



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS
MODIFICACIONES EN LOS PLANES DE
ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS
INDICADORES DE DESEMPEÑO ESTUDIANTIL**

Autor

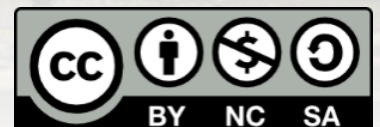
Juan Diego Velez Vargas

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Medellín, Colombia

2021



Análisis y evaluación de las modificaciones en los planes de estudio para el mejoramiento de los indicadores de desempeño estudiantil en un programa académico de la Universidad de Antioquia

Juan Diego Velez Vargas

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Ingeniería

Asesores (a):

PhD. Yony Fernando Ceballos.

PhD. Laura Milena Cárdenas Ardila

Línea de Investigación:

Ingeniería y Educación

Grupo de Investigación:

Ingeniería y Sociedad

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería

Medellín, Colombia

2021.

A mi amada esposa, Sophia.

Agradecimientos

El presente trabajo es la culminación de un proceso que conllevo un gran esfuerzo y en el que he contado con el apoyo muchas personas a las cuales quiero agradecer en estas cortas palabras.

A mis directores de investigación Dr. Yony Fernando Ceballos y Dra. Laura Milena Cárdenas, por su infinita paciencia, su valioso tiempo y dedicación, sus pertinentes orientaciones son la base de este trabajo.

A mi esposa Sophia, gran amiga y compañera de los múltiples retos de mi vida, siempre a mi lado ante cualquier adversidad, sin su apoyo nada de esto sería posible.

A mis amados padres quienes me enseñaron a ser la persona que soy.

A mis compañeros y profesores del grupo de investigación Ingeniería y Sociedad.

A la Universidad de Antioquia de la cual me considero un hijo y le agradeceré todo eternamente.

Muchas gracias a todos.

Resumen

Las instituciones de educación superior vienen haciendo un gran esfuerzo para aumentar la capacidad para atender una creciente demanda, lo que ha implicado el crecimiento del número de estudiantes, incluso la creación de nuevos programas. Para las instituciones estatales este aumento en el número de estudiantes no ha estado acompañado de aumentos presupuestales acordes. Con el objetivo de hacer un mejor uso de los limitados recursos se han desarrollado modelos que permiten la medición de la eficiencia de las instituciones a partir de la evaluación de sus indicadores, y a partir de los resultados obtenidos las instituciones de educación superior vienen realizando una serie de acciones de mejora. Una de las acciones realizadas por las instituciones es la modificación o actualización de sus currículos, sin embargo, se encuentra dificultad al momento de medir los efectos generados por estas modificaciones en el rendimiento académico de los estudiantes. Por tal motivo se propone en el siguiente estudio la construcción de un esquema que por medio de la utilización de modelos de simulación basada en agentes (SBA) que permita realizar una valoración objetiva de las modificaciones que se realizan a los currículos de los programas académicos. Como resultado de este ejercicio académico se pudo concluir que la SBA permite la programación y configuración de un sistema que emula la porción de la realidad necesaria para abordar el problema, además el modelo propuesto entrega unos resultados validables para el programa caso de estudio y además permite la inclusión de algunas de las modificaciones comúnmente realizadas en los planes de estudio de los programas académicos, posibilitando a su vez estimar el impacto que estos tienen sobre los indicadores utilizados para la medición de la eficiencia del programa.

Palabras clave: modelos de simulación, modelos de sistemas, currículo, plan de estudios, indicadores, simulación, simulación basada en agentes.

Abstract

Higher education institutions have been making a great effort to increase capacity to meet growing demand, which has involved the growth of the number of students, including the creation of new programs. For state institutions, this increase in the number of students has not been accompanied by sharp budget increases. Therefore, to make better use of limited resources, models have been developed that allow the measurement of the efficiency of institutions from the evaluation of their indicators, and the results obtained carrying higher education institutions have been out a series of improvement actions. One of the actions carried out by the institutions is the modification or updating of their curriculums, however, it is difficult to measure the effects generated by these changes in the academic performance of students. For this reason, the following study proposes the construction of a scheme using agent-based models (ABM) to allow an objective assessment of the changes that are made to the academic program curriculums. As a result of this academic exercise, it was concluded that the ABM allows the programming and configuration of a system that emulates the share of reality necessary to address the problem, in addition, the proposed model delivers valuable results for the case-study program and also allows the inclusion of some of the commonly made modifications in the curriculum of academic programs, in turn allowing to estimate the impact that these have on the indicators used for the measurement of the efficiency of the program.

Keywords: mathematical models, system models, curriculum, curriculum, indicators, simulation, agent-based modeling.

Contenido

Resumen	6
Abstract.....	7
1. Introducción.....	10
2. Planteamiento del problema	12
3. Revisión de literatura.....	15
3.1. Evaluación en educación superior	15
3.2. Eficiencia en educación	17
3.3. Evaluación de eficiencia en educación superior	19
3.4. Uso de la simulación en educación superior.....	21
4. Objetivos Del Proyecto	24
4.1. Objetivo general.....	24
4.2. Objetivos específicos.....	24
5. Metodología.....	24
5.1. Técnica de simulación	24
5.2. Articulación del problema	28
5.2.1. Fuentes de la información	28
5.2.2. Obtención y análisis de la información.....	29
5.2.3. Descripción del sistema	32
5.3. Hipótesis del comportamiento.....	35
5.4. Formulación del modelo de simulación	35
5.4.1. Entorno	35
5.4.2. Agentes (Turtles).....	36
5.4.3. Comportamiento.....	38
5.4.4. Representación gráfica del modelo	39
6. Análisis de escenarios y resultados.....	41
6.1. Descripción de los escenarios	41
6.1.1. Escenario 1 - Base (Plan de estudio actual).....	41
6.2. Escenario 2 - Retiro de un prerrequisito	43
6.3. Escenario 3 - Fusión de cursos	44

6.4.	Escenario 4 – Eliminación y reemplazo de curso	46
6.5.	Resultados por indicador	46
6.5.1.	Promedio de semestres para terminación	47
6.5.2.	Graduados por periodo.....	50
6.5.3.	Insuficientes por periodo	53
7.	Conclusiones	56
8.	Bibliografía	59

1. Introducción

La educación en Colombia se ha visto afectada debido a que las instituciones que conforman el sistema no cuentan con unos asignaciones presupuestales acordes a sus necesidades de crecimiento, en cifras la educación superior en Colombia presenta un notable crecimiento en cobertura pasando de una tasa bruta del 31% en el año 2007 a una del 49.4% en 2015, en este mismo rango de tiempo, el crecimiento en la matrícula de las universidades estatales es del 58% de acuerdo con el informe estadístico del Ministerio de Educación Superior de Colombia (Ministerio de Educación Nacional MEN, 2016). Por otra parte, de acuerdo con un informe presentado por el Sistema Universitario Estatal (SUE) las universidades estatales además del incremento en el número de estudiantes matriculados presentan otros indicadores en los cuales las universidades han crecido: como una mejor cualificación del personal docente, fortalecimiento de la investigación, mejoras y crecimiento de la infraestructura tanto física como tecnológica y programas de internacionalización , sin embargo, resalta en el mismo informe que este crecimiento no ha sido acompañado por un aumento proporcional de los recursos asignados por el estado para el funcionamiento de las Instituciones (Sistema Universitario Estatal, 2012).

Así las cosas, el crecimiento de las instituciones educativas en términos de los indicadores anteriormente enunciados se debe al “mejoramiento de los niveles de eficiencia en el manejo de los recursos” (Sistema Universitario Estatal, 2012). Es por esto que, aunque la medición de la eficiencia de las Instituciones de educación superior presenta dificultades debido a “la determinación y cuantificación de los productos, la ausencia de precios de mercado, la caracterización de una función de producción y las diferencias en la calidad de los servicios” (Ramos Ruiz et al., 2015), la importancia que representa la buena utilización del recurso público

ha servido de incentivo para la implementación de modelos que permiten hacer estimaciones al respecto.

En esta línea “el Ministerio de Educación Nacional en el año 2003, de manera concertada con el Sistema Universitario Estatal (SUE), desarrolló un modelo de indicadores de gestión a través del cual se evaluaba la eficiencia de las universidades públicas con relación a su capacidad” (MEN, 2016b), con el fin en este caso de utilizar la eficiencia como criterio para la asignación de recursos estatales.

Este modelo evalúa la eficiencia institucional basada en los indicadores de resultados y productos obtenidos de sus actividades principales (formación, investigación, extensión y bienestar) de acuerdo con la capacidad con la que se cuenta. Dentro de estos indicadores algunos se relacionan directamente con el rendimiento académico de los estudiantes tales como retención de estudiantes, graduación y porcentajes de aprobación de materias.

A partir de estos resultados las instituciones realizan múltiples acciones en la búsqueda del mejoramiento de los indicadores que tengan un desempeño bajo, sin embargo, bajo este modelo es difícil conocer el impacto que tienen cada una de estas acciones realizadas, por lo cual se deberán buscar los mecanismos equívocos para analizarlas y así poder evaluar su pertinencia.

Mediante la presente investigación se busca proponer un mecanismo que nos permita valorar el impacto que tienen sobre los indicadores de eficiencia alguna de acciones comúnmente realizadas por la institución, para lo cual en la sección 2 de este escrito se describirá detalladamente el problema y su contexto, en la sección 3 se exponen los resultados de la revisión de la literatura, estas dos secciones nos permitieron definir claramente cuáles serían los objetivos de la investigación y que se expresan en la sección 4, como parte de estos objetivos se plantea y desarrolla la metodología adecuada para abordar el problema en la sección 5, finalmente en la

sección 6 se proponen tres escenarios de mejora que se evaluarán con el modelo propuesto y elaborado en la sección anterior.

2. Planteamiento del problema

La Universidad de Antioquia, mayor institución de educación superior del departamento del cual lleva su nombre ya que cuenta con una población estudiantil cercana a los 40 mil estudiantes en los diferentes niveles de formación para el primer semestre de 2017, acompañados por más de 6000 profesores entre vinculados y catedráticos. Aunque su actividad está concentrada mayoritariamente en el municipio de Medellín, hace presencia en todas las subregiones del departamento a través de sedes y seccionales (Vicerrectoría de Docencia. UdeA., 2017). Los indicadores mostrados por la institución la sitúan dentro de los primeros puestos entre las universidades de Colombia en los principales rankings especializados en el tema¹, lo cual es prueba de calidad de los procesos internos y el compromiso de quienes conforman la misma. Sin embargo, en el contexto internacional, las Universidades colombianas en general posee un desempeño bajo con respecto a sus pares en países desarrollados, como se puede observar en la Tabla 1.

¹ QS University Ranking <https://www.topuniversities.com>, Scimago Institutions Rankings <http://www.scimagoir.com>, Ranking U-Sapiens <http://www.srg.com.co>, Modelo de Indicadores del Desempeño de la Educación <http://www.mineducacion.gov.co/1621/mide.html>, *Times Higher Education* World University Rankings <https://www.timeshighereducation.com>.

Universidad			Scimago			Institutions QS			Word University		
			Ranking			Ranking					
			Colombi	Latam	Mundo	Colombi	Latam	Mundo			
			a			a					
Universidad	Nacional	de	1	21	593	2	9	259			
Colombia											
Universidad de Antioquia			2	39	659	4	31	651-			
								700			
Pontificia Universidad Javeriana			3	42	663	3	14	426			
Universidad de los Andes			4	49	676	1	7	227			
Universidad del Rosario			5	68	704	9	48	751-			
								800			

Tabla 1: Posición en Colombia, América Latina y el mundo de las 5 principales universidades del país.

En este orden de ideas, en aras del mejoramiento continuo de sus indicadores de desempeño la Universidad realiza una serie de acciones de mayor o menor envergadura. Algunas de ellas enfocadas a factores específicos del desempeño, y otras con unos objetivos transversales. Una de las acciones realizadas por la Universidad de Antioquia es la actualización de los planes de estudio, con el fin de que estos se ajusten a las directrices del decreto 1075 de 2015 que reglamenta el sector educativo y que su primer objetivo versa “Establecer las políticas y los lineamientos para dotar al sector educativo de un servicio de calidad con acceso equitativo y con permanencia en el sistema”; este decreto detalla los aspectos básicos con los que debe contar un currículo, dentro de los cuales resalta la flexibilidad curricular que, aunque no es un concepto nuevo, su incorporación en los planes de estudio de manera explícita comienza con el decreto 1295 de 2010.

Profundizando en el concepto de flexibilidad curricular, aunque éste es bastante amplio, se puede precisar o delimitar en dos dimensiones: la dimensión académico-pedagógica, en la cual la flexibilidad se inserta en la estructura curricular por medio de las diferentes rutas de aprendizaje y una dimensión administrativo-normativa en la cual las instituciones planean y ejecutan proyectos interdisciplinarios, dentro de una o varias dependencias, así como la construcción del conjunto de normas que fomenten acciones tendientes a la flexibilización (Urego, 2010) .

La Universidad de Antioquia, entendiendo la importancia de la actualización de sus currículos y atendiendo a las directrices del Ministerio de Educación Nacional, ha modificado la mayoría de los currículos de los programas académicos de acuerdo con la normatividad actual que incluye el concepto de flexibilidad como característica fundamental del currículo de un programa académico (Vicerrectoría de Docencia. UdeA., 2017).

Así, teniendo como horizonte el mejoramiento continuo, las instituciones buscan valorar los efectos generados por estas actualizaciones o modificaciones curriculares en los indicadores de eficiencia del programa, sin embargo, para llevar a cabo esta valoración se presentan algunas dificultades derivadas de las características propias del proceso.

En este sentido, la principal característica de las mencionadas es la prolongada longitud del periodo de evaluación, es decir el tiempo que transcurre entre la matrícula de la primera cohorte hasta la terminación esperada de un conjunto significativo de estas es mayor a seis años, tiempo en el cual el proceso esta sujeto a factores exógenos que afectan los resultados mismo del proceso, sin embargo, la multiplicidad de cambios que se realizan en el plan de estudio en el marco de una reforma curricular no permite definir claramente la relevancia o impacto que cada uno de estos tienen en los resultados finales del sistema.

debido al prolongado del periodo necesario para la medición de los resultados finales de la primera cohorte de afectados por la modificación o cambio, limitando en algunos casos la evaluación a indicadores de apreciación reduciendo la objetividad de esta.

De lo anterior surgen las siguientes preguntas: ¿son los métodos utilizados para la evaluación de las modificaciones de los planes de estudio los adecuados para la estimación del impacto que estas tienen sobre los indicadores de eficiencia académicos de un programa? Y, además, ¿Con qué herramientas podría mejorar el análisis del impacto que tienen estas modificaciones en la eficiencia del programa académico?

3. Revisión de literatura

El análisis de la eficiencia de las instituciones de educación superior parte en la mayoría de los casos de los procesos de acreditación de calidad, tanto de sus programas académicos como de las instituciones mismas, pero sin limitarse a estos. Así, sobre la base del estudio de la evaluación en educación superior, se analizan las principales metodologías utilizadas para la estimación de la eficiencia en las instituciones.

