

Diseño de un modelo de dinámica de sistemas para simular la población estudiantil en programas de Ingeniería Industrial. Caso de estudio: Universidad Santo Tomás. Bogotá -Colombia.

Gelvez Alarcón Oscar Mauricio¹, Navarro Romero Elisa², Galvis Córdoba Ana Carolina³, Lozano Vera Wigner Pompeyo⁴, Montoya Martínez María Fernanda⁵

¹Universidad Militar Nueva Granada, Colombia oscar.gelvez@unimilitar.edu.co, ²Universidad Santo Tomas Colombia elisanaivarro@usantotomas.edu.co, ³Universidad Santo Tomas Colombia, anagalvis@usantotomas.edu.co, ⁴Universidad Santo Tomas Colombia wignerlozano@usantotomas.edu.co, ⁵Universidad Santo Tomas Colombia mariamontoyam@usantotomas.edu.co

RESUMEN -La siguiente propuesta de investigación tiene como objetivo principal diseñar un modelo de Dinámica de Sistemas para simular la población estudiantil en programas de ingeniería industrial, simulando la población estudiantil hacia el año 2025. El modelo de dinámica de sistemas propuesto inicia con la recolección de estadísticas sobre la población estudiantil proponiendo una muestra a conveniencia la cual es la facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Santo Tomas en la sede Central (Bogotá D.C) teniendo variables como el número de estudiantes matriculados, número de estudiantes graduados y los casos de deserción entre los años 2015 y 2020. Basándose en el arquetipo de población se propone el diagrama causal y el diagrama de flujo y variables con el fin de realizar la simulación correspondiente en el software *Vensim*. Por medio de ecuaciones lógicas y matemáticas se logran hallar datos claves como lo son la tasa de deserción, la tasa de graduación y la tasa de entrada al sistema, las cuales permitieron ejecutar el modelo con un inicio en el año 2020 hasta la proyección final al año 2025, además se realiza el análisis de varios escenarios generados por el software lo cual ayuda a medir la incidencia de las variables dentro del modelo. Cabe resaltar que este modelo pretende ser una ayuda en temas de planeación para los diferentes programas de ingeniería que ofrecen las universidades.

ABSTRACT- The following research proposal has the main objective of designing a System Dynamics model to simulate the student population in industrial engineering programs, simulating the student population towards the year 2025. The proposed system dynamics model begins with the collection of statistics on the student population proposing a convenient sample which is the Faculty of Industrial Engineering of the Santo

Tomas University in the Central headquarters (Bogotá DC) having variables such as the number of students enrolled, number of graduate students and the cases of dropouts between the years 2015 and 2020. Based on the population archetype, the causal diagram and the flow and variables diagram are proposed in order to carry out the corresponding simulation in the Vensim software. Through logical and mathematical equations, it is possible to find key data such as the dropout rate, the graduation rate and the entry rate to the system, which allowed the model to be executed with a start in 2020 until the final projection at the end of the year. year 2025, in addition, the analysis of various scenarios generated by the software is carried out, which helps to measure the incidence of the variables within the model. It should be noted that this model is intended to be an aid in planning issues for the different engineering programs offered by universities.

Palabras clave

Sistema, Diagrama Causal, Diagrama de Flujo, Dinámica de Sistemas, Simulación.

Keywords

System, Causal diagram, Flow Diagram, Systems Dynamics, Simulation

Digital Object Identifier: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.260>
ISBN: 978-958-52071-8-9 **ISSN:** 2414-6390
DO NOT REMOVE

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años, los sistemas educativos locales y nacionales han evolucionado desde sistemas relativamente simples a estructuras increíblemente complejas, interdependientes e influenciadas por las diferentes políticas, cuyo valor, eficacia y dirección ha sido cuestionada por muchos. Estos sistemas han evolucionado con el tiempo a través del crecimiento y la reestructuración. Cuando se encuentra alguna ‘bandera roja’ en el sistema –observando por ejemplo los índices de éxito escolar del alumnado, las tasas de deserción escolar, el abandono de la labor docente por parte de los profesores, etc.– se insta a las autoridades a construir, o reconstruir, políticas que ayuden a mejorar la situación. Sin embargo, la configuración de las políticas futuras y el diseño del sistema educativo requiere que se consideren detenidamente las dinámicas de sistemas que a menudo se descuidan en la formulación de políticas [1].

