Para los Cuellos de botella medios se consideraron aquellas asignaturas con un alto índice de % *Perdida Promedio* y % *de Repitencia de una sólo vez* superior al 70%, así se puede entender que estas asignaturas presentan una perdida alta pero sólo se requiere una vez de repitencia para aprobarla. Por último, los Cuellos de botella largos se definieron como aquellas asignaturas que % *Perdida Promedio* y % *de Repitencia de una dos* por encima del 15% que tiene implicaciones sobre el tiempo de graduación del estudiante.

De otro lado, se observa que las asignaturas con perdida promedio alta se encuentran en los cuatro primeros semestres y corresponden a las áreas de Ciencias Básicas, por ejemplo, Matemáticas Básicas, Cálculo Integral, Algebra Lineal, Calculo Diferencial, Física –Mecánica. Para el área de las Ciencias Básicas de ingeniería, se encontraron como cuellos de botellas asignaturas como: Introducción a la ingeniería, Control lineal y Lab., Estática y Micros y Laboratorio. Para las áreas de formación complementaria y formación económico-administrativa no se encontraron asignaturas cuellos de botella.

La asignatura Matemáticas Básicas de primer semestre en el plan de estudios se constituye en el cuello roto con mayor porcentaje de fugados. Esto invita a indagar con otros instrumentos sobre las posibles causas de la perdida y del desistimiento por la continuidad en el programa.

Por último, se señala que este estudio permitió observar el comportamiento en la perdida relacionados al periodo de análisis así que es interés de para futuros trabajos extender el periodo de análisis, revisar el comportamiento de las curvas de tiempo e involucrar variables de deserción, deserción por periodo que sirvan como insumos para la toma de decisiones institucionales y curriculares que propendan por la calidad y el acompañamiento de los estudiantes.

5. Referencias

- Contreras, L. E., Fuentes, H. J., & Rodríguez, J. I. (2020). Predicción del rendimiento académico como indicador de éxito/fracaso de los estudiantes de ingeniería, mediante aprendizaje automático. *Formación universitaria*, 13(5), 233-246.
- González, J. A., Mataix, C., Carrasco, J., Riveira, V. (2008, September). Utilización de la teoría de las restricciones en el análisis de la duración efectiva de los estudios de ingeniería. In *II International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management* (pp. 837-846).
- Mejía Vélez, L. F., Restrepo González, G., Parra Mesa, C. M., Castañeda Gómez, E., Muñoz Cardona, Á. E., Martínez Gamboa, L., & Copete Perluz, L. T. (2010). Graduarse de ingeniero en 10 semestres una proeza.
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia., Resolución Número 2773 de 2013, Bogotá-Colombia (2003)
- Vargas, G. M. G. (2007). Factores asociados al rendimiento académico en estudiantes universitarios, una reflexión desde la calidad de la educación superior pública. *Revista educación*, 31(1), 43-63.
- Vega, L. M., Palomino, K. M. V. (2014). Teoría de las restricciones y proceso de mejora continua vs metodología justo a tiempo (jit) y costos abc. *Dictamen Libre*, (14), 7-13.
- Villagomez, G., Viteri Moya, J., Medina, A. (2012). Teoría de restricciones para procesos de manufactura. *Enfoque UTE*, 3(1), pp. 14 - 28. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v3n1.7>



Sobre los autores

- **Luz Elena Valdiri Lugo:** Ingeniera Química, Especialista en estadística aplicada. Especialista docencia y pedagogía universitaria. Magister en educación. Profesora de la Facultad de Ingeniería de Universidad Militar Nueva Granada. luz.valdiri@unimilitar.edu.co
- **Yuri Tatiana Ospina Usaquén:** Licenciada en Matemáticas, Especialista en Matemáticas aplicadas. Magister en Docencia de las Matemáticas. Profesora del Departamento de Matemáticas de la Universidad Militar Nueva Granada. yuri.ospina@unimilitar.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