3.1. Evaluación en educación superior

Existen dos principales tipos de evaluaciones que se realizan a las instituciones de educación superior, el primer tipo es el llevado a cabo en procesos de acreditación y otro el realizado para la creación rankings universitarios (Fernández et al., 2006). Los objetivos que persiguen cada tipo de evaluación difieren, así, los procesos de acreditación buscan la evaluación del desarrollo de los diferentes ejes misionales de las instituciones, para lo cual construyen sistemas de indicadores exhaustivos, contruidos en algunos casos de manera consensuada con las mismas instituciones

educativas de acuerdo con sus prioridades misionales, mientras que la evaluación realizada por los rankings en principio buscan mostrar de manera simple una comparación entre las diferentes posibilidades de formación superior que tienen los bachilleres, para lo cual utiliza indicadores generales que garanticen su disponibilidad (Fernández et al., 2006), lo anterior se puede apreciar de forma clara en la Figura 1

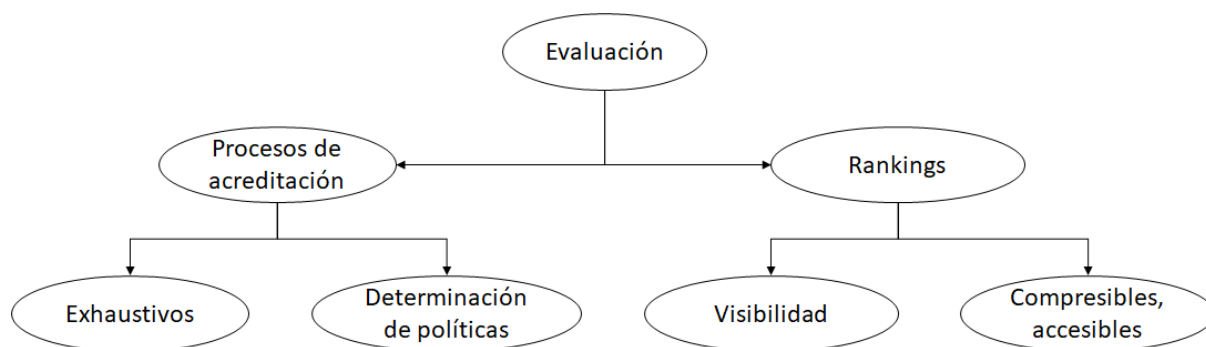


Figura 1: Evaluación en educación superior. construcción propia a partir de Fernández et al, 2006

En la revisión realizada por Abadie (2001) se definen los indicadores en general como “medidas objetivas, usualmente cuantitativas, del cumplimiento de un logro de una institución o de un sistema educacional”, y se clasifican de acuerdo con su tipo y categoría como se muestran en la Figura 2. De acuerdo con el tipo los indicadores se clasifican en simples, generales y de rendimiento. Los indicadores simples son aquellos que describen el estado de la institución o proceso (conteos de estudiantes, profesores, metros construidos), los generales son asociados a estadísticas externas a la institución o no relacionados con sus objetivos, y por último los indicadores de rendimiento son medidas críticas que requieren un punto de referencia o de un objetivo contra el cual contrastar (ej. relación admitidos y graduados de una cohorte).

Además, los indicadores se clasifican en tres categorías: indicadores de insumos, para aquellos que se refieren a recursos humanos, físicos o financieros que ingresan a un programa o institución; indicadores de proceso, los referidos a las formas y métodos utilizados en el proceso de enseñanza,

la prestación de servicios o la realización de determinada actividad; e indicadores de resultado, asociados a los productos obtenidos de la ejecución de los procesos.

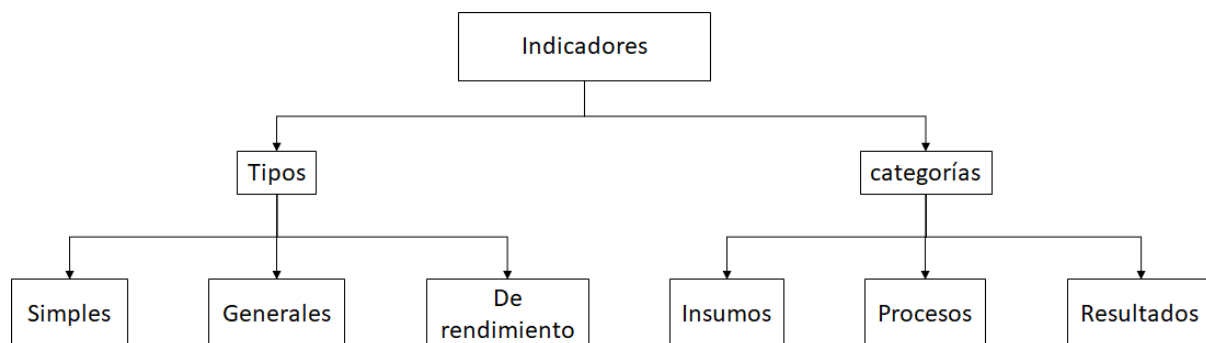


Figura 2: Clasificación de indicadores. construcción propia a partir de Abadie, (2001)

Luego de abordar los diferentes contextos en los cuales se evalúan las instituciones de educación superior y los indicadores comúnmente utilizados para la realización de dichas evaluaciones, se procederá con el análisis de la literatura en términos más específicos en torno a la eficiencia en la educación y la estimación de la misma en la instituciones o unidades académicas.

3.2. Eficiencia en educación

En el trabajo realizado por Yáber & Valarino (2002) la eficiencia se expresa como desempeño de la unidad académica, y se calcula a partir de indicadores simples de eficacia, eficiencia y calidad. Mientras que Sun et al. (2014), plantea la evaluación de la eficiencia sobre los actividades educativas y resultados obtenidos. Otro acercamiento importante a la evaluación de la eficiencia es el de la Comisión Nacional de Acreditación de Colombia CNA para la cual la eficiencia y eficacia de un programa académico está relacionada directamente con la relación entre admitidos y graduados, y el tiempo de permanencia de los últimos en la institución (Consejo Nacional De Acreditación -CNA-, 2013). En una línea similar el Higher Education Funding Council for England (HEFCE), promueve la calidad y eficiencia de las instituciones de educación superior

analizando cuestiones relativas a la enseñanza, investigación y actividades de generación de riqueza. También en Reino Unido, el PCFC Macro Performance Indicators propone indicadores de eficiencia como el costo de cada graduado, de efectividad tal y como el número de estudiantes que egresan, así como otros relacionados con la calidad (Rodríguez Espinar, 1999).

De lo anterior podríamos decir que en general la eficiencia de una unidad educativa se podría entender como la relación entre los recursos invertidos, en términos de planta docente, infraestructura y otros gastos de funcionamiento, y los productos obtenidos del proceso, asociados principalmente a la formación e investigación.

Los programas académicos de las instituciones de educación superior se ven sometidos periódicamente a evaluaciones realizadas en el marco de procesos de acreditación llevados a cabo por organismos estatales de promoción de la calidad educativa, como expresan Martínez-Lobatos (2016) y Page (1994), por lo cual en la literatura, se encuentran varios estudios o propuestas sobre la ejecución de estos procesos, en los cuales es común la utilización del análisis estadístico de datos provenientes de diferentes fuentes como metodología para realizar la evaluación de los programas o de alguno de sus elementos (Clark et al., 2016; González et al., 2005; Jordan et al., 2002; Misael, 2005; Parvin et al., 2015; Rexwinkel et al., 2013; Saunders-Smiths & de Graaff, 2012; Shanableh, 2014), lo cual puede justificarse en que las herramientas de estadística descriptiva permiten la consolidación de la información y facilita los análisis que finalmente realizan expertos de la institución o pares externos (Cotgrave & Kokkarinen, 2010; Parvin et al., 2015).

Por fuera del marco de los procesos estatales de acreditación, pero en el contexto del análisis de datos, se realizaron propuestas de aprovechamiento de la gran cantidad de información que se genera en los procesos educativos por medio de la utilización de técnicas como la inteligencia artificial o la inteligencia de negocios aplicada a la educación (Dawson et al., 2008; Mitri, 2003).

Se puede decir que el análisis de datos cumple con el objetivo de evidenciar de manera amplia los aspectos de un programa académico a través de múltiples indicadores, sin embargo, se requiere contar con información real de muchos periodos de visualización para realizar la evaluación de las variaciones que se puedan presentar en el tiempo en estos indicadores, asociadas a cambios contextuales o en el mismo currículo del programa y así como efectos secundarios derivados del mismo comportamiento del sistema.

3.3. Evaluación de eficiencia en educación superior

De acuerdo con Kuah & Wong (2011), los métodos más utilizados para evaluar el rendimiento de las universidades son Análisis de Frontera Estocástica y el Análisis envolvente de datos (DEA por sus siglas en ingles), cuya diferencia radica en que el segundo tiene la capacidad en el manejo de múltiples entradas y salidas del proceso, sin necesidad de hacer suposiciones de los valores monetarios de las variables.

Así mismo, en la revisión realizada por Johnes (2006), en los primeros estudios sobre el rendimiento de las instituciones de educación superior es común la utilización de análisis de regresión, sin embargo concluye que el análisis de regresión no es la metodología apropiada para analizar procesos en los cuales se obtienen varias salidas a partir de múltiples entradas. Además, argumenta que, en estudios más recientes las investigaciones cuentan con información mucho más detallada, a nivel individual de los estudiantes, sin embargo, utilizando la misma metodología los resultados confirman su falencia. Es por esto que se propone la utilización de DEA para el análisis de información a nivel de estudiante, planteando un modelo para la evaluación específica de la eficiencia en docencia, para lo cual divide la eficiencia en dos componentes, un primer componente referido a la eficiencia de la institución y un segundo componente relacionado con el estudiante

como tal, y finalmente argumenta que este tipo de estudio no se ha realizado a nivel de educación superior, pero si en el entorno escolar.

De igual forma Kuah & Wong (2011) propone la utilización de DEA para la comparación de la eficiencia de un conjunto de universidades, para lo cual presenta un modelo de la eficiencia en la docencia y un modelo de la eficiencia en la investigación. Específicamente en el caso de la eficiencia en la docencia se refiere al desempeño que tiene la institución para llevar conocimiento a los estudiantes, y plantea un modelo que parte de la simplificación del proceso al punto en que las universidades solo contratan profesores que se encargan de educar los estudiantes para producir graduados con cierto nivel de calidad, para la cual se utilizan como entradas: el número de profesores, número de estudiantes matriculados, promedio de calificaciones, gastos de la universidad, y como salidas: número de graduados, promedio de los graduados, tasa de graduación y tasa de empleabilidad. El resultado de esta metodología es una comparación entre las universidades, en este estudio en particular se realiza solo un ejemplo hipotético de la utilización del modelo, en el cual las variables son generadas de manera aleatoria, en esta misma línea el estudio planteado por Kudła & Stachowiak-Kudła (2016) utiliza DEA como metodología, pero en su caso se analiza la eficiencia a partir de indicadores financieros.

Otro de los acercamientos al análisis de la eficiencia es el propuesto por Castillo-Merino et al. (2010), en el cual, reconocen que las metodologías más comunes son las funciones de producción y el análisis de fronteras, utilizan para su estudio ecuaciones estructurales, debido a que les permite: definir una relación de producción técnica en educación, analizar problemas de productos múltiples y endogeneidad, a través de ecuaciones útiles para identificar y estimar relaciones entre las variables.

Los acercamientos anteriormente enunciados, aunque son una buena alternativa para realizar la evaluación de la eficiencia de las instituciones o unidades académicas, no permiten la valoración del impacto que tienen las modificaciones que pueda tener el sistema en el tiempo, por lo cual se debieron buscar alternativas en las cuales, el tiempo y los cambios a través de este sean un factor importante en los resultados del sistema.

Buscando alternativas que tengan en cuenta el tiempo como un factor importante en el comportamiento, se encontraron investigaciones que utilizaron métodos de simulación para analizar el rendimiento estudiantil y valorar los efectos de las políticas académicas, en la sección siguiente se exponen los resultados de esta revisión y así valorar la pertinencia de la utilización de la simulación en el análisis de la eficiencia en la educación superior.

3.4. Uso de la simulación en educación superior

Desde finales de los años 70's se encontraron investigaciones que utilizaron métodos de simulación para analizar el rendimiento estudiantil y valorar los efectos de las políticas académicas (Hartmut, 1974; Kumar et al., 1980). Sin embargo, estos realizan un análisis muy agregado en donde se toma el proceso de formación como un todo y no permiten el análisis sobre las modificaciones al interior del plan de estudios. Por otra parte, estudios más recientes muestran una importante utilización de nuevas técnicas de simulación en el análisis de la educación superior.

Así, los resultados de la revisión realizada por Gu & Blackmore (2015), muestran un conjunto de 34 estudios en los cuales se plantea el uso de modelación y simulación basada en agentes (ABMS por sus siglas en inglés) en educación superior, estos fueron categorizados en: universidad como sistema, colaboración universitaria, actividades académicas, inscripción y admisión, rendimiento estudiantil, y enseñanza y aprendizaje. Dentro de estos estudios es predominante la categoría de

actividades académicas, tales como la gestión de talentos y producción científica y académica. Además, solo cuatro de los artículos encontrados analizan el rendimiento estudiantil, en estos se simula el apoyo de pares, graduación, empleabilidad de los estudiantes graduados en dos ocasiones. Sin embargo, de los artículos revisados por estos autores solo el 40% finaliza con un modelo validado, los demás presentan propuestas conceptuales o modelos ya sistematizados, pero sin validación.

Posteriormente, se han realizado varios estudios en los cuales se hace utilización de la ABMS en educación superior, las temáticas abordadas por estos escritos son: el marketing educativo (Kharkiv, 2016), evacuación durante emergencias (Liu et al., 2016), enseñanza y aprendizaje (Ameerbakhsh et al., 2016), permanencia y abandono (S. Abdelhamid et al., 2016; S. E. Abdelhamid et al., 2015; Rojas et al., 2018), análisis de decisiones académicas ((Díez-Echavarría et al., 2018) .

En Kharkiv (2016), se analiza el impacto que tiene el marketing realizado por los diferentes canales sobre las inscripciones en los diferentes servicios educativos ofertados por las instituciones ucranianas, para esto utilizan un modelo el cual es implementado utilizando el software AnyLogic. Con el fin de mejorar la planeación de las rutas de evacuación dentro del aula de clase, en (Liu et al., 2016) se propone un modelo basado en agentes para simular el comportamiento de los alumnos en una situación de emergencia.

El escrito presentado por Ameerbakhsh et al. (2016), luego de la aplicación de una serie de formularios evaluativos, muestran la eficacia para la enseñanza de la Ecología de la utilización de un modelo de simulación interactiva implementado en NetLogo.

Con el ánimo de entender la adopción del aprendizaje basado en el uso de dispositivos móviles Díez-Echavarría et al., (2018), proponen un modelo de SBA para representar la decisión que toma

el estudiante al momento de elegir la modalidad de la clase que recibirá, decisión basada en la teoría del comportamiento planeado.

En la investigación realizada por S. E. Abdelhamid et al. (2015) se simula como se ve afectada la retención académica por las interacciones sociales, para esto proponen un modelo de SBA implementado en NetLogo con el cual demuestran que la difusión de comentarios negativos entre los estudiantes puede llevar a que algunos de ellos tomen la decisión de abandonar el programa o institución.

En el contexto colombiano Rojas et al. (2018) plantean un modelo de SBA, con el fin de analizar la deserción estudiantil en la educación superior, para esto toman información para caracterizar un conjunto de estudiantes de varios programas académicos, y el comportamiento mostrado por el agente depende de esas características y el rendimiento obtenido en el transcurso de la simulación. Finalmente, como resultado de esta revisión se puede concluir que el análisis de la eficiencia de las instituciones educativas es un tema que se ha abordado ampliamente, sin embargo, los estudios encontrados no consideran el impacto de acciones realizadas en busca del mejoramiento de los indicadores de rendimiento de estas. Así mismo, existen investigaciones que exponen la utilización de técnicas como la simulación que permiten la estimación del impacto de los cambios que se puedan dar en el tiempo, pero en este caso ninguna de las encontradas trata directamente el tema de la eficiencia de las instituciones o sus programas. Lo anterior fortalece la necesidad de realizar una investigación que permita definir si la simulación puede ser una buena herramienta para el análisis del impacto de los cambios curriculares en los indicadores de eficiencia de los programas académicos y a su vez de las instituciones educativas.

4. Objetivos Del Proyecto

4.1. Objetivo general

Diseñar un esquema para el análisis y evaluación de las modificaciones en los planes de estudio para el mejoramiento de los indicadores de desempeño estudiantil en un programa académico de la Universidad de Antioquia.

4.2. Objetivos específicos

- Identificar las métricas y protocolos de medición de los principales indicadores académicos propuestos por entidades e instituciones dedicadas a la educación superior.
- Diseñar un modelo que represente el comportamiento de los indicadores académicos de los estudiantes del programa caso de estudio.
- Evaluar mediante escenarios, las posibles modificaciones en las políticas curriculares para valorar el impacto de las mismas en el desempeño de los estudiantes.

5. Metodología

El presente capítulo busca describir el desarrollo del proceso llevado a cabo para la construcción del modelo de simulación, desde la selección de la técnica de simulación y proceso de modelado más adecuada para la estimación del impacto que tienen los cambios curriculares en la eficiencia de un programa académico determinado, hasta la ejecución del proceso de acuerdo con esta metodología elegida.