De hecho, se da a menudo el caso de que las mismas políticas que se elaboran para mejorar los casos que requieren ser revisados terminan empeorando la situación [2]. En el campo de la educación podemos encontrar un ejemplo similar. En EE. UU., la ley “Que ningún niño se quede atrás” del 2001 fue una ley federal instituida para abordar varias de las principales ‘banderas rojas’ del sistema educativo; especialmente el rendimiento insuficiente de los estudiantes y la enseñanza estricta como sinónimo de educación de calidad [3].

Con el fin de aportar académicamente al estudio del control en sistemas educativos, se presenta el siguiente trabajo el cual tiene como base la aplicación del método de Dinámica de Sistemas en la población de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Santo Tomás, Bogotá-Colombia, teniendo como fuentes de información datos históricos reales los cuales permitieron realizar la simulación adecuada.

Al implementar esta técnica, se busca observar qué población estudiantil tendrá esta Facultad al año 2025 de forma dinámica, viendo así mismo su comportamiento entre datos importantes como el número de matriculados, los estudiantes actuales, graduados y los que desertan. La metodología que se utilizó en la investigación consistió en la recolección de datos cuantitativos reales que la Facultad tiene a su poder en bases de datos, con el

fin de aplicar una simulación dinámica al sistema de estudio.

La Dinámica de Sistemas es una metodología para el análisis y resolución de problemas, desarrollada por Jay Forrester y presentada en sus obras [4], esta tiene en cuenta el comportamiento a través del tiempo de las variables que se encuentran dentro de un sistema, se usa principalmente en temas ambientales (cambio climático), en temas demográficos, nivel de ventas, casos epidemiológicos, en ofertas y demandas educativas, entre otros.

II. MARCO TEÓRICO

El presente documento tuvo en cuenta diferentes conceptos claves con el fin de entender el contexto general del tema que se trata y así, obtener la mejor solución posible. Los conceptos tratados durante todo el proceso fueron: Sistema, Diagrama Causal, Diagrama de Flujo, Dinámica de Sistemas y la educación relacionado a la Dinámica de Sistemas.

Para entender el contexto general y luego ir al detalle, se inicia con el término de Sistema, el cual es un objeto dotado de alguna complejidad, formado por partes coordinadas, de modo que el conjunto posea cierta unidad, que es precisamente el sistema [5]. Esta interacción se vuelve parte fundamental del sistema y lo convierte en algo real y complejo con entidad propia, característica que lo diferencia de su entorno. Esta identidad permanece a lo largo del tiempo bajo constantes cambios, es decir; cumple con el factor del dinamismo.

Ahora, se tiene que la Dinámica de Sistemas es una metodología que tiene como meta crear mejores políticas de dirección y estructuras organizativas [6], el cual tiene como principal fundamento el concepto de realimentación, el cual existe cuando el medio ambiente conduce a un acto decisivo cuyo resultado es una acción que influye en el medio y, por lo tanto, en las decisiones futuras [6].

Esta metodología se compone por ciertos pasos, los cuales corresponden a:

1. Determinar el fenómeno que se va a modelar
2. Realizar un modelo mental
3. Definir el proceso del modelo por medio de una oración o prosa
4. Desarrollar un diagrama causal
5. Elaborar un diagrama de flujo
6. Definir las ecuaciones

7. Llevar el modelo al software
8. Analizar los resultados

Entre los pasos se observa factores importantes como el diagrama causal y el diagrama de flujo, el primer término corresponde al diagrama que representa la estructura de la situación en la que se indaga, esta estructura consiste en variables y vínculos causales (con dirección y polaridad), a veces demorados que forman bucles de retroalimentación (positiva o negativa) [7]. Las retroalimentaciones negativas generan equilibrio, mientras que los ciclos positivos generan inestabilidad.

Por otra parte, el diagrama de flujos, también denominado Diagrama de Forrester, es el diagrama característico de la Dinámica de Sistemas, es una traducción del Diagrama Causal a una terminología que permite la estructura de las ecuaciones en el ordenador para así poder validar el modelo y observar la evolución temporal de las variables [8]. Las variables que componen este tipo de diagramas son llamadas variables de flujo, de stock, las exógenas y las auxiliares.

Como se había mencionado en la introducción, la Dinámica de Sistemas tienen diferentes áreas de aplicación, pero para el caso de estudio de este proyecto es importante saber en específico el enfoque en la oferta y demanda educativa. Forrester menciona en una de sus publicaciones que: “La mente humana toma imágenes, mapas y relaciones estáticas de una manera maravillosamente efectiva” [9], pero cuando los sistemas y sus partes interactúan, a la mente humana se le dificulta simular y percibir los cambios a través del tiempo del sistema [4]. Esto debido a que durante mucho tiempo el sistema académico ha usado problemas lineales y estáticos que no le permite ver problemas del mundo dinámicos. Por esto mismo la aplicación de la Dinámica de Sistemas en modelos académicos permiten que se genere mayor capacidad de cambio y adaptabilidad ante los desafíos constante del ambiente exterior real.

III. MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo tuvo como referencia para su desarrollo datos cuantitativos sobre la población estudiantil de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Santo Tomás, sede principal ubicada en la ciudad de Bogotá, Colombia.

Paso 1. Determinar el fenómeno a modelar

El caso de estudio que se determinó fue enfocado al tema de oferta y demanda educativa de la Facultad de Ingeniería Industrial de la USTA, donde por medio de un modelo de simulación se busca determinar cuántos estudiantes estarán en la facultad al año 2025.

Paso 2. Recolectar datos cuantitativos

Los datos cuantitativos fueron recolectados en bases de datos oficial de la Facultad la cual brindó a los autores del proyecto, teniendo en cuenta una política de privacidad de datos. En esta base de datos oficial se extrajeron variables discretas como el número de estudiantes matriculados, número de estudiantes graduados y los que desertan entre los años 2015 y 2020.

Paso 3. Realizar un diagrama causal

Este diagrama se desarrolló en formato digital en el programa Word, haciendo uso de rectángulos y flechas que demuestran el tipo de polaridad y la dirección de cada una de las variables, cada variable tiene su nombre característico.

Paso 4. Realizar un diagrama de flujo

El diagrama de flujo fue una traducción exacta del diagrama causal generado en el paso 5, con el fin de tener ahora una lectura adecuada para el software en el que simularemos en el paso 6.

Paso 5. Determinar las ecuaciones

Las ecuaciones se determinaron con ayuda de la base de datos, donde se hallaron principalmente la tasa de deserción, la tasa de graduación y la tasa de entrada al sistema.

Paso 6. Llevar el modelo al software

Con el diagrama de flujo final y las ecuaciones correctas para cada una de las variables que conforman el diagrama, este se lleva a uno de los softwares de modelación, para el caso de estudio se usó el software *VENSIM*, una herramienta visual que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de Dinámica de Sistemas, mediante sencillos y flexibles diagramas de flujo o Forrester.

Paso 7. Realizar análisis de sensibilidad

Para realizar la simulación del comportamiento de la población estudiantil de ingeniería industrial de la universidad Santo Tomas es necesario identificar las variables que interactúan en este sistema y la polaridad entre las interacciones de las variables, en el siguiente diagrama causal se detallan estas variables y las polaridades de tipo positivo y negativo.

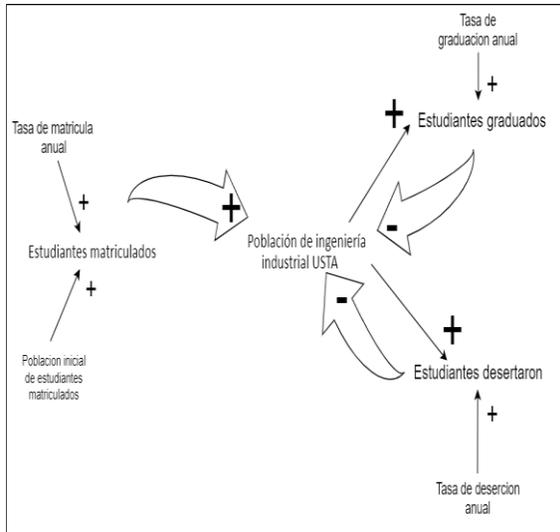


Fig.1 Diagrama causal Fuente(Autores)