5.1. Técnica de simulación

Conociendo las diferentes aproximaciones al estudio de la medición del impacto de las modificaciones en los planes de estudio en la eficiencia de un programa académico, es importante analizar las características básicas del sistema en donde se configura la problemática en cuestión:

- Tiene un alto grado de complejidad derivada de la multiplicidad de actores entre estudiantes, docentes y directivos, además de las relaciones que se dan entre ellos y los cursos o programas.
- El estado de finalización de un determinado periodo tiene efectos sobre el comportamiento del sistema a corto o mediano plazo lo que denota la existencia de realimentaciones y retardos.

Con esto y precisando que lo que se busca es la evaluación del impacto en los resultados finales obtenidos por el programa (tasa de graduación oportuna, cancelación, deserción y rezago) de las modificaciones en la estructura curricular del programa académico, debido a lo amplio del concepto de currículo y las diferentes modificaciones o cambios que se pueden dar sobre él, este estudio se enfocará en tres tipos de cambios específicos asociados a la flexibilización curricular: reducción de cursos obligatorios, reducción de prerrequisitos y correquisitos, ampliación de líneas de profundización, los cuales de acuerdo con la revisión de literatura son los que engloban los resultados de una unidad académica.

Las características anteriormente expuestas del problema caso de estudio, permiten definir qué técnica de simulación utilizar de acuerdo con el problema abordado; se realizó una comparación de las tres más utilizadas en el estudio de fenómenos sociales: Dinámica de sistemas (DS), Simulación de Eventos Discretos (DES) y Simulación Basada en Agentes (ABM) (Sarmiento-Vásquez & López-Sandoval, 2017).

Para la comparación anteriormente mencionada se tuvieron en cuenta cuatro características de los tres paradigmas de simulación:

- Perspectiva del comportamiento del sistema: esta puede ser de arriba para abajo (top-down) o de abajo para arriba (bottom-up), en el primero las reglas de comportamiento del modelo se configuran globalmente y de acuerdo a estas se comportan los individuos, mientras que desde la perspectiva bottom-up el comportamiento de los individuos es el que genera el comportamiento del sistema.
- Causante del comportamiento dinámico del sistema: este criterio se encuentra claramente definido para cada paradigma, en el caso de la DS el comportamiento lo denotan los bucles de realimentación de la estructura misma del modelo, en el caso de DES la ocurrencia de los eventos son los que causan el comportamiento dinámico del mismo, mientras que para el caso de ABM es la interacción entre los diferentes agentes originan el comportamiento del sistema.
- Estructura del sistema: La estructura del sistema puede ser fija como en el caso de los modelos de DS y DES, o dinámica como en el caso de la ABS en la cual el sistema puede cambiar a partir de la creación de nuevos agentes, como cambios en su comportamiento de acuerdo a las relaciones de los mismos agentes.
- Resolución: denota la granularidad del sistema, así para DS las unidades o entidades son homogéneas y agrupadas lo que se denomina: nivel macro; mientras que una resolución a nivel micro cada una de las entidades son independientes y pueden ser heterogéneas, como es el caso de los modelos de DES y ABM.

Los resultados de este ejercicio se resumen en la Tabla 2 en la cual se definen de manera corta estas características para cada una de las técnicas estudiadas y que están representadas en las columnas de la misma tabla.

	Dinámica de Simulación de Simulación Basada	de sistemas	Eventos Discretos	en Agentes
Perspectiva	Top-down	Top-down	Button-up	
Causante de comportamiento dinámico	realimentación	Ocurrencia de eventos	Interacción entre agentes	
Estructura	Fija	Fija	Dinámica	
Resolución	Nivel macro, entidades agrupadas	Nivel micro (entidades individuales pasivas)	Nivel micro (entidades individuales activas)	

Tabla 2: Comparación de técnicas de simulación. Elaboración propia a partir de (Sarmiento-Vásquez & López-Sandoval, 2017)

Teniendo en cuenta los resultados anteriores y en la búsqueda de alcázar los objetivos del estudio, la metodología para abordar el problema consistirá en la elaboración de un modelo de simulación utilizando la técnica de simulación basada en agentes siguiendo una adaptación de la propuesta de proceso de modelación de Sterman (2000) la cual se encuentra representada en la Figura 3 y que de acuerdo con el problema abordado se procede ejecutar:

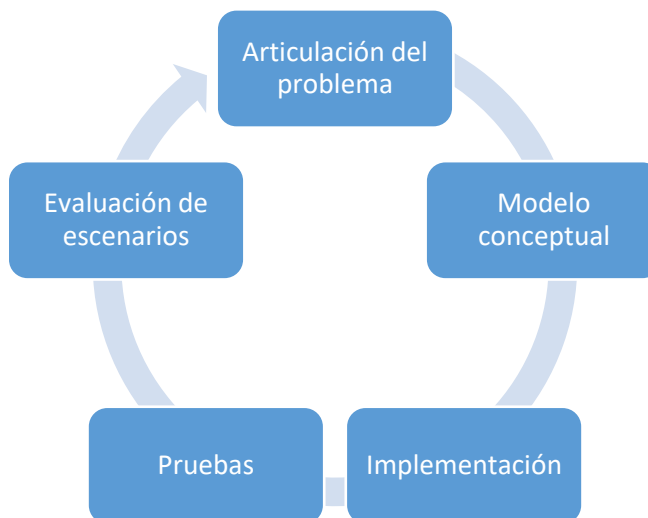


Figura 3: Adaptación del proceso de modelado (Sterman, 2000)

5.2. Articulación del problema

En esta sección se busca realizar una caracterización del problema a partir de la consulta y análisis de la información, se realiza una descripción detallada del sistema, sus componentes y las relaciones entre estos.

Aunque se espera que el modelo propuesto pueda ser implementado en cualquier programa académico de pregrado, en el presente ejercicio se utilizó como referencia el programa de Ingeniería Industrial de la Universidad de Antioquia, esto debido a dos condiciones principalmente, la primera es la disponibilidad de información cuantitativa y cualitativa de los procesos académico-administrativos del programa y la segunda pero no menos importante es la posibilidad de analizar algunos cambios realizados en la última actualización curricular del programa.

5.2.1. Fuentes de la información

Para la presente investigación se utilizaron datos obtenidos de las bases de datos de la Universidad de Antioquia, específicamente los relacionados con acceso, matrícula, rendimiento estudiantil y

características de los cursos del programa Ingeniería Industrial en los semestres comprendidos entre 2008 y 2018. Cabe resaltar que para ninguno de los ejercicios se requirió ni expuso información que pudiera relacionar un dato con una persona en particular.

5.2.2. Obtención y análisis de la información

La Universidad de Antioquia utiliza para la gestión de su información un sistema de gestión de bases de datos relacional, por lo cual, se elaboraron un conjunto de consultas utilizando el Lenguaje de Consulta Estructurado (SQL), mediante las cuales se obtuvieron datos asociados con: el acceso o admisión de alumnos, rendimiento académico y características de la estructura curricular del programa, que luego utilizando técnicas de estadística se realizó la caracterización de los estudiantes y cursos del programa académico caso de estudio.

Para el caso de los estudiantes el resultado de este análisis se encontró que el 60.12% son de sexo masculino, con una edad promedio de 22 años con una desviación estándar de 6 y una mediana de 20 años. El 95% de estos estudiantes son residentes en los primeros 3 estratos sociales, ubicados en zona urbana en el 93% de los casos. Además, el 73% obtuvieron su grado de bachiller en instituciones educativas oficiales, resultados que podemos ver gráficamente en la Figura 4

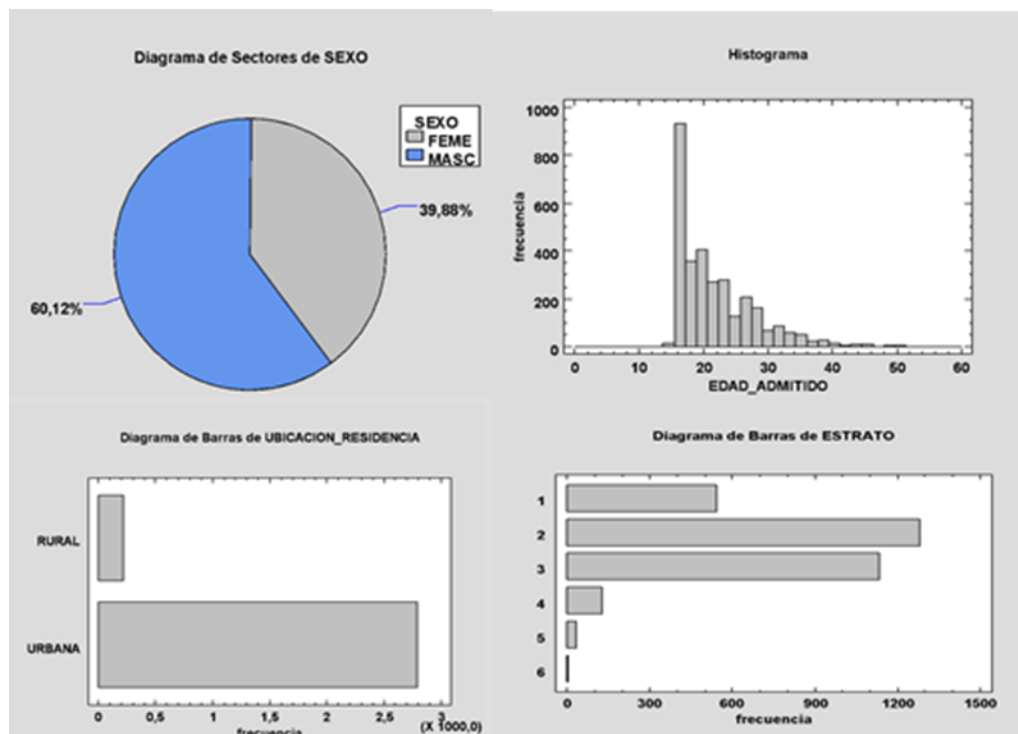


Figura 4: Gráficas análisis estadístico univariado. (construcción propia)

Así mismo, se realizó la caracterización de los cursos que componen los dos últimos planes de estudio del programa, de los cuales se consideraron el tipo de materia (básica o electiva), el porcentaje de aprobación del curso y los prerrequisitos necesarios para poder matricularlo. Estos resultados quedan consignados en la Tabla 3 a continuación

ID	Materia	Prerrequisitos	Tipo	Aprobación
1	INGLÉS I		BAS	82,86%
2	INDTRO I NGE INDUSTRI		BAS	91,56%
3	LECTOESCRITURA		BAS	87,47%
4	VIVAMOS LA UNIVERSIDAD		BAS	91,56%
5	CÁLCULO DIFERENCIAL		BAS	60,10%
6	GEOMETRÍA VECTORIAL Y ANA		BAS	63,46%
7	ÁLGEBRA Y TRIGONOMETRÍA		BAS	62,44%
8	INGLÉS II	1	BAS	93,97%
9	GESTIÓN DE LAS ORGANIZACI	2	BAS	97,13%

ID	Materia	Prerrequisitos	Tipo	Aprobación
10	HABILIDADES GERENCIALES	2	BAS	97,97%
11	CÁLCULO INTEGRAL	5 7	BAS	70,49%
12	ÁLGEBRA LINEAL	6 7	BAS	73,01%
13	DESCUBRIENDO LA FÍSICA		BAS	77,29%
14	INGLÉS III	8	BAS	90,59%
15	GESTIÓN CONTABLE	9	BAS	88,30%
16	TEORÍA GNRAL DE SISTEMAS	10	BAS	98,62%
18	PROBA. INFERENCIA ESTADÍS	11	BAS	85,02%
19	ALGORITMIA Y PROGRAMACIÓN	12	BAS	95,88%
20	FÍSICA MECÁNICA	6 11 13	BAS	70,92%
17	GESTIÓN DE METODOS Y TIEM	15 18	BAS	98,96%
21	INGLÉS IV	14	BAS	92,72%
22	INGENIERÍA ECONÓMICA	15	BAS	95,54%
25	DI. DE EXP. Y ANA DE REG	18	BAS	97,92%
26	OPTIMIZACIÓN	12	BAS	90,91%
45	ELECTIVA FISICA	22	ELEC	
23	DINÁMICA DE SISTEMAS	16 18	BAS	97,62%
24	GESTIÓN POR PROCESOS	17	BAS	100,00%
27	INGLÉS V	21	BAS	96,43%
28	GESTIÓN FINANCIERA	22	BAS	95,88%
31	MUESTREO Y SERIES DE TIEM	25	BAS	97,38%
32	PROC. EST. Y ANÁL DE DECI	25 26	BAS	99,18%
29	GESTIÓN TECNOLÓGICA	24	BAS	98,94%
30	NOR Y CONT DE LA CALIDAD	24 31	BAS	96,67%
33	INGLÉS VI	27	BAS	100,00%
34	FORMA CIUDAD Y CONSTITUCI		BAS	25,00%
36	SIMULACIÓN	19 23 32	BAS	98,25%
37	FORM. DE PROY. DE INVESTI	20 25	BAS	98,81%
52	ELECTIVA EN HUMANIDADES I		ELEC	
35	DISEÑ DE SISTE PRODUCTIVO	30 36	BAS	100,00%
38	EMPRENDIMIENTO	29	BAS	100,00%
39	LEGISLACIÓN	34	BAS	100,00%
46	ENFASIS PROFESIONAL	26 28 35 37	ELEC	97,11%

ID	Materia	Prerrequisitos	Tipo	Aprobación
47	COMPLEMENTARIAS	23 34	ELEC	98,32%
53	ELECTIVA EN HUMANIDADES II		ELEC	
40	ADMON DE LA PROD Y DEL SE	35	BAS	100,00%
41	FOR Y EVA DE PROY DE INVE	28 38 39	BAS	100,00%
48	ENFASIS PROFESIONAL	26 28 35 37	ELEC	97,11%
49	COMPLEMENTARIAS	23 34	ELEC	98,32%
54	ELECTIVA EN HUMANIDADES III		ELEC	
42	GEST DE LA CADE DE ABASTE	40	BAS	100,00%
43	GESTIÓN DE PROYECTOS		BAS	100,00%
44	ING DEL MEJ CONTINUO		BAS	100,00%
50	ENFASIS PROFESIONAL	26 28 35 37	ELEC	97,11%
51	COMPLEMENTARIAS	23 34	ELEC	98,32%

Tabla 3: Resultado análisis de tasas de aprobación de materias del plan de estudio

A partir de la caracterización de los estudiantes y los resultados obtenidos por estos en cada uno de los cursos del programa académico, se procede a realizar análisis de correlación, buscando la influencia de estas características de los estudiantes sobre los resultados académicos obtenidos. Sin embargo, los resultados obtenidos mostraron correlaciones muy bajas, de esto se concluye que estas características de los estudiantes no tienen incidencia significativa en los resultados obtenidos en los cursos del programa de ingeniería industrial de la Universidad.

5.2.3. Descripción del sistema

Una institución educativa o unidad académica ofrece un programa académico de pregrado, con el objetivo principal de formar profesionales de determinada disciplina. El programa cuenta con un plan de estudios, conformado por las materias que deben ser desarrolladas y aprobadas en un orden lógico regulado por una estructura de requisitos académicos previos. Además del plan de estudio, el programa cuenta con otros elementos o parámetros del sistema, la periodicidad de la admisión y el número de nuevos estudiantes que ingresará al programa cada periodo.

De acuerdo con lo anterior, en cada iteración del proceso ingresan al sistema un número teóricamente constante de estudiantes, para cada estudiante en el sistema se habilitan un subconjunto de cursos que puede matricular, de acuerdo con las reglas contenidas en el plan de estudios. De esta oferta de cursos el estudiante elige algunos para ser cursados, la probabilidad de que un estudiante tome determinado número de cursos, así como la de matricular una materia en particular, depende de las características del estudiante y del curso, pero además de las interacciones anteriores entre estos dos últimos. Lo anterior siempre atendiendo los límites superiores e inferiores que la normativa de la institución exprese para este tipo de programas. De manera similar a la elección de un curso, la probabilidad de que un estudiante apruebe un curso particular depende de ciertas condiciones o características del estudiante, curso e interrelaciones precedentes estudiante-curso.