Posteriormente se clasificaron las variables del diagrama causal en variables de nivel, de flujo y auxiliares, las clasificaciones son las siguientes:

Variables de nivel: Población de ingeniería industrial USTA

Variables de flujo: estudiantes matriculados, estudiantes graduados, estudiantes desertaron, población inicial de estudiantes matriculados

Variables Auxiliares: tasa de matrícula anual, tasa de graduación anual, tasa de deserción anual, población inicial de estudiantes matriculados

Para poder simular el sistema es necesario conocer el valor de las variables auxiliares, para esto la universidad Santo Tomas Proporciono información de primera mano, la cual fue analizada y se obtuvieron los siguientes resultados.

TABLA 1
TASA DE MATRÍCULA ANUAL

ESTUDIANTES MATRICULADOS		
AÑO	ESTUDIANTES NUEVOS	TASA DE MATRICULAS
2015	119	
2016	101	-15%
2017	91	-10%
2018	85	-7%
2019	86	1%
2020	70	-19%
PROMEDIO		-10%

la tasa de matrícula anual será del -10%, es decir que cada año la matrícula disminuirá un 10%

- La tasa de deserción anual será del 10%, esto significa que el 10% de la cantidad total anual de estudiantes de ingeniería industrial de la universidad Santo Tomas abandonaran sus estudios. Cabe resaltar que este dato lo proporciono de forma directa la facultad de ingeniería industrial.
- Población inicial de estudiantes matriculados
Como se evidencia en la tabla 1 en el 2020 la población de estudiantes matriculados serán 70 a partir del año 2020
- Tasa de estudiantes graduados

TABLA 2
TASA DE ESTUDIANTES GRADUADOS

ESTUDIANTES GRADUADOS		
AÑO	Graduados	tasa de graduación
2019	51	
2020	56	10%
TASA DE GRADUACIÓN		10%

La tasa de graduación será del 10%, es decir que el 10% de la cantidad total anual de estudiantes de ingeniería industrial de la universidad Santo Tomas finalizaran totalmente su plan de estudios.

Después de conocer los valores de las variables auxiliares se procede a llevar acabo la simulación por medio del software Vensim. Para realizar el diagrama en Vensim de se tiene en cuenta el diagrama de causalidad y la clasificación de las variables ya que esto guía y facilita el diseño del diagrama en Vensim debió a la información que ofrece sobre los flujos de datos y la polaridad de las interacciones entre las diferentes variables.

Como resultado se obtuvo el siguiente sistema en Vensim.

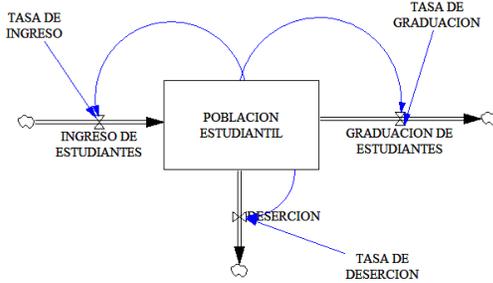


Fig.2 Diagrama de niveles y flujos Vensim Fuente(Autores)

Seguido se plantean las siguientes ecuaciones para el desarrollo del modelo

$IE = \text{estudiantes matriculados nuevos}$

$PE(t) = \text{población estudiantil}$

$Pi = \text{Población inicial estudiantil}$

$D(t) = \text{Retirados en función del tiempo}$

$G(t) = \text{Estudiantes graduados en función del tiempo}$

$TG = \text{Tasa de graduación anual}$

$TD = \text{Tasa de deserción anual}$

$$IE = PE(t) * Pi \quad [1]$$

$$PE(t) = \int_0^5 Pi - D(t) - G(t)dt \quad [2]$$

$$D(t) = PE(t) * TD \quad [3]$$

$$G(t) = PE(t) * TG \quad [4]$$

Posteriormente se formula las siguientes variables del sistema:

- Tasa de graduación anual: 0.1
- Estudiantes graduados: (Población de estudiantes de ingeniería industrial USTA) *(Tasa de graduación)
- Tasa de deserción anual: 0.1
- Estudiantes desertados: (Población de estudiantes de ingeniería industrial USTA) *(Tasa de deserción)
- Población de estudiantes de ingeniería industrial USTA inicial (año 2020) = 349
- Población de estudiantes de ingeniería industrial USTA = Estudiantes matriculados- Estudiantes desertados- Estudiantes graduados

Al finalizar la formulación se asigna el periodo inicial y final de la simulación que para este caso del periodo inicial será el año 2020 y el final será el 2025. Finalmente se ejecuta la simulación de la dinámica de este sistema y se obtienen los siguientes resultados:

TABLA 3
RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

AÑO	P. ESTUDIANTIL	GRADUADOS	RETIRADOS
2020	349	17	35
2021	262	13	26
2022	196	10	19
2023	147	7	14
2024	110	5	10
2025	82	4	8

En la siguientes graficas se evidencia el comportamiento de los datos:

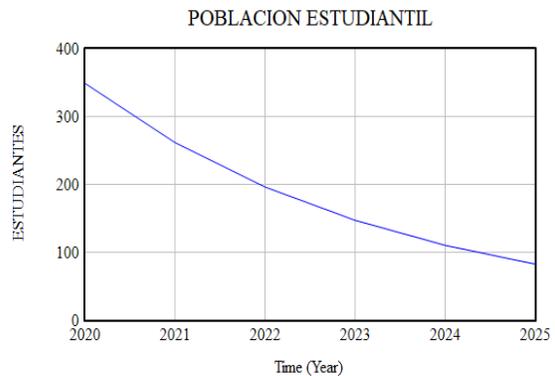


Fig.4 Población de estudiantes Ingeniería Industrial Universidad Santo Tomas Fuente(Autores)

Se puede observar que la población de estudiantes de ingeniería industrial de la universidad santo Tomas disminuye a un total de 82 estudiantes, lo cual podría influir en el mantenimiento económico de la facultad de forma negativa.

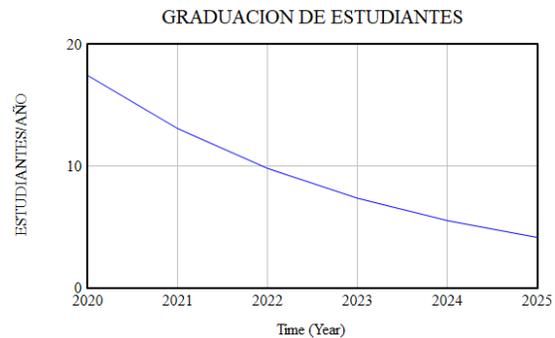


Fig.5 Población de estudiantes graduados Fuente(Autores)

Debido a que cada vez es menor la población estudiantil de ingeniería industrial los estudiantes graduados serán cada vez menos y se evidencia una tendencia decreciente.

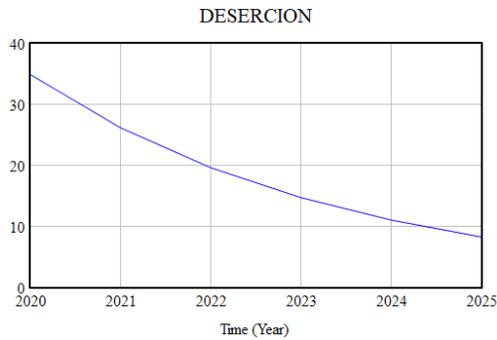


Fig.6 Población de estudiantes que se retiran de la facultad de Ingeniería Industrial Universidad Santo Tomas Fuente(Autores)

Los estudiantes que desertarán de la carrera tendrán a desaparecer debido a que si la población estudiantil disminuye también disminuirá los estudiantes que abandonan estudios, en 5 años. Se plantea el siguiente escenario con el fin de determinar la cantidad de la población estudiantil hacia 2025:

- Tasa de graduación anual: 0.05
- Tasa de matriculados anual: 0.03
- Estudiantes graduados: (Población de estudiantes de ingeniería industrial USTA) *(Tasa de graduación)
- Tasa de deserción anual: 0.02
- Estudiantes desertados: (Población de estudiantes de ingeniería industrial USTA) *(Tasa de deserción)
- Población de estudiantes de ingeniería industrial USTA inicial (año 2020) = 349
- Población de estudiantes de ingeniería industrial USTA = Estudiantes matriculados - Estudiantes desertados - Estudiantes graduados

Los resultados de la simulación se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

AÑO	P. ESTUDIANTIL	GRADUADOS	RETIRADOS
2020	349	17	10
2021	331	16	10

2022	315	15	9
2023	300	14	9
2024	284	14	8
2025	269	13	8

El comportamiento con los parámetros anteriormente dados genera un ambiente más estable que los datos reales, A continuación, se presenta el comportamiento de la población estudiantil

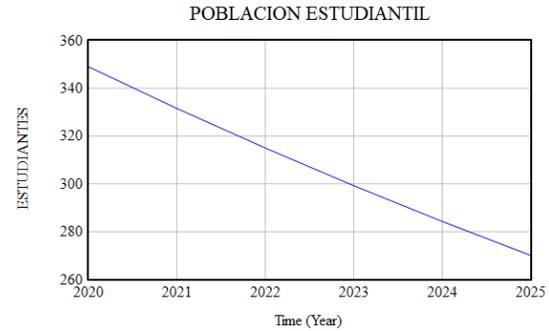


Fig.7 Población Estudiantil con cambios de parámetros Fuente(Autores)

Por medio del análisis de sensibilidad de Vensim se establece que con un porcentaje constante del 10% de deserción y 5 % de tasa de graduación es necesario que el ingreso de estudiantes nuevos a la facultad alcance un nivel del 18 % anual para tener un crecimiento en la población, a continuación, se muestra el comportamiento de los datos:

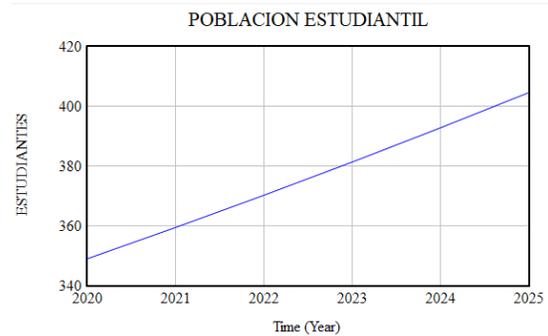


Fig.8 Población Estudiantil con tasa de crecimiento de matriculados al 10 % Fuente (Autores)

El porcentaje de crecimiento en cinco años será de un 17,1% con una tasa de matriculados del 18 %, con lo cual es clave que la tasa de matriculados sea positiva para que se mantenga estable la población estudiantil de la facultad de ingeniería industrial de la USTA.

IV. CONCLUSIONES

Se deben tomar decisiones y realizar acciones para aumentar la cantidad de estudiantes que ingresan a la facultad de ingeniería industrial de la universidad Santo Tomas ya que si no lo hacen la facultad tendera a desaparecer debido a que la cantidad de estudiantes que salen de la universidad ya sea por deserción o graduación es mucho mayor a la cantidad de estudiantes que ingresan a la facultad.

Se concluye que la utilización de la Dinámica de Sistemas en la enseñanza de conceptos educativos actúa como pauta que conecta diferentes campos del conocimiento requeridos para la comprensión de la situación actual del planeta con respecto a la educación, convirtiéndose así en una herramienta para la transdisciplinariedad.

Es importante que las facultades de las universidades colombianas dejen el modelo de sostenimiento de sus programas basado en la tasa de matriculados y busquen otras formas de financiamiento ya que si los ingresos generados por matriculas disminuye se corre el riesgo de la desaparición de programas y el despido de docentes y administrativos.

Estos modelos desarrollados en el marco de una actividad académica aportan y procuran el mejoramiento de la calidad de la educación en diferentes áreas, ya que estos recrean y simulan comportamientos de interés en el desarrollo curricular de las ingenierías, buscando darle una mayor rigurosidad en términos de conocimiento que debe ser interdisciplinar.