Al finalizar cada iteración, de acuerdo con los resultados obtenidos por el estudiante en el periodo se sitúa a este en tres posibles estados: activo, graduado o desertor. Así, un estudiante se considera activo desde que realiza su primera matrícula y en un caso ideal, mantiene este estado hasta que culmine todas las materias que conforman el plan de estudio del programa momento a partir del cual se considera graduado, sin embargo, en algunos casos el estudiante pierde su calidad de estudiante activo por no aprobar al menos la mitad de los cursos en el semestre o reprobado uno de los cursos por tercera vez. Luego de esto solo los estudiantes activos continúan para realizar una nueva iteración, hasta que finalmente obtenga uno de los otros dos estados graduado o desertor.

Con los resultados agrupados de los estudiantes se construyen los indicadores de eficiencia del programa, así para un programa de n niveles la eficiencia académica calculada en el periodo i es igual a la razón entre el número de estudiantes graduados al finalizar del periodo i y el número de estudiantes nuevos en el periodo $i-n$.

Mediante un diagrama de flujo (Figura 5) se busca representar el camino del agente principal (estudiante) dentro del proceso descrito anteriormente.

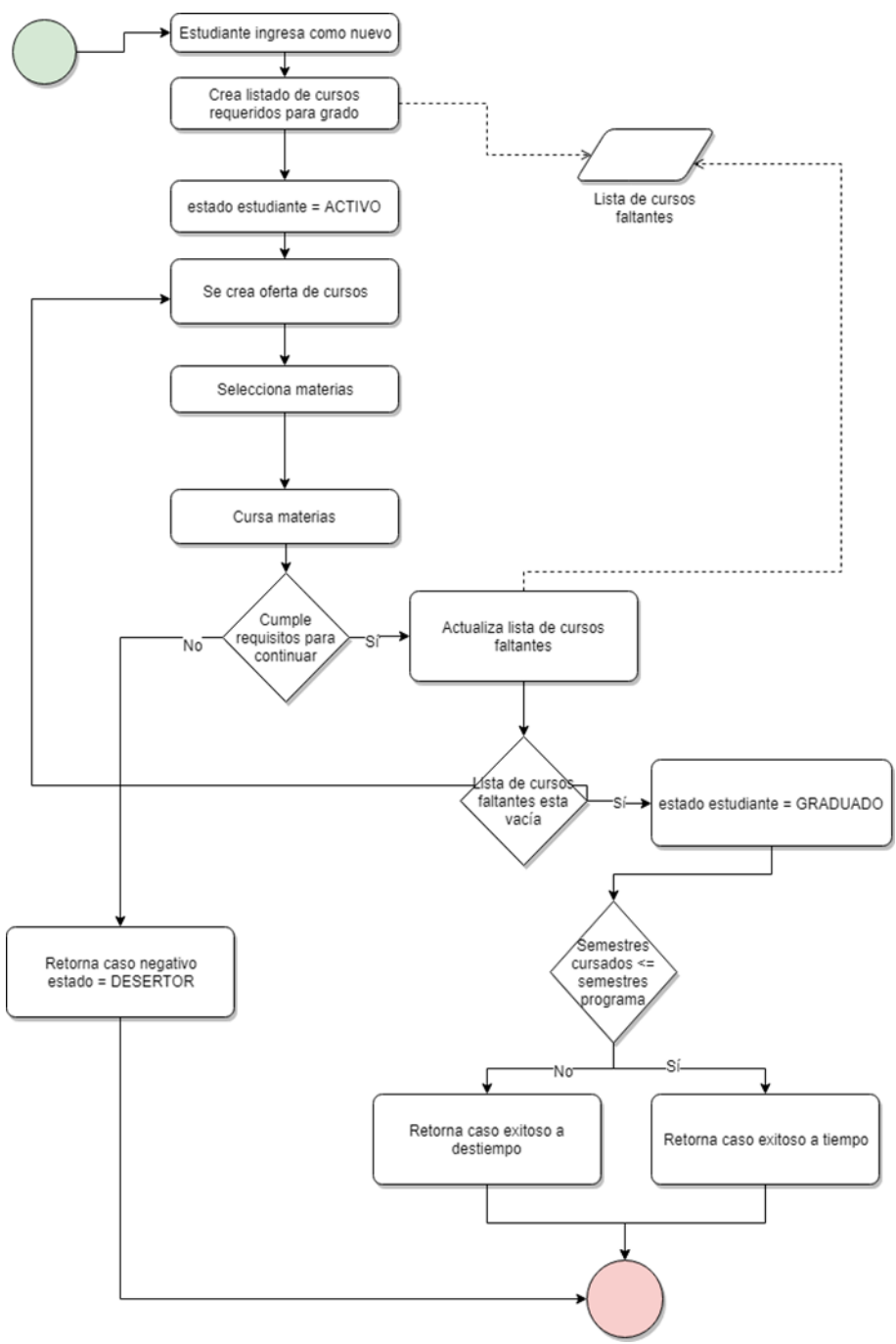


Figura 5: Flujo del sistema. Elaboración propia.

5.3. Hipótesis del comportamiento

Se definen un conjunto de hipótesis sobre el comportamiento del sistema al someterlo a cambios en las variables de este, de manera que, la construcción del modelo esté guiada por las necesidades de evaluación de éstas.

- La flexibilización de los prerrequisitos necesarios para que un estudiante matricule determinado curso puede tener un impacto positivo en el tiempo que tardan los estudiantes en culminar su proceso formativo.
- La fusión de contenidos de dos cursos en uno solo tiene un impacto positivo en la eficiencia del programa, al reducir implícitamente el número de materias del currículo.

5.4. Formulación del modelo de simulación

Con la información obtenida, los análisis realizados a la misma y las hipótesis formuladas se planteo un modelo de simulación utilizando ABSM que permite la configuración de una o más versiones del plan de estudio y que sus resultados pueden ser analizados individualmente y posteriormente comparados, en este sentido, cada modificación a ser analizada debe ser configurada como una nueva versión del plan de estudio original. Además, de esta precisión el modelo cuenta con las siguientes características:

5.4.1. Entorno

El modelo simula el transcurrir de los estudiantes en el programa académico, para lo cual el mundo se divide en un conjunto de columnas que representan los niveles en los que se encuentra dividido el programa sujeto de análisis. En cada uno de estos niveles se ordenan de manera vertical los agentes que representan a las materias, estos agentes se visualizan gráficamente con la forma

"target" nativa de Netlogo y su color se encuentra asociado a la tasa de aprobación de cada materia, verde para materias con tasas de aprobación superiores o iguales a 0.9, amarillo para tasas de aprobación entre 0.8 y 0.9, y roja para tasas de aprobación inferiores a 0.8. De otro lado, en la lógica del modelo los estudiantes al igual que las materias son agentes, sin embargo, estos no cuentan con una representación gráfica directa en el entorno, en su lugar estos se proyectan cambiando el color de los parches alrededor de cada uno de los cursos en los cuales se encuentra matriculado, el color que toman estos parches dependerá de la cantidad de estudiantes asociados a cada curso. Lo anteriormente descrito se puede observar en la Figura 6 a continuación.

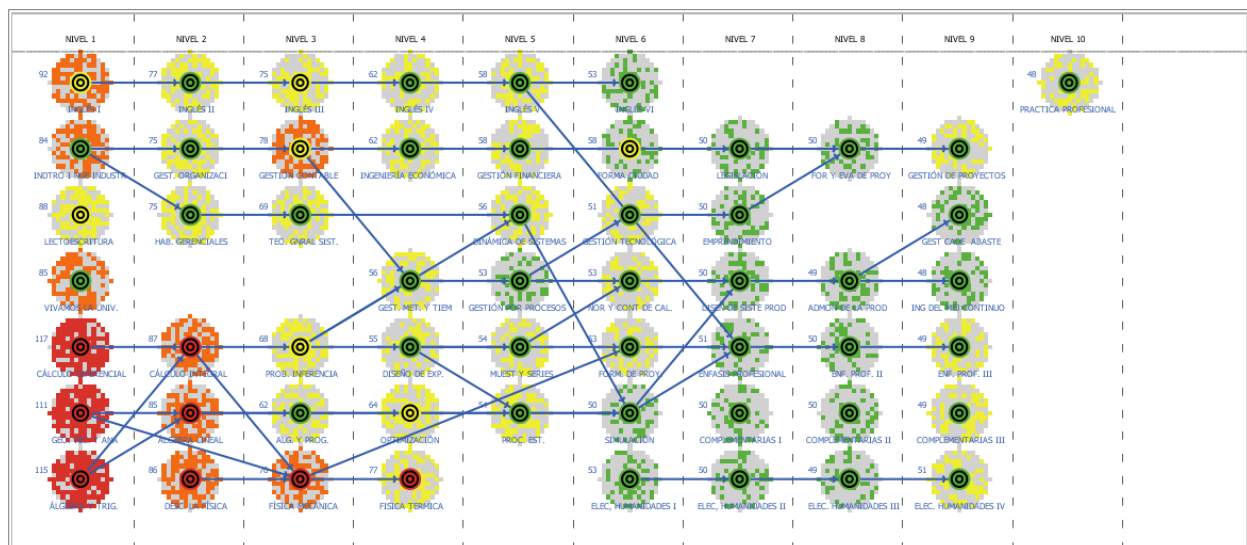


Figura 6: . Representación gráfica del modelo.

5.4.2. Agentes (Turtles)

De acuerdo con lo descrito en el apartado anterior, los agentes que interactúan en el modelo corresponden a las representaciones lógicas de estudiantes y materias, aunque gráficamente los primeros son representados con la coloración de los parches circundantes a las materias. En la

Figura 7 se puede observar la representación de las materias y los parches que las rodean toman una coloración diferente indicando cada uno la matrícula de un estudiante en el curso.

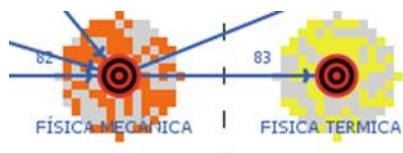


Figura 7: Representación gráfica de los agentes.

5.4.2.1. **Estudiantes.** De acuerdo con los análisis realizados a la información disponible, las características de los estudiantes no tienen una incidencia significativa en los resultados obtenidos en sus cursos, por lo cual todos serán inicialmente homogéneos y su comportamiento se encuentra asociado a las características de las materias y sus interacciones con estas. Para manejar el avance de cada uno de los estudiantes en el plan de estudios y generar semestralmente la oferta de cursos al estudiante, cada uno cuenta con tres conjuntos de materias: materias faltantes, materias aprobadas y materias perdidas. Ahora, dado que en un semestre un estudiante puede estar matriculado en varias materias, la representación gráfica de este se hace a través de la coloración de parches en las inmediaciones de los cursos en los que se encuentra matriculado, tal y como se puede observar en la Figura 8.

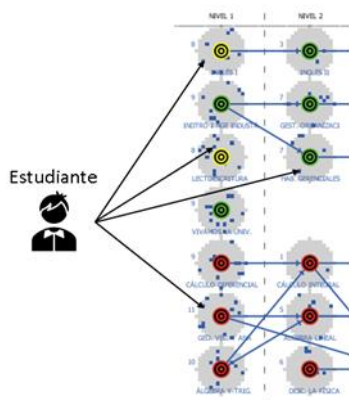


Figura 8: Proyección del estudiante.

5.4.2.2. **Materias.** Las diferentes materias del plan de estudio del programa se representan por agentes al igual que los estudiantes, sin embargo, estos agentes si se encuentran

representados directamente en el entorno de simulación y además ocupan un lugar fijo en el mismo. Cada materia cuenta con un conjunto de prerrequisitos necesarios para que el estudiante pueda matricularla, estos prerrequisitos pueden ser otras materias o haber cursado determinado número de créditos, además cuenta con una tasa de aprobación calculada a partir de la información histórica del programa, con la cual se simula la probabilidad de que un estudiante termine el curso o materia de manera satisfactoria, esta tasa.

5.4.3. Comportamiento

En el modelo de simulación planteado los agentes se comportan de acuerdo con la naturaleza del sistema descrito 5.2.3, a partir de esta descripción y demás insumos del presente capítulo se programó un algoritmo iterativo en el que cada ciclo o iteración representa un semestre académico y que luego de realizar una serie suficientemente grande de iteraciones se calcula la eficiencia en términos del promedio de semestres requeridos para que un estudiante culmine exitosamente el programa.

Así en cada una de estas iteraciones ejecutadas en el modelo se realizan una serie de acciones que se describen a continuación:

- Para representar la admisión de estudiantes al programa académicos, en cada iteración, se genera un conjunto de estudiantes. Este conjunto se elabora a partir de las estadísticas históricas que se tienen del proceso de selección del programa de Ingeniería Industrial.
- Cada estudiante consulta su oferta de materias para el periodo actual, y como resultado obtiene un conjunto de cursos de acuerdo con las materias previamente aprobadas y los requisitos de los cursos pendientes por cursar.
- De este conjunto de materias que conforman su oferta el estudiante selecciona aleatoriamente un sub-conjunto de materias para matricular. El número de cursos elegidos

también es aleatorio y se comporta de acuerdo con la media de materias matriculadas por estudiantes en el sistema real. Así mismo, de acuerdo con las tasas de aprobación calculadas a partir de la información histórica del sistema real se determina si cada estudiante culmina de manera exitosa el cada uno de sus cursos.

- Finalmente, se evalúa la continuidad de cada estudiante partiendo de tres situaciones que lo sacarían del sistema simulado: a) el estudiante finaliza todos los cursos de currículo. b) la relación entre cursos perdidos y matriculados es superior a 0.5. c) el estudiante pierde al menos un curso por tercera vez. d) el estudiante se retire aun aprobando todos los cursos matriculados. Con respecto al literal d anterior corresponde a que siempre hay un porcentaje de estudiantes que se retiran del programa por razones diferentes a las académicas (Castaño et al., 2004).

5.4.4. Representación gráfica del modelo

En la Figura 9 se puede visualizar el modelo propuesto, desplegado en el software NetLogo, en el cual se puede identificar los diferentes cursos del plan de estudio del programa estudiado, distribuidos de acuerdo al nivel al que pertenecen, con una coloración que depende de las tasas de aprobación de los mismos, rojo para cursos tasas de aprobación bajas, amarillo para tasas medias y verde para tasas de aprobación altas, además en este modelo las fechas azules (link en Netlogo) representan la estructura de prerrequisitos del programa.

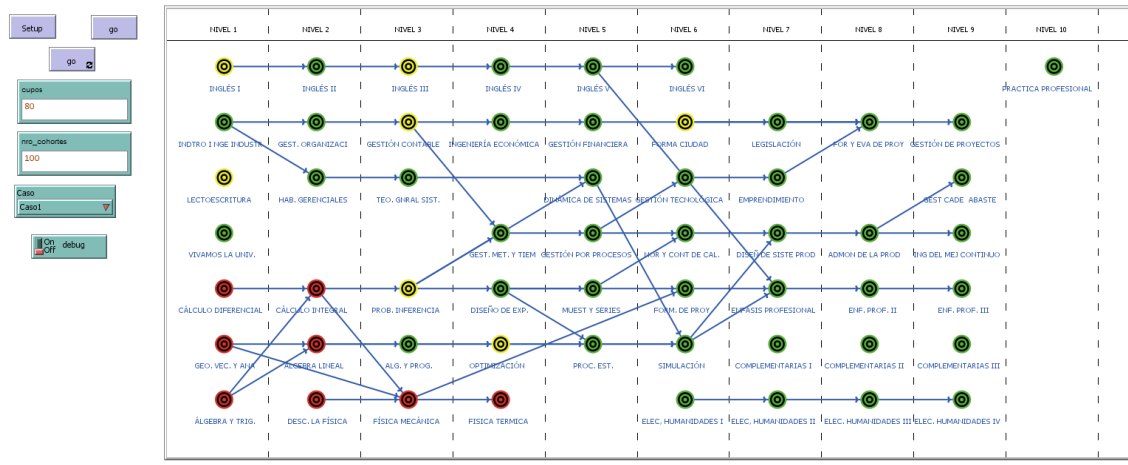


Figura 9: Configuración inicial del modelo de simulación

6. Análisis de escenarios y resultados

Con el fin de analizar el comportamiento del sistema simulado y evaluar algunas posibles modificaciones del plan de estudio del programa académico de pregrado en Ingeniería se plantean cuatro diferentes escenarios, con los cuales se busca valorar el impacto en los indicadores de eficiencia del programa de algunos posibles cambios en la estructura curricular del programa, con este fin, en la siguiente sección se realizara la descripción de cada uno de los escenarios, para luego en la siguiente presentar el análisis de los resultados obtenidos .

6.1. Descripción de los escenarios

La presente sección busca explicar cada uno de los cuatro escenarios propuestos para ser analizados, comenzando por un escenario base o de referencia con el cual se busca representar el programa académico bajo las condiciones y parámetros que simulan la realidad, y tres escenarios de mejora de los cuales el primero consta de retirar un prerrequisito en específico, el segundo propone la fusión de dos cursos en uno solo que los integre, y el tercero propone el retiro de un curso y la inclusión de otro en una línea diferente a la del primer curso.

6.1.1. Escenario 1 - Base (Plan de estudio actual)

El escenario base corresponde a la novena versión del plan de estudios del programa Ingeniería Industrial de la Universidad de Antioquia, tal y como se observa en la Figura 11 consta de 56 cursos dispuestos en 10 niveles. Las relaciones entre los cursos se dan por medio de los prerrequisitos de matrícula de estos, así en la Tabla 3: Resultado análisis de tasas de aprobación de materias del plan de estudio) se puede observar que cada curso se identifica por un código consecutivo, y su prerrequisito se presenta en la columna denominada de igual forma. Cada curso cuenta con una

tasa de aprobación calculada con los resultados históricos obtenidos por los estudiantes que pasaron por estos.

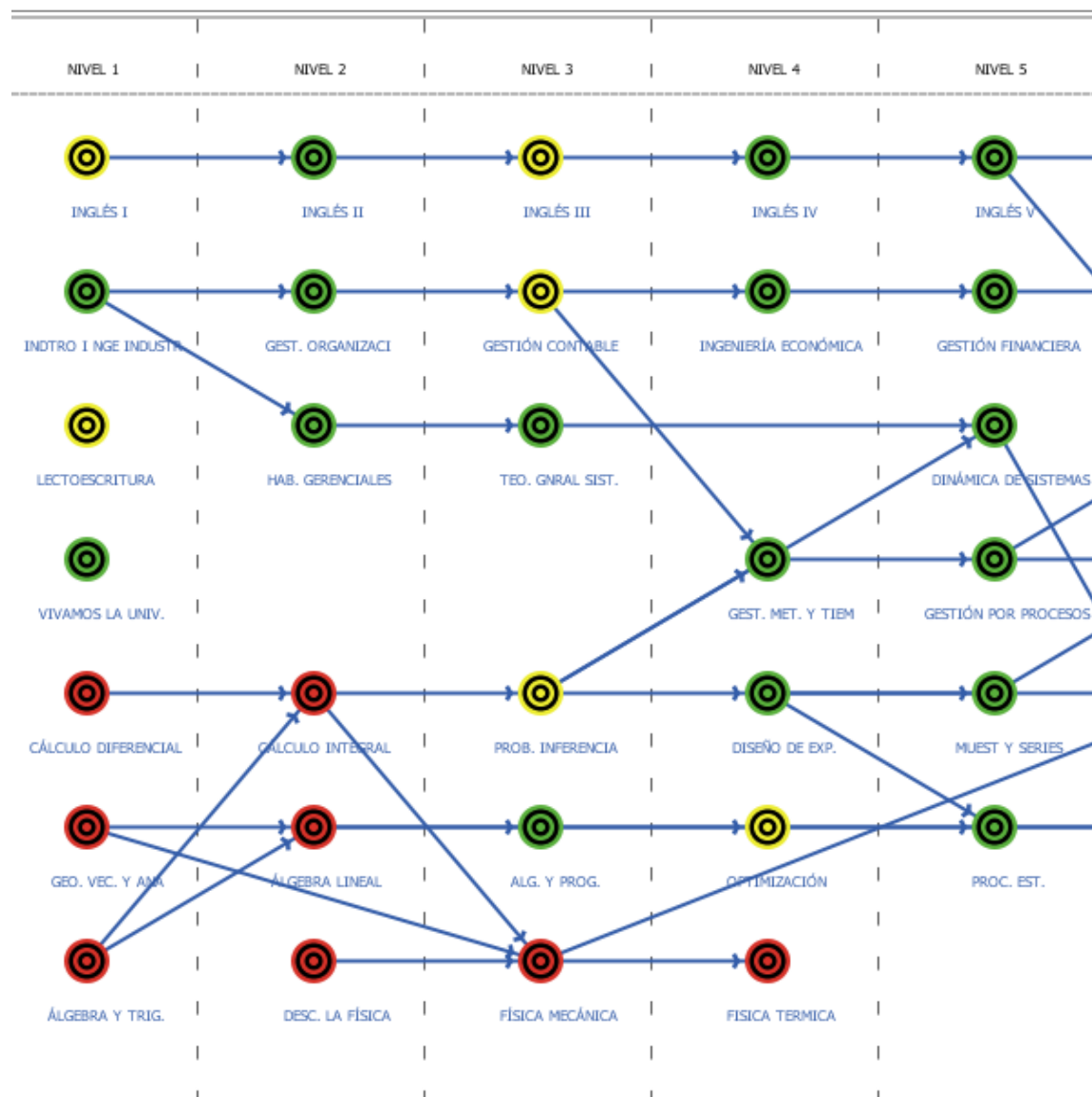


Figura 10: Representación gráfica (lado izquierdo)

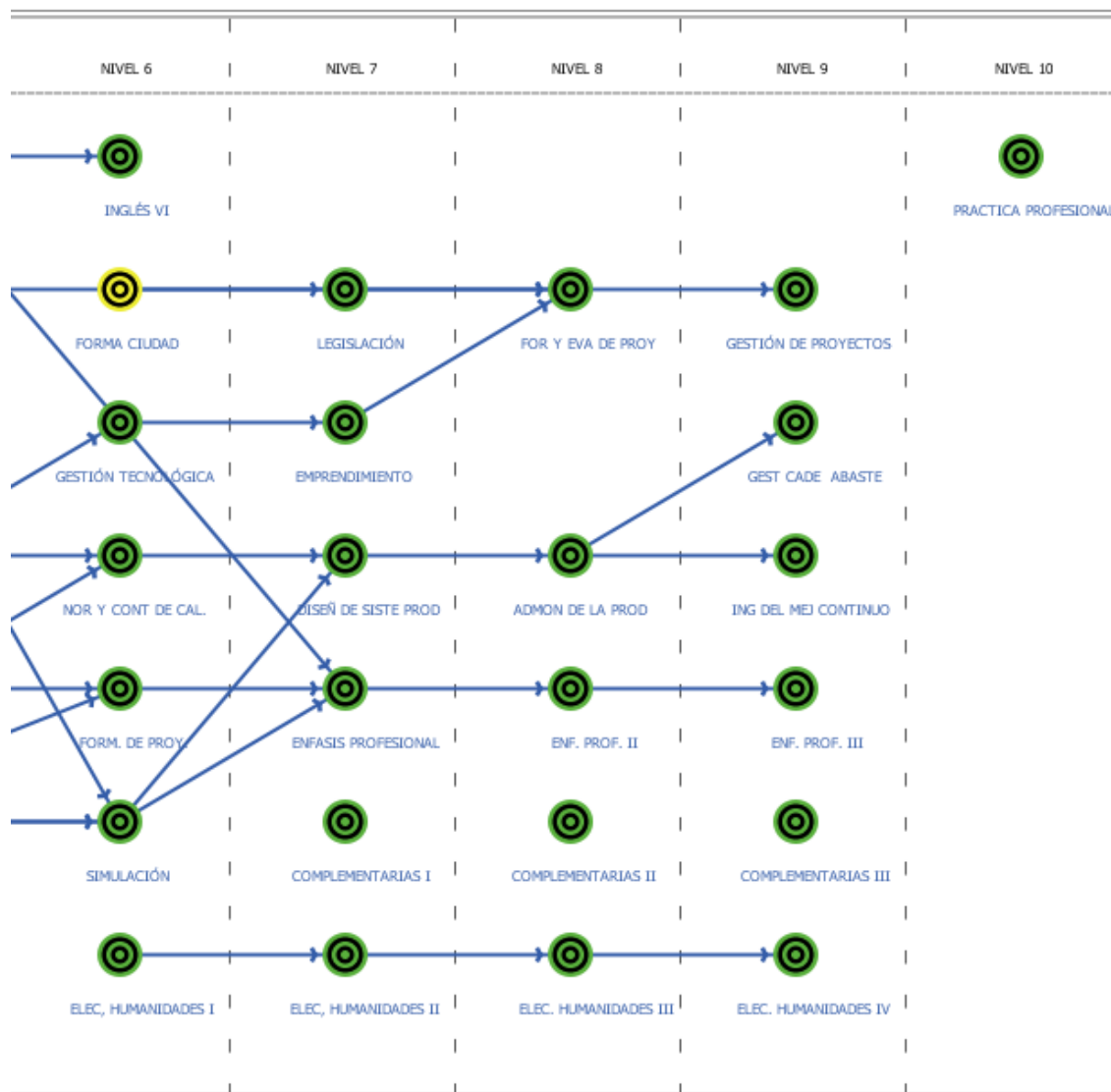


Figura 11: Representación gráfica del Escenario base (versión 9 programa Ing. Industrial)

6.2. Escenario 2 - Retiro de un prerrequisito

Para la construcción de este escenario se analizaron en el escenario base los cursos que tienen como prerrequisito materias con bajas tasas de aprobación, con el fin de encontrar posibles cuellos de botella. De estos se seleccionó para ser retirado el prerrequisito de aprobar el curso Cálculo Integral para que un estudiante matricule el curso Probabilidad e Inferencia Estadística, esto debido a que el primero presenta una de las tasas más bajas de aprobación del programa y que de su

aprobación depende la posibilidad de matricular una línea de materias que va hasta el final del programa, la representación gráfica de este cambio la podemos ver en la Figura 132 y 13.

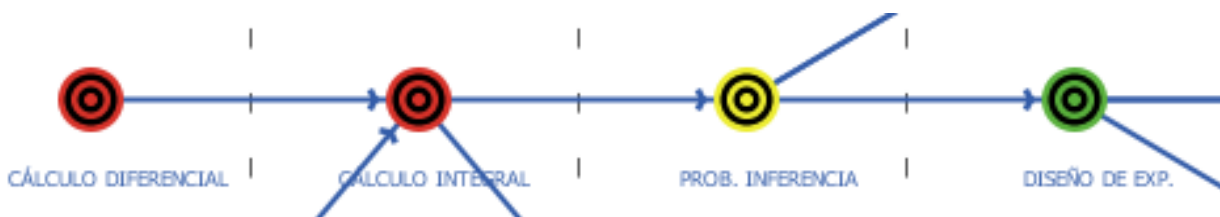


Figura 12: Modelo con el prerrequisito entre Cálculo Integral y Prob. Inferencia.



Figura 13: Modelo sin el prerrequisito entre Cálculo Integral y Prob. Inferencia.

6.3. Escenario 3 - Fusión de cursos

Debido a que uno de los cambios que comúnmente se realizan en las reformas de los planes de estudio de los programas de pregrado es la agrupación de contenidos de dos o más cursos en un curso macro e indagando por una situación similar realizable en el plan de estudio del programa de Ingeniería Industrial, se plantea el escenario en el cual se fusionan los curso Teoría General de Sistemas (TGS) y el curso Dinámica de Sistemas (DS) cuyos contenidos son impartidos en un solo curso en varias instituciones de la región.

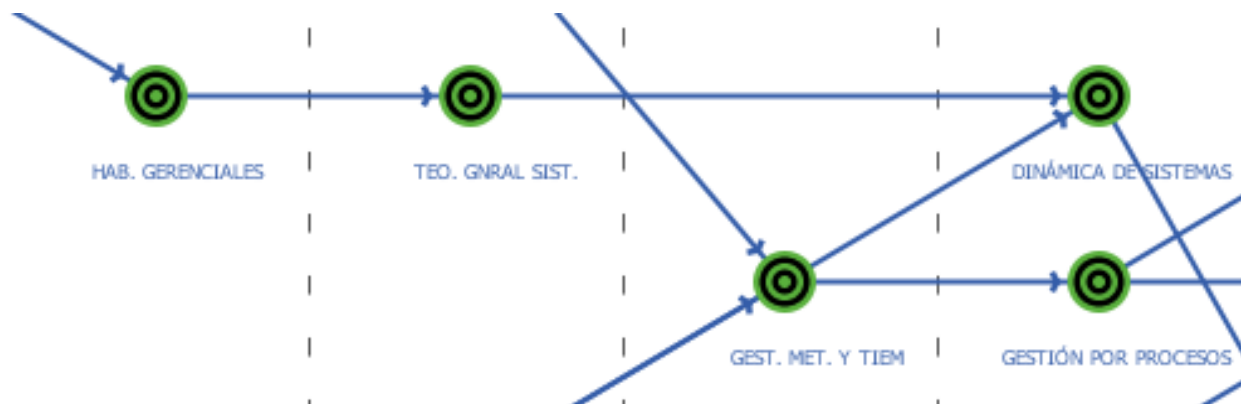


Figura 14: Modelo sin la fusión de los cursos TGS y DS

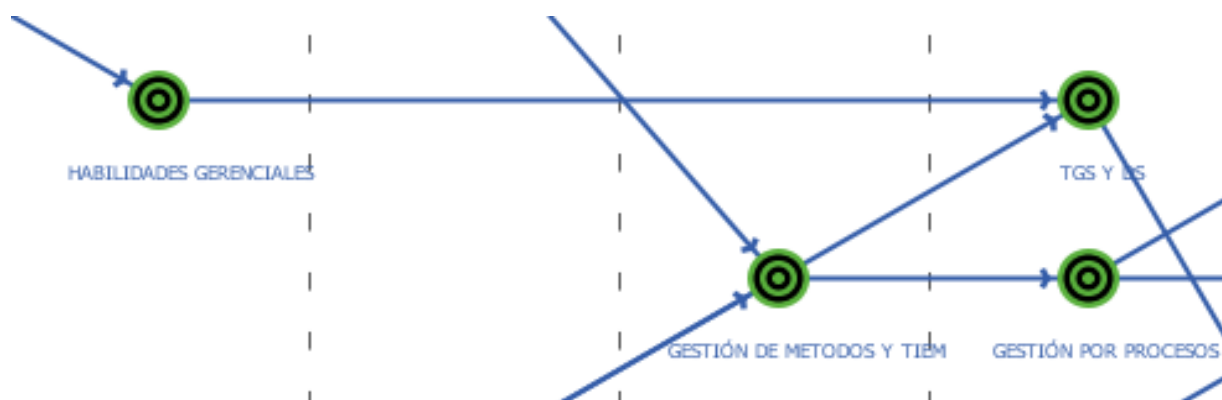


Figura 15: Modelo con la fusión planteada en el escenario 3

Tal y como se puede observar en las 14 y 15, en la práctica este escenario implica la eliminación de dos cursos del currículo TGS y DS, además de la creación de un curso nuevo, del cual a diferencia de los dos que lo preceden no contamos con información estadística que permitiera determinar su tasa de aprobación, por lo cual se decidió utilizar la tasa más baja de los dos cursos, de manera similar, la ubicación de este nuevo curso dentro de los niveles del programa dependió de los prerrequisitos del curso DS debido a que estos no permitían disponerlo en un semestre o nivel inferior.

6.4. Escenario 4 – Eliminación y reemplazo de curso

El último de los escenarios se buscó representar la eliminación de un curso de una de las líneas cambios en la malla curricular: el retiro de un curso de línea de lengua extranjera del cuarto nivel y la inclusión de un curso Ecuaciones diferenciales de la línea de matemáticas en el mismo nivel, como se visualiza en el recuadro resaltado de la figura 16.