Gracias a la dinámica de sistemas se puede pronosticar datos futuros de las variables más importantes que intervienen en un sistema, de tal modo que se obtiene una visión de los datos y a partir del análisis de estos se pueden tomar decisiones que reorienten y mejoren el sistema para que este prevalezca en el tiempo.

Cabe resaltar que los factores que afectan de manera directa en la población estudiantil de la facultad son los estudiantes nuevos matriculados y la cantidad de estudiantes que se retiran de la

facultad, la tasa de graduación no afecta tanto como los factores anteriormente nombrados.

Es importante resaltar que para mantener un crecimiento en la población estudiantil en los próximos cinco años se requiere una tasa constante de crecimiento del 18% en el ingreso de estudiantes nuevos, lo cual implica una gran inversión en la publicidad y reconocimiento de la facultad.

REFERENCIAS

[1] R. Axelrod. The structure of decision: The cognitive maps of the political elites. Princeton, NJ: Princeton University Press. 1976.

[2] G Sunderman, J Kim, G Orfield . NCLB “Meets School Realities: Lessons from the Field”. Corwin Press. 2005.

[3] J Mc Murrer “Instructional time in elementary schools: A closer look at changes for specific subjects”. A report from the Center on Education Policy. Retrieved from <http://www.cep-dc.org> 2008

[4] D. Ibarra Vega, y J.M Redondo, “Dinámica de Sistemas, una herramienta para la educación ambiental en ingeniería”. Revista Luna Azul, 41, 152- 164. Retrieved from DOI: 10.17151/luaz.2015.41.9 2015

[5] J Aracil, Dinámica de sistemas. Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España S.A. [ISDEFE]. Madrid, España.1995

[6] B González, B. Múgica.” La dinámica de sistemas como metodología para la elaboración de modelos de simulación”. Universidad de Oviedo, Departamento de administración de empresas y contabilidad. Oviedo, España. 1998

[7] S Martín “Indagación de situaciones dinámicas mediante la Dinámica de Sistemas”. Tomo 1: fundamentos. 2006.

[8] G Martín. “Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas”. Zaragoza, España. 2017

[9] J Forrester “La Dinámica de Sistemas y el Aprendizaje del Alumno en la educación escolar. Proyecto Educativo Dinámica de Sistemas”. Grupo de Dinámica de Sistemas Escuela de Administración Massachusetts Institute of Technology. 1992.

[10] J Aracil, F. Gordillo “Dinámica de sistemas”. Alianza Editorial, Madrid 1997.

[11] F Becerra I , F. Gordillo “Introducción a la Dinámica de sistemas en Ingeniería industrial ”. Editorial Neogranadina, Bogotá 2019.

[12] G Herrera “Simulación de sistemas discretos un enfoque industrial”. Alpha Editorial, Bogotá 2017.

[13] W Orellana “Dinámica de sistemas”. Editorial Ingeniería de sistemas Oruro 2008.

[14] L Izquierdo “Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes mediante Dinámica de Sistemas” Revista Metodología de las ciencias sociales 2008.

[15] M. Díaz “Analfabetismo en la Región Caribe Un análisis desde la dinámica de sistemas” Repositorio de la Universidad de Los Andes 2017.

[16] R. Rodríguez “Diseño interdisciplinario de modelación dinámica usando ecuaciones diferenciales y simulación” Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology 2014.

[17] C. Lanasca , Omar James “Modelo de simulación bajo la Dinámica de Sistemas para identificar los factores que intervienen en la problemática de la pobreza del Distrito Daniel Hernández ” Repositorio de la Universidad Nacional Huancavelica 2017

[18] M González “Diseño y Evaluación de intervenciones en organizaciones empresariales desde la Dinámica de sistema Revisión teórica ” Repositorio de la Universidad del Rosario 2014

[19] J Valencia “Hacia un modelo del sistema de la internacionalización en la educación superior colombiano: Un enfoque desde la dinámica de sistemas” Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI 2020.

[20] M. Hernández “Student enrollment prospecting by applying a system dynamics model in higher education institution” LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology 2020.

[21] C. Cruz “Capacity estimation in a higher education institution using system dynamics: Case of study Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito_” LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology 2018.