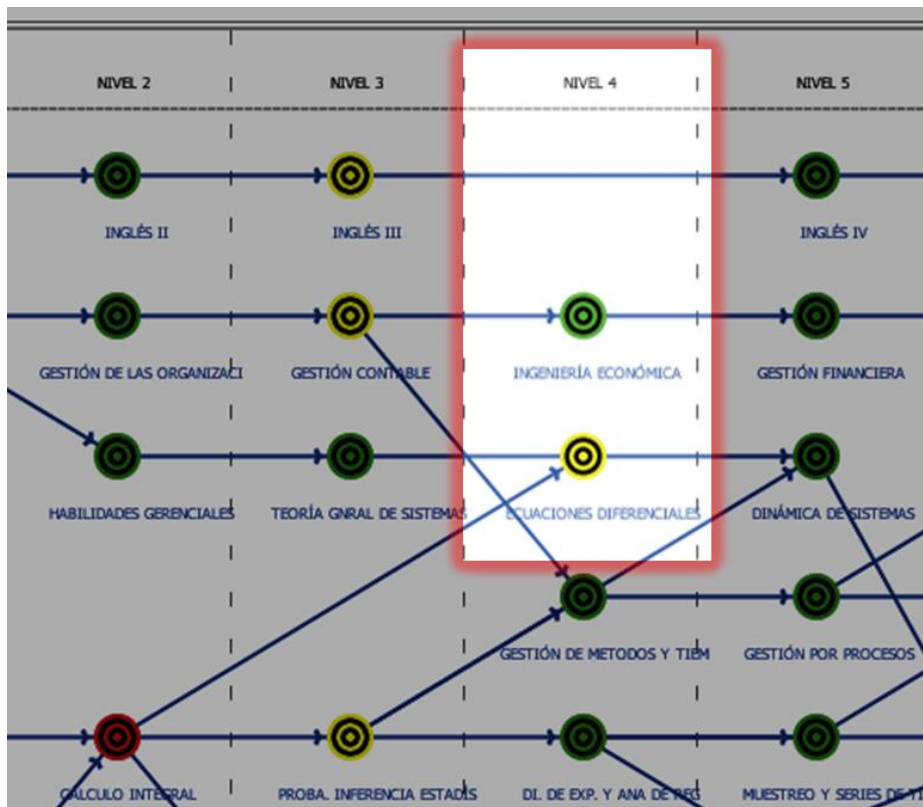


Figura 16: Propuesta de cambios para nueva versión del programa

6.5. Resultados por indicador

Con el fin de determinar si los cambios propuestos en los escenarios tienen impacto en la eficiencia del programa académico, se procede a evaluar en el modelo el comportamiento de los indicadores que de acuerdo con la literatura son utilizados para la medición de esta: promedio de semestres

para la terminación, número de graduados por periodo y número de estudiantes declarados en insuficiencia académica, los cuales serán explicados en las secciones posteriores.

Con el fin de validar los resultados obtenidos del modelo, se calcularon los tres indicadores con la información del programa de los semestres comprendidos entre el primero del 2008 al segundo del 2018, estos indicadores poblacionales además serán referentes para la valoración de los cambios surgidos en los escenarios propuestos de mejora.

6.5.1. Promedio de semestres para terminación

Este indicador se refiere a la media del número de semestres que los estudiantes necesitaron para terminar satisfactoriamente todos los cursos propuestos en el pensum del programa académico, el cual a realizar el cálculo poblacional de este es 12.3 semestres en promedio. y los rangos obtenidos luego de realizar 80 iteraciones del modelo en los cuatro escenarios se muestran a continuación en diagramas de cajas y bigotes en las figuras 17, 18, 19 y 20, además de los intervalos de confianza en tabla 4

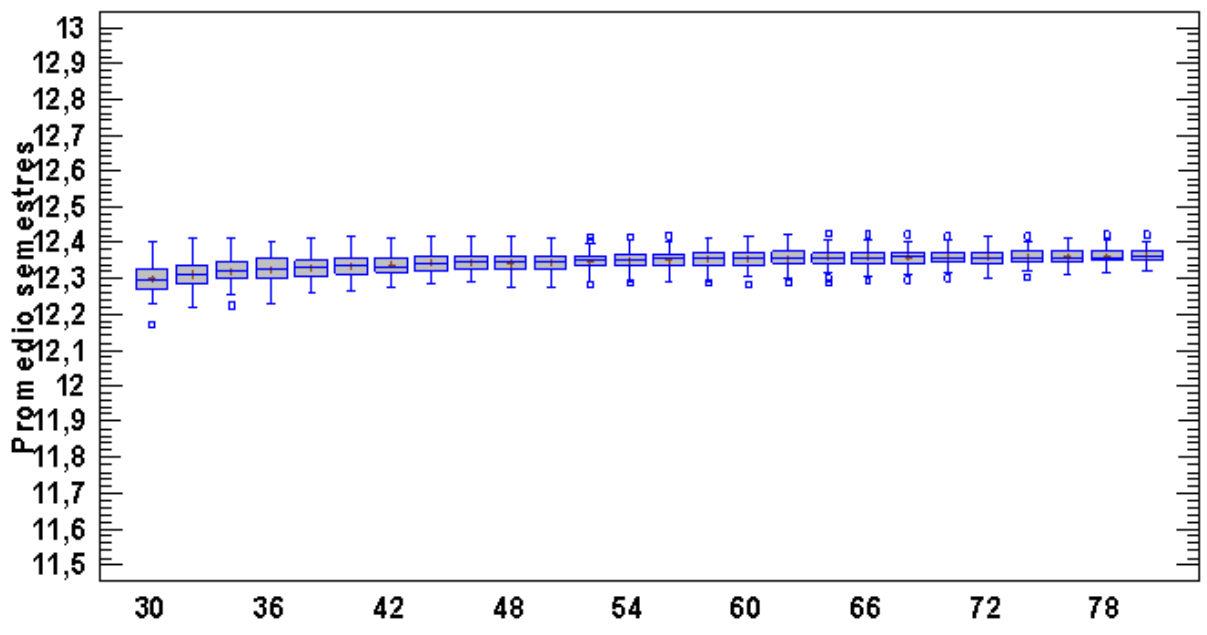


Figura 17: Promedio de semestres para terminar en escenario 1 - base

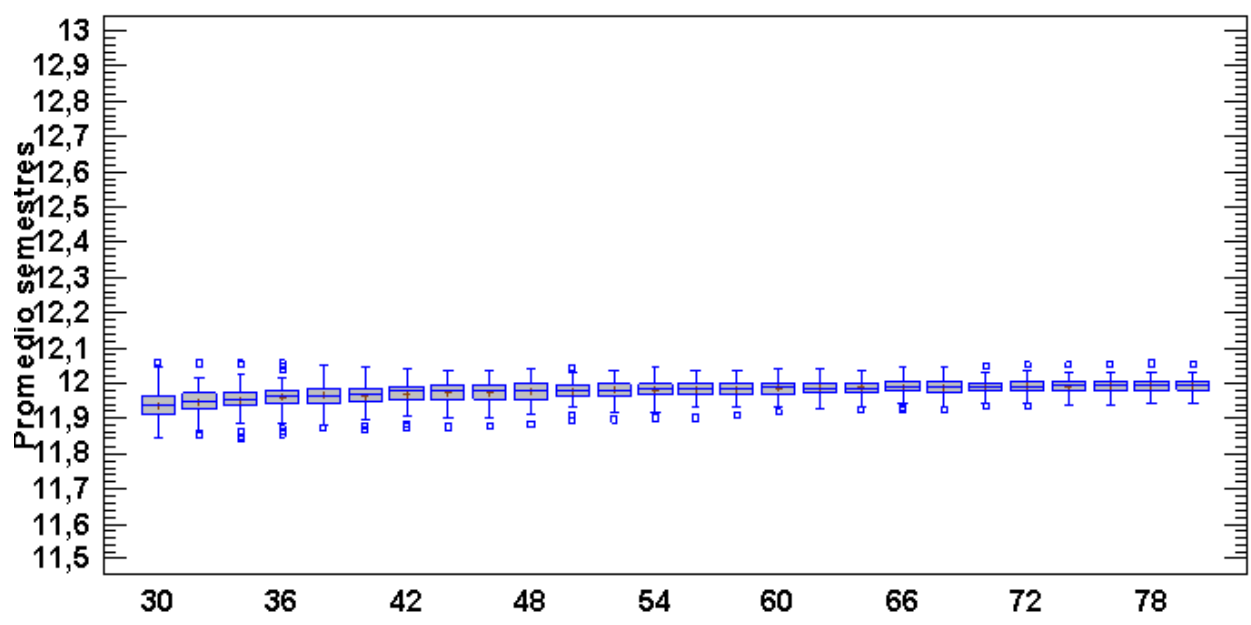


Figura 18: Promedio de semestres para terminar en escenario 2

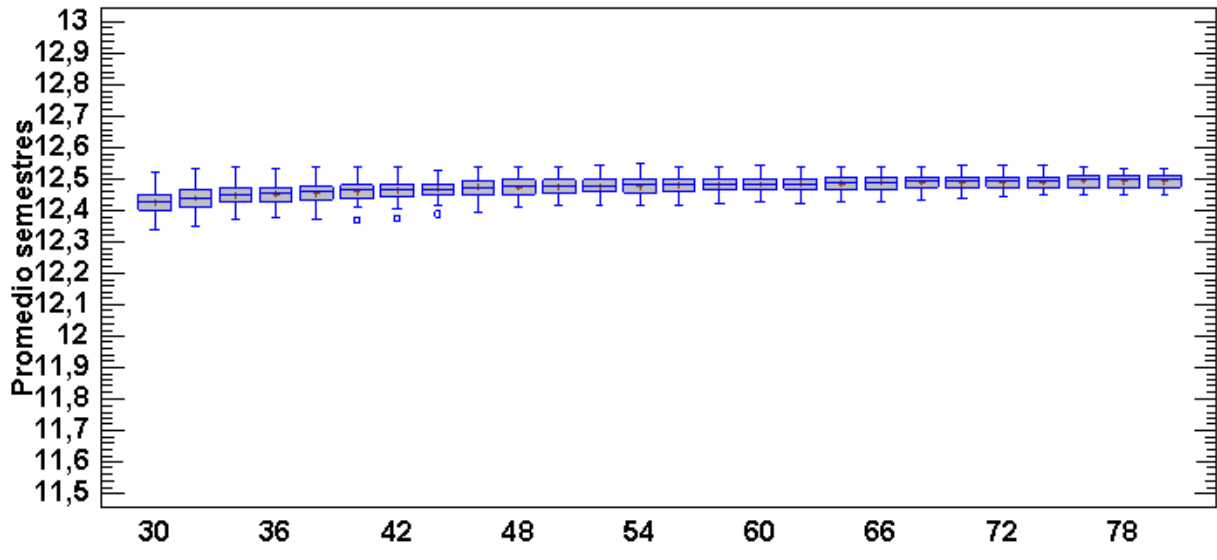


Figura 19: Promedio de semestres para terminar en escenario 3

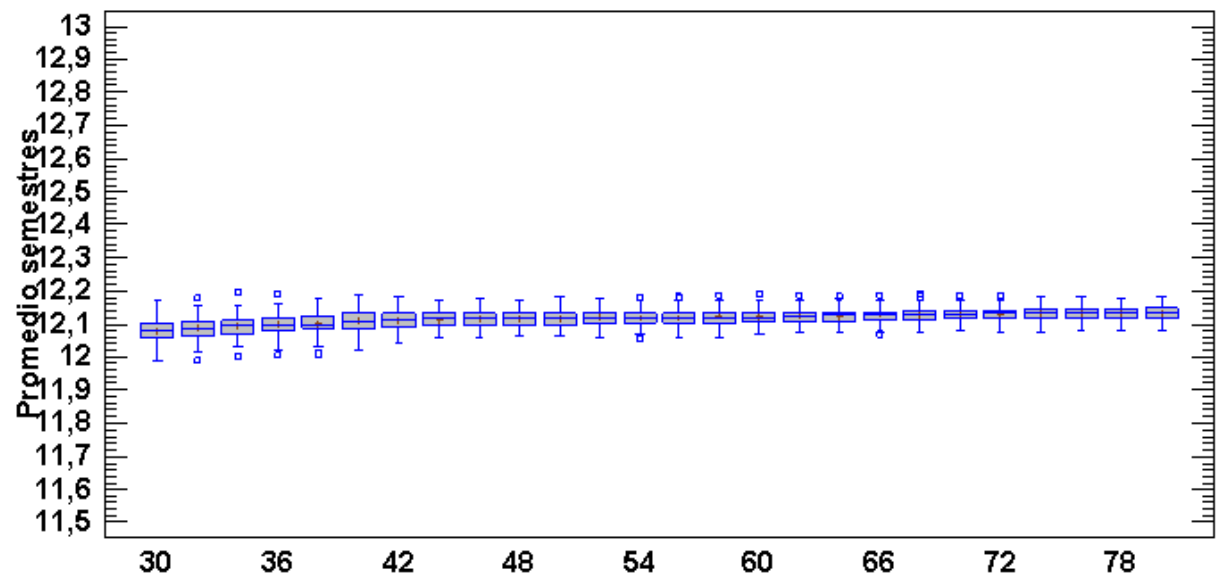


Figura 20: Promedio de semestres para terminar en escenario 4

Escenario	Intervalo de confianza al 99%
1 - Base (Plan de estudio actual)	(12.345749, 12.348225)
2 - Retiro de un prerrequisito	(11.976795, 11.979287)

3 - Fusión de cursos	(12.474186, 12.476807)
4 - Eliminación y reemplazo de curso	(12.116189, 12.118588)

Tabla 4. Intervalos de confianza - Promedio de semestres para terminar

En los resultados anteriores se puede evidenciar que el escenario base se comporta de acuerdo con lo esperado, con un intervalo cercano la media real del sistema (12.3 semestres). Además, los escenarios 2 y 4 muestran una mejora en el indicador, la cual es mucho más marcada en el 2. Sin embargo, el tercer escenario propuesto muestra un aumento en el tiempo promedio necesario para la terminación del programa graduación del estudiante, aunque esta propuesta incluya la disminución de un curso en el programa.

6.5.2. Graduados por periodo

Este indicador refiere a la media del número de graduados por periodo del programa académico. Este indicador a diferencia del anterior se ve evidentemente afectado por el número de estudiantes nuevos que ingresan al sistema cada periodo, por lo cual se parte del supuesto de que este parámetro sea estable y se ajuste a la media real del programa.

Los resultados obtenidos en este indicador manifiestan igual que el caso anterior una correspondencia entre el escenario base y el resultado del cálculo poblacional del indicador, en donde este último (48.14 graduados) se encuentra en el rango de los resultados obtenidos en las diferentes corridas del modelo para este escenario que se puede visualizar en la tabla 5.

Escenario	Intervalo de confianza al 99%
1 - Base (Plan de estudio actual)	(48.029103, 48.485449)

2 - Retiro de un prerrequisito	(49.335195, 49.792417)
3 - Fusión de cursos	(47.268123, 47.72628)
4 - Eliminación y reemplazo de curso	(47.302959, 47.758981)

Tabla 5 Intervalos de confianza - Graduados por periodo

En relación con los demás escenarios, el único que presenta una mejoría en el indicador de graduados por semestre o periodo es el escenario 2, los otros dos escenarios propuestos presentan incluso un descenso con relación al escenario base, como se puede observar en los diagramas de cajas y bigotes en las figuras 21, 22, 23 y 24 y más claramente en la tabla 2 (Intervalos de confianza del indicador).

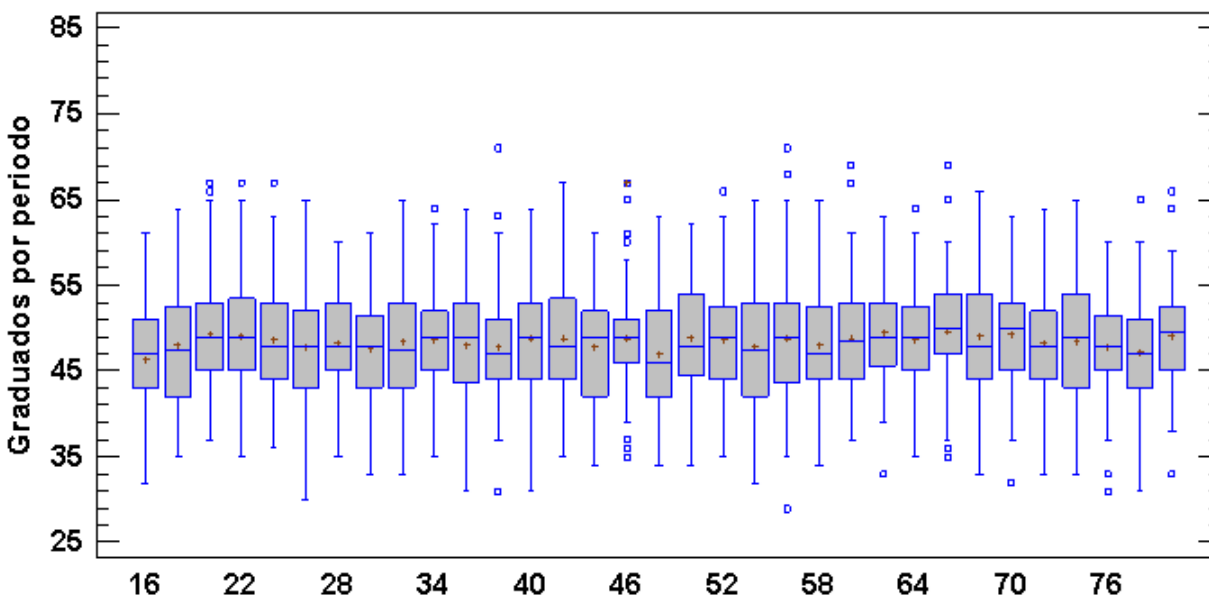


Figura 21: Graduados por periodo en el escenario 1

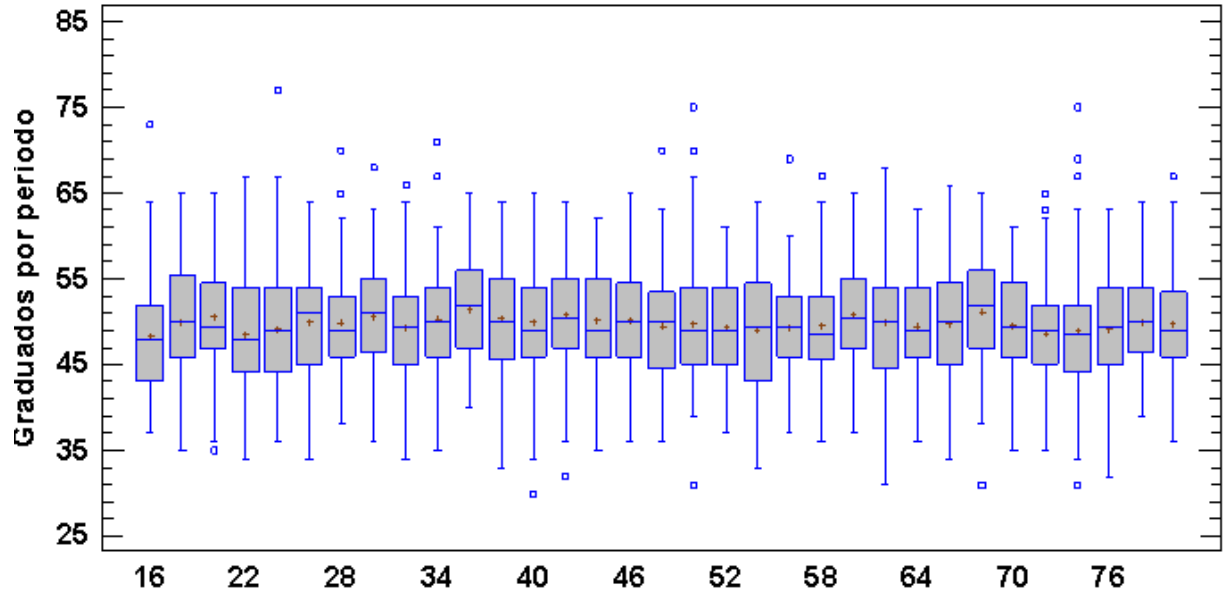


Figura 22: Graduados por periodo en el escenario 2

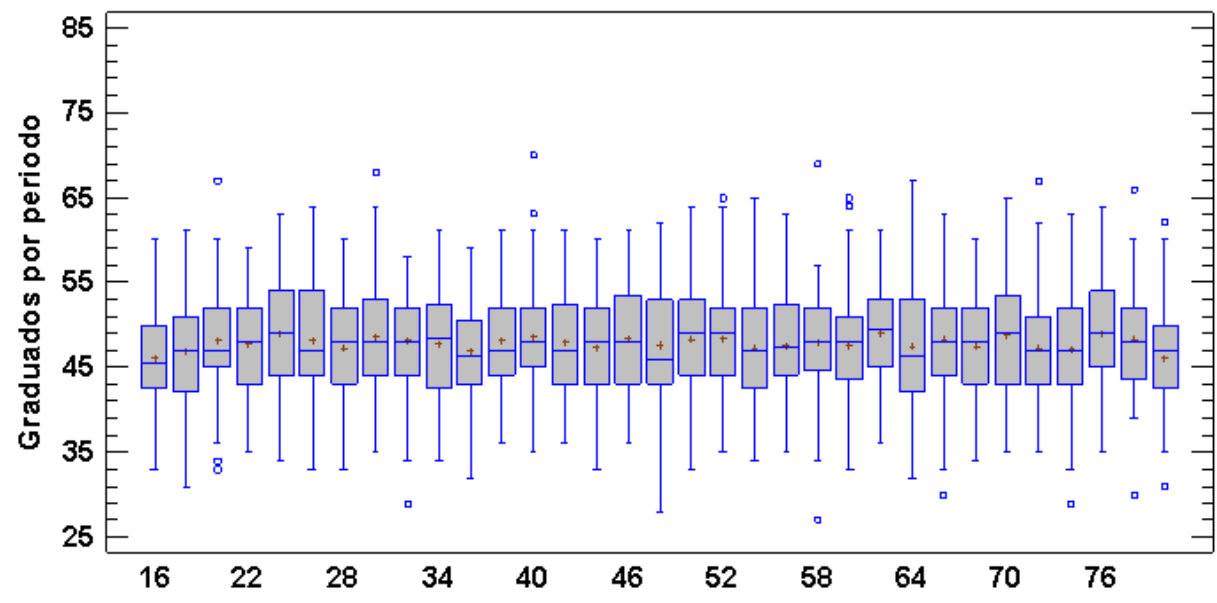


Figura 23: : Graduados por periodo en el escenario 3

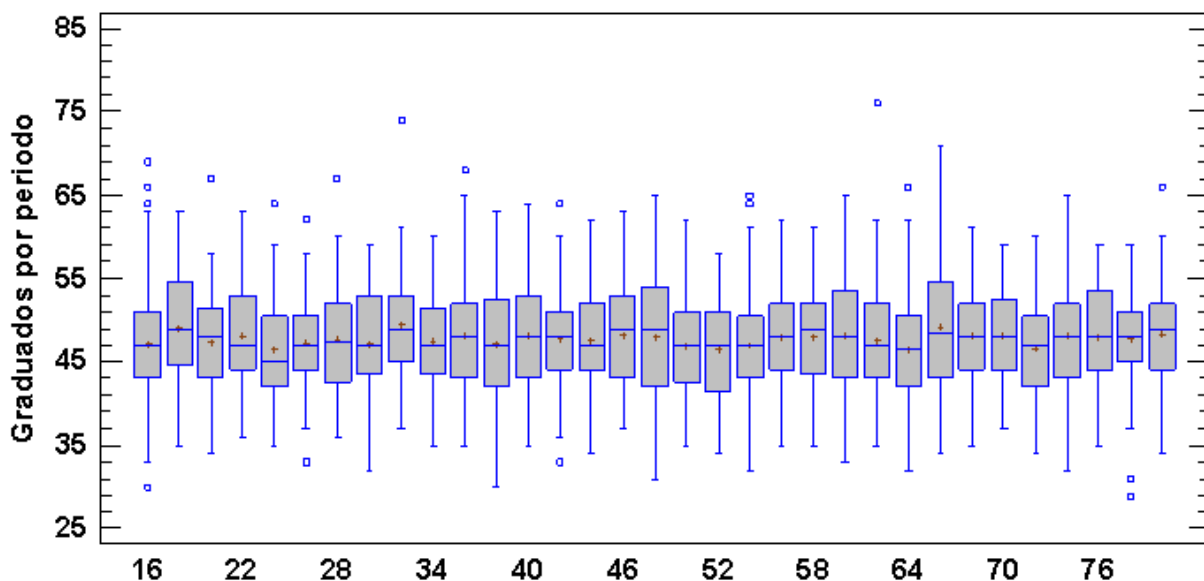


Figura 24: Graduados por periodo en el escenario 4

6.5.3. Insuficientes por periodo

Como se puede inferir por su nominación, este indicador expresa el promedio de estudiantes que salen del sistema por insuficiencia académica, simulada en el presente modelo por la pérdida de determinado curso en tres ocasiones (continuas o no), o la no aprobación de más de la mitad de los cursos matriculados por el estudiante.

Los resultados de las diferentes corridas del modelo en cada escenario que se pueden visualizar gráficamente en la figura 25, 26, 27 y 28 son similares a los resultados en el indicador anterior, con una mejora de hasta el 5.5% del escenario 2 con respecto al cálculo poblacional (23.65), y un desmejoramiento en los escenarios 3 y 4 con respecto al escenario base y sistema real, tal y como se puede ver claramente en la tabla 6.

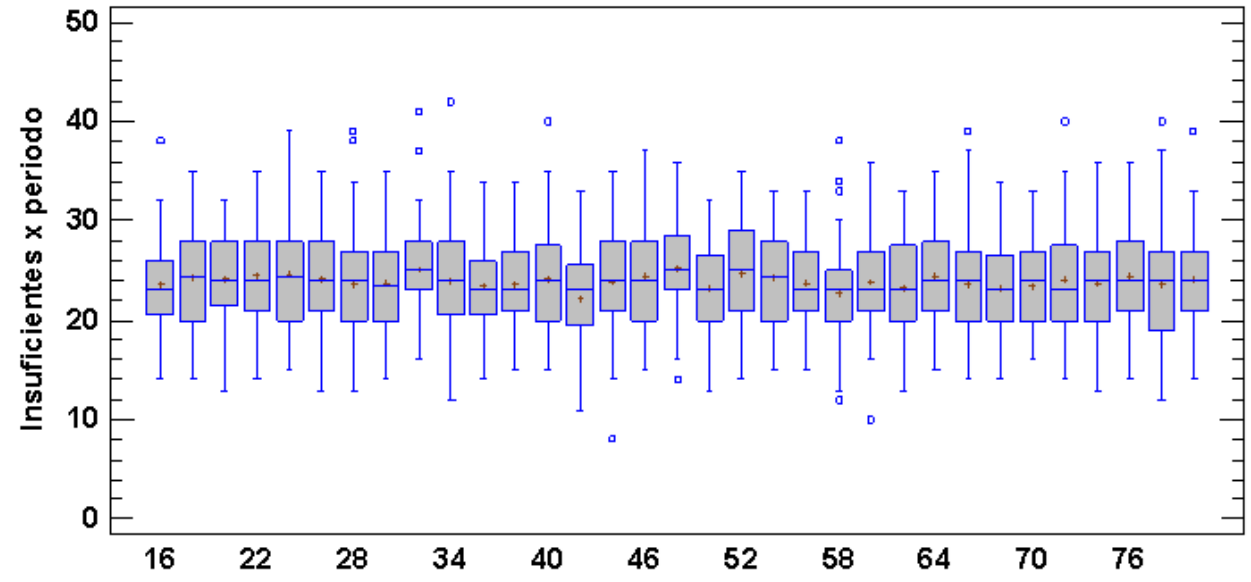


Figura 25: Insuficientes por periodo en el escenario 1

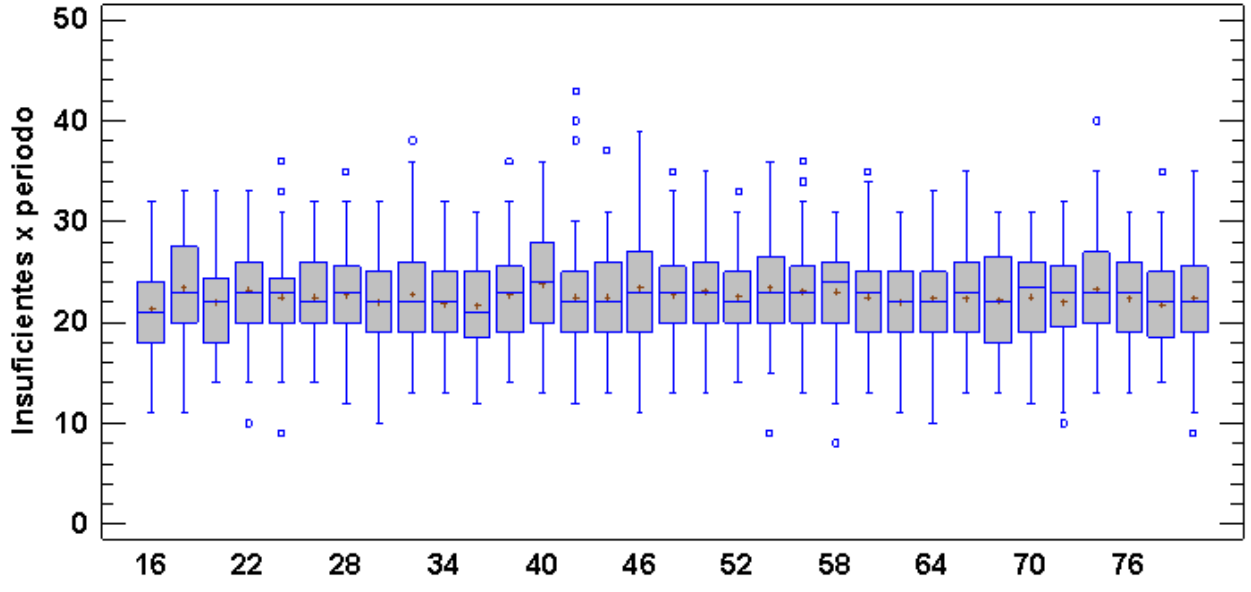


Figura 26: Insuficientes por periodo en el escenario 2

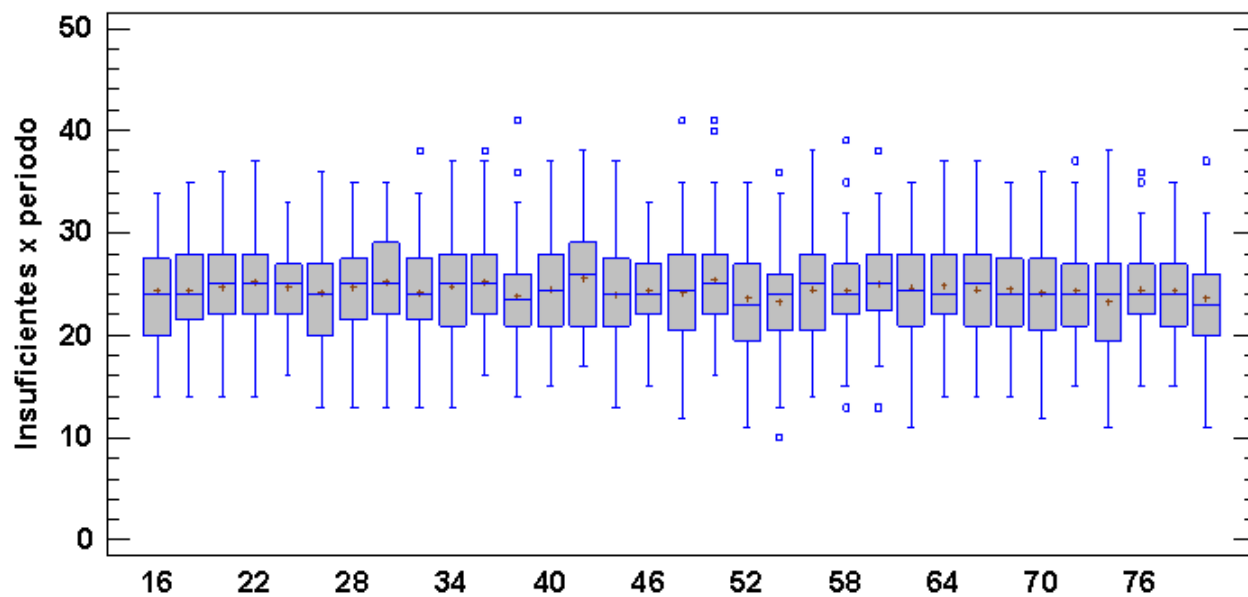


Figura 27: insuficientes por periodo en el escenario 3

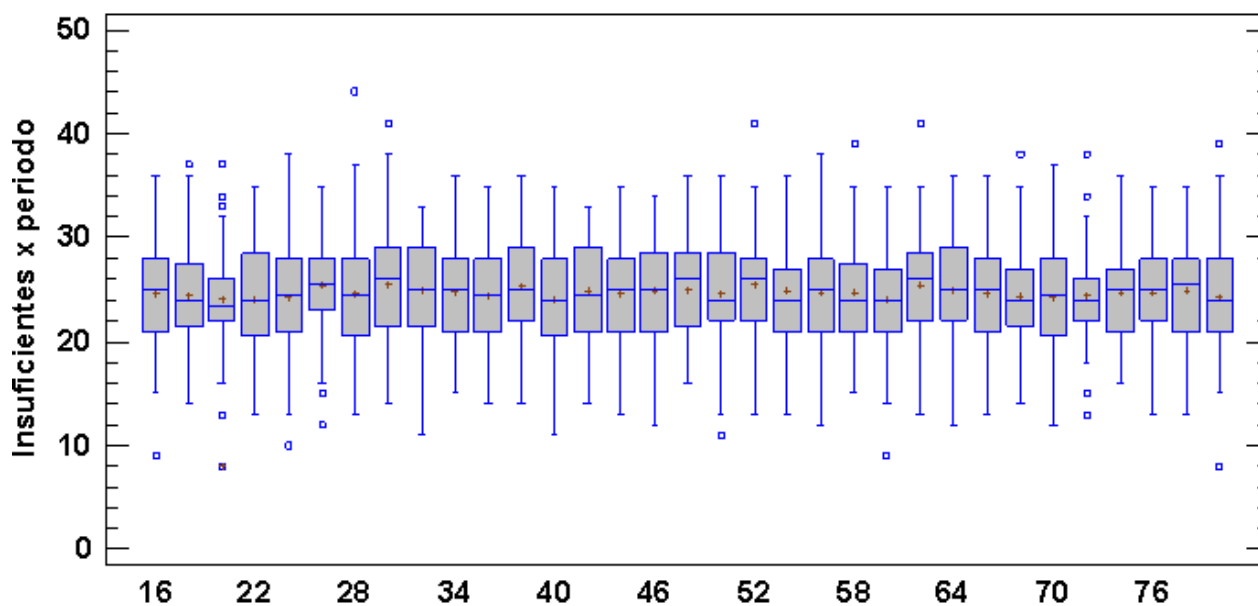


Figura 28: Insuficientes por periodo en el escenario 4

Escenario	Intervalo de confianza al 99%
1 - Base (Plan de estudio actual)	(23.811300, 24.148028)

2 - Retiro de un prerrequisito	(22.342647, 22.671532)
3 - Fusión de cursos	(24.302044, 24.639747)
4 - Eliminación y reemplazo de curso	(24,584284, 24.930641)

Tabla 6 Intervalos de confianza - Insuficientes por periodo

7. Conclusiones

En este punto es importante retomar los hallazgos de la revisión de literatura (Sección 3) sobre los cuales se plantearon los objetivos del presente trabajo, en los que se pudo evidenciar que existe un desarrollo importante en el estudio de la eficiencia de las instituciones de educación superior, sin embargo, en ninguno de los métodos utilizados se consideraba el impacto que tienen sobre esta eficiencia las modificaciones o cambios la estructura curricular de los programas, pero además, se encamina a través de la misma revisión la posibilidad de que la simulación sea una herramienta idónea para este acercamiento.

Ahora, con el fin diseñar modelo de simulación como herramienta para el análisis y evaluación de las modificaciones en los planes de estudio para el mejoramiento de los indicadores de desempeño estudiantil en un programa académico de la Universidad de Antioquia se realizó un modelo de simulación basada en agentes en el cual se representaba detalladamente la estructura de requisitos del programa académico de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería, así a través de varias repeticiones nos permite calcular la eficiencia esperada del programa y las posibles mejoras aplicadas en este, sin embargo para lograrlo se debieron realizar otra serie de actividades enmarcadas en los objetivos específicos del proyecto las cuales se describirán en los siguientes apartes de este trabajo.

Como punto de partida y primer objetivo de la investigación se realizó una revisión en la literatura que nos permitió identificar las métricas y protocolos de medición de los principales indicadores académicos propuestos por entidades e instituciones dedicadas a la educación superior, ahora, las instituciones de estos niveles de formación tienen en su misión un conjunto variado de objetivos que incluyen lo estrictamente formativo pero que no se limitan a este, por lo cual los instrumentos utilizados para analizar su desempeño están conformados por manuales de indicadores extensos y detallados, sin embargo, al puntualizar sobre el análisis de la eficiencia (sección 3.3) en la formación se encontró que los estudios se basan en la relación entre los estudiantes que ingresan al programa o institución, el número de estos que finalmente culminan y el tiempo necesario para esta culminación.

Ahora teniendo como norte el análisis de los indicadores seleccionados, para dar cumplimiento al segundo objetivo de este trabajo se procedió con el diseño de un modelo que represente el comportamiento de los estudiantes a través del plan de estudio del programa, pero que, además permita la valoración de escenarios hipotéticos que busquen la mejora de los resultados obtenidos por el programa en términos de los indicadores anteriormente expuestos, tal y como quedó consignado en la quinta sección del presente documento.

Seguido a esto, se configuró el modelo con un escenario base y se plantearon tres escenarios de mejora respondiendo al tercer objetivo de esta investigación y de acuerdo con los resultados obtenidos con el escenario base, el modelo realizado es una representación cercana a la realidad del programa caso de estudio, toda vez que, estos resultados se acercan claramente a los calculados a partir de la información real del programa en el rango de tiempo analizado. Así mismo, el escenario 2 presenta un mejoramiento en los tres indicadores analizad

os a diferencia de las propuestas estudiadas mediante los escenarios 3 y 4 que presentaban incluso peores resultados que el escenario base. De lo anterior, llama la atención que el escenario con mejor desempeño es aquel en el cual el cambio propuesto tiene menor impacto en la estructura curricular del programa, invitando a la reflexión sobre la pertinencia de ciertas restricciones que pueden tener un carácter más organizativo que académico.

Finalmente, de acuerdo con lo expuesto anteriormente el modelo propuesto en la presente investigación podría ser de gran utilidad para cualquier programa académico de la Universidad que desee valorar los posibles impactos de una modificación curricular en particular, brindando información adicional que fortalezca la toma de decisiones en las instancias académico-administrativas responsables de estas.

8. Bibliografía

- Abadie, P. (2001). Estudio sobre indicadores y costos en la educación superior. *Documento de Trabajo Del Rectorado*, 1–33. http://sepe.rau.edu.uy/sui/publicaciones/algunosTopicos/doc_tr11.pdf
- Abdelhamid, S. E., Elhabashy, A. E., Reid, K. J., & Kuhlman, C. J. (2015). Studying the Impact of Social Interactions on Students ' Academic Retention using Agent-based Simulation. *7th Annual First Year Engineering Experience (FYEE) Conference*.
- Abdelhamid, S., Kuhlman, C. J., Marathe, M. V., & Ravi, S. S. (2016). Agent-Based Modeling and Simulation of Depression and Its Impact on Students Success and Academic Retention. In *Proceedings of the American Society for Engineering Education Annual Conference*. <https://peer.asee.org/agent-based-modeling-and-simulation-of-depression-and-its-impact-on-student-success-and-academic-retention>
- Ameerbakhsh, O., Maharaj, S., Hussain, A., Paine, T., & Taiksi, S. (2016). An exploratory case study of interactive simulation for teaching Ecology. *2016 15th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ITHET.2016.7760725>
- Castaño, E., Gallón, S., Gómez, K., & Vásquez, J. (2004). Deserción estudiantil universitaria: una aplicación de modelos de duración. *Lecturas de Economía*, 60, 39–65.
- Castillo-Merino, D., Serradell-Lopez, E., & González-González, I. (2010). *Which Are the Determinants of Online Students' Efficiency in Higher Education?* (pp. 209–215). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-13166-0_30
- Clark, M. C., Froyd, J., Merton, P., & Richardson, J. (2016). Evolving Models of Curricular Change : The Experience of the Foundation Coalition. *ASEE Annual Conference Proceedings, February*, 10409–10426.
- Consejo Nacional De Acreditación -CNA-. (2013). *Lineamientos para La acreditación de programas de*

pregrado. https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-341938_archivo_pdf.pdf

Cotgrave, A. J., & Kokkarinen, N. (2010). Developing a model promoting sustainability literacy through construction curriculum design. *Structural Survey*, 28(4), 266–280.

<https://doi.org/10.1108/02630801011070975>

Dawson, S., McWilliam, E., & Tan, J. P. L. (2008). *Teaching smarter: How mining ICT data can inform and improve learning and teaching practice*. 221–230.

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84856733301&origin=resultslist&sort=cp-f&src=s&sid=a4d43e0eaf670733471b1309b4268f8b&sot=a&sdt=a&cluster=scosubjabbr%2C%22ENGI+%22%2Ct%2C%22+COMP+%22%2Ct%2C%22+BUSI+%22%2Ct%2C%22+MATH+%22%2Ct%2C%22+ECON+%22%2Ct%2C%22+DECI+%22%2Ct%2Bscolang%2C%22Spanish++%22%2Ct%2C%22++English++%22%2Ct&sl=62&s=TITLE-ABS-KEY+%28+curricula+AND+%22higher+education%22%2C+indicators+%29&relpos=0&citeCnt=31&searchTerm=>

Díez-Echavarría, L., Valencia, A., Cadavid, L., & Cadavid, L. (2018). Mobile learning on higher educational institutions: how to encourage it?. Simulation approach. *DYNA*, 85(204), 325–333.

<https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.63221>

Fernández, R., Martínez, Y., & Velasco F., N. (2006). Indicadores y estándares internacionales de calidad universitaria. *Calidad En La Educación*, ISSN-e 0718-4565, N°. 25, 2006, Págs. 17-29, 25, 17–29.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2286740&info=resumen&idioma=ENG>

González, L., Uribe, D., & González, S. (2005). Estudio sobre la repitencia y deserción en la educación superior chilena. In *Estudio IESALC Chile*.

Gu, X., & Blackmore, K. L. (2015). A systematic review of agent-based modelling and simulation applications in the higher education domain. *Higher Education Research & Development*, 34(5), 883–898. <https://doi.org/10.1080/07294360.2015.1011088>

Hartmut, B. (1974). College student and dropout problem: A qualitative dynamic simulation. *Instructional Science*, 3(1), 23–50. <https://doi.org/10.1007/BF00117025>

- Johnes, J. (2006). Measuring teaching efficiency in higher education: An application of data envelopment analysis to economics graduates from UK Universities 1993. *European Journal of Operational Research*, 174(1), 443–456. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.02.044>
- Jordan, W., Corley, M., & Napper, S. (2002). Doing assessment during a time of administrative and curricular change. *ASEE Annual Conference Proceedings*, 6941–6955.
- Kharkiv, S. K. (2016). *Simulation of the Impact of Social Media on Promoting Education Services Iryna Ushakova*. http://ceur-ws.org/Vol-1614/paper_60.pdf
- Kuah, C. T., & Wong, K. Y. (2011). Efficiency assessment of universities through data envelopment analysis. *Procedia Computer Science*, 3, 499–506. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2010.12.084>
- Kudła, J., & Stachowiak-Kudła, M. (2016). Quality of Teaching and Research in Public Higher Education in Poland: Relationship with Financial Indicators and Efficiency. *Journal of Management and Business Administration. Central Europe*, 24(4), 88–108. <https://doi.org/10.7206/jmba.ce.2450-7814.184>
- Kumar, R. C., Padro, S., & Watson, C. (1980). School dropouts in Ontario: A simulation of the phenomenon in a local school system. *Socio-Economic Planning Sciences*, 14(5), 217–231. [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(80\)90009-9](https://doi.org/10.1016/0038-0121(80)90009-9)
- Liu, R., Jiang, D., & Shi, L. (2016). Agent-based simulation of alternative classroom evacuation scenarios. *Frontiers of Architectural Research*, 5(1), 111–125. <https://doi.org/10.1016/J.FOAR.2015.12.002>
- Martínez-Lobatos, L. (2016). *El currículo de la universidad pública mexicana a 20 años de permanecer en los programas de financiamiento extraordinario*. 7(19), 42–62. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84971389597&origin=resultslist&sort=cp-f&src=s&sid=c225415cfc76c04c18b6b82f037adcf9&sot=a&sdt=a&cluster=scolang%2C%22Spanish++%22%2Ct%2C%22++English++%22%2Ct&sl=52&s=TITLE-ABS-KEY+%28+curriculo+AND+%22educacion+superior%22+%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>
- MEN, M. de E. N. (2016). *Indicadores de gestión de las universidades públicas 2016*.

<http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/w3-article-354032.html>

Misael, J. (2005). *Estudio sobre la repitencia y deserción en la educación superior en Bolivia*.

[http://www.alfaguia.org/alfaguia/files/1318974304Estudio sobre repitencia y desercion en la educacion superior en Bolivia.pdf](http://www.alfaguia.org/alfaguia/files/1318974304Estudio_sobre_repitencia_y_desercion_en_la_educacion_superior_en_Bolivia.pdf)

Mitri, M. (2003). A knowledge management framework for curriculum assessment. *Journal of Computer Information Systems*, 43(4), 15–24.

Page, J. H. (1994). Assessment: How to make lemons into lemonade. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 120(1), 25–28. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1052-3928\(1994\)120:1\(25\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1052-3928(1994)120:1(25))

Parvin, E. ., Aslani, E. ., Babakhani, M. ., & Parvin, M. . (2015). Quality assessment of curriculum for Bu-Ali Sina higher education department of literature and human sciences. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 6(5), 507–514. <https://doi.org/10.5901/mjss.2015.v6n5p507>

Ramos Ruiz, J. L., Moreno Cuello, J. L., Almanza Ramírez, C., Picón Viana, C., & Rodríguez Albor, G. (2015). *Universidades públicas en Colombia: una perspectiva de la eficiencia productiva y capacidad científica y tecnológica*. Editorial Universidad del Norte. <http://www.uninorte.edu.co/documents/71261/73808e9c-d235-45b7-bf66-fac7ac1b7d93>

Rexwinkel, T., Haenen, J., & Pilot, A. (2013). Quality assurance in higher education: Analysis of grades for reviewing course levels. *Quality and Quantity*, 47(1), 581–598. <https://doi.org/10.1007/s11135-011-9481-6>

Rojas, M. C. C., Nieto, L. D. A., & Villamil Puentes, J. E. (2018). *University Student Desertion Analysis using Agent-Based Modeling Approach*. <https://www.scitepress.org/papers/2018/67776/67776.pdf>

Saunders-Smiths, G., & de Graaff, E. (2012). Assessment of curriculum quality through alumni research. *European Journal of Engineering Education*, 37(2), 133–142. <https://doi.org/10.1080/03043797.2012.665847>

Shanableh, A. (2014). Alignment of course contents and student assessment with course and programme outcomes - A Mathematical approach. *Engineering Education*, 9(1), 48–61.

<https://doi.org/10.11120/ened.2014.00021>

- Sistema Universitario Estatal. (2012). *Desfinanciamiento de la educación superior en Colombia: la realidad de la crisis en el sistema de financiación de las Universidades Estatales*. SUE. [http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/3213%5Cnhttp://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/3213/1/Desfinanciamiento de la Educación Superior SUE 2012.pdf](http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/3213%5Cnhttp://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/3213/1/Desfinanciamiento%20de%20la%20Educaci%20n%20Superior%20SUE%202012.pdf)
- Sun, Y., Todo, N., & Inoue, S. (2014). Exploration of higher education indicators and universities' characteristics in Japan. *Proceedings - 2014 IIAI 3rd International Conference on Advanced Applied Informatics, IIAI-AAI 2014*, 411–416. <https://doi.org/10.1109/IIAI-AAI.2014.90>
- Urego, N. (2010). *REFERENTES JURÍDICOS DE LA FLEXIBILIDAD CURRICULAR EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR EN COLOMBIA* (p. 77). Universidad de Antioquia.
- Vicerrectoría de Docencia. UdeA. (2017). *Principales indicadores de la Universidad de Antioquia*. <http://docencia.udea.edu.co/vicedoce/publicaciones/indicadores/>
- Yáber, G., & Valarino, E. (2002). Indicadores de desempeño clave para unidades académicas universitarias. *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*.

9. Anexos

9.1. Modelo de simulación

Archivo que contiene el modelo de simulación en formato del software NetLogo (.nlogo)