

Development of a Simulation Model in FlexSim as a Support Tool for Curriculum Design

Gerson Fernando López Osorto¹
Viviana Isabel Fuentes Mayen²
Ismael Alfonso Abarca Montoya³
Mendel Ivan Nelson Padilla⁴

¹ Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, 11101, gferlopez2304@unitec.edu

² Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, 11101, viviana.fuentes@unitec.edu

³ Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, 11101, iabarca@unitec.edu

⁴ Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, 11101, mendel.nelson@unitec.edu.hn

***Abstract**– This research developed a simulation model using FlexSim to represent the academic progression of Civil Engineering students at Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), based on the 2015 curriculum. The primary goal was to evaluate the technical feasibility of simulating a curriculum structure through discrete-event modeling, allowing for the early identification of academic bottlenecks before implementing new programs or reforms. The study followed three main phases: data collection and refinement, model construction, and statistical validation. Real student records from 2015 to March 2025 were used, focused on the Tegucigalpa campus. Students were segmented by academic performance (high, medium, low), enabling a differentiated simulation approach according to academic profiles. The resulting model represented idealized academic paths, assigning approval or failure probabilities per subject. However, because FlexSim is primarily designed for industrial systems, significant customization was required. As a result, the model became highly complex, not scalable to other programs, and difficult to replicate across different contexts. Despite these limitations, the simulation helped identify critical courses, particularly in the mathematics track, and led to the creation of a methodological guide to support similar future studies. While the model itself is not universally transferable, the underlying logic, segmentation approach, and technical insights offer a solid foundation for developing more flexible and scalable academic simulations in platforms better suited to educational environments.*

Keywords– Simulation, FlexSim, Bottlenecks, Academic, Innovation

Desarrollo de modelo de simulación en FlexSim como herramienta de apoyo en diseño curricular

Gerson Fernando López Osorto¹

Viviana Isabel Fuentes Mayen²

Ismael Alfonso Abarca Montoya³

Mendel Ivan Nelson Padilla⁴

¹ Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, 11101, gferlopez2304@unitec.edu

² Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, 11101, viviana.fuentes@unitec.edu

³ Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, 11101, iabarca@unitec.edu

⁴ Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, 11101, mendel.nelson@unitec.edu.hn

Resumen– Esta investigación desarrolló un modelo de simulación en FlexSim para representar la trayectoria académica de los estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), utilizando como base el flujograma versión 2015. El objetivo principal fue evaluar la viabilidad técnica de simular una malla curricular mediante una herramienta de simulación discreta, identificando posibles cuellos de botella académicos antes de implementar nuevas reformas o carreras. El estudio se estructuró en tres etapas: recopilación y depuración de datos, construcción del modelo y validación estadística. Se utilizaron registros reales del periodo 2015 a marzo de 2025 de estudiantes del campus Tegucigalpa. Los datos fueron segmentados por nivel de rendimiento (alto, medio y bajo), lo que permitió una modelación diferenciada según el perfil académico. El modelo replicó rutas académicas idealizadas, integrando probabilidades de aprobación y reprobación por asignatura. Sin embargo, debido a que FlexSim está diseñado para contextos industriales, fue necesario un alto nivel de personalización. Esto convirtió el modelo en una solución compleja, no replicable en otras carreras y de difícil escalabilidad. Aun así, permitió identificar asignaturas críticas, principalmente en el área de matemáticas, y produjo una guía metodológica para futuros desarrollos. Aunque el modelo como tal no puede transferirse directamente a otros contextos, la lógica estructural, el enfoque segmentado y los aprendizajes técnicos obtenidos constituyen una base sólida para desarrollar simulaciones académicas más flexibles en plataformas mejor adaptadas al entorno educativo.

Palabras clave– Simulación, FlexSim, Cuellos de botella, Académico, Innovación

I. INTRODUCCIÓN

La simulación en ingeniería industrial es una técnica virtual que replica procesos industriales para estudiar sus variables y comportamiento dentro de un sistema, facilitando la evaluación de alternativas de diseño sin incurrir en altos costos [1]. De manera similar, en el diseño curricular, la simulación se ha adaptado como una herramienta para analizar y predecir el impacto de diferentes estructuras educativas en el aprendizaje, optimizando la planificación y reduciendo riesgos antes de su implementación [2]. Actualmente, el diseño curricular en instituciones educativas se basa en gran medida en procedimientos manuales que no permiten evaluar con certeza el impacto de cada decisión, dificultando la detección

anticipada de problemas que los estudiantes podrían enfrentar al cursar el flujograma.

Con el tiempo, se han desarrollado herramientas para optimizar este proceso, como el Curriculum Modeling and Learner Simulation (CMLS), que emplea modelos computacionales y simulaciones basadas en redes de Petri coloreadas (CPN) utilizando el software CPN Tools. Esta técnica predice el impacto de diferentes estructuras curriculares en el aprendizaje. En la simulación, se integraron principios de aprendizaje como el tiempo dedicado a tareas y la decadencia del aprendizaje no reforzado, el cual explica cómo las habilidades o los conocimientos adquiridos se olvidan si no son reforzados. A pesar de no ser un modelo validado debido a la falta de datos históricos, el CMLS propone una metodología comparativa para evaluar el impacto de diferentes diseños curriculares en el aprendizaje de los estudiantes [3].

Si bien existen algunas herramientas capaces de predecir aspectos como el rendimiento, la matrícula o el impacto estructural del flujograma, la mayoría requiere conocimientos avanzados de programación, lo cual limita su accesibilidad para usuarios sin formación técnica. En respuesta a esta limitación, se planteó el uso de FlexSim, un software especializado en simulación de procesos, como plataforma para desarrollar modelos académicos debido a su interfaz gráfica y lógica adaptable.

El modelado en FlexSim es una técnica de simulación que replica sistemas complejos para analizar y optimizar procesos en diversos contextos, desde líneas de producción hasta flujos logísticos [4]. Según Kliment et al. [5], FlexSim ofrece una interfaz intuitiva basada en el principio de "arrastrar y soltar", lo que facilita la creación de modelos digitales que reflejan condiciones reales. Esta herramienta es especialmente útil para identificar cuellos de botella y proponer mejoras en sistemas industriales.

En su estudio, los autores emplearon FlexSim para modelar y optimizar procesos industriales, específicamente, líneas de producción. Se analizaron variables como el flujo de materiales, la utilización de maquinaria y la eficiencia de los operarios, lo cual permitió que, a través de esta simulación, se

identificaran cuellos de botella y se propusieran mejoras para aumentar la eficiencia del sistema.

Aunque FlexSim se ha utilizado principalmente para sistemas tangibles, como líneas de producción, su adaptación a sistemas intangibles, como los flujogramas académicos, demostrará su versatilidad y facilidad de análisis en la progresión académica de los estudiantes.

La progresión académica se refiere al avance de un estudiante en su programa de estudios, incluyendo el tiempo que tarda en completarlo y su rendimiento constante [6]. Sin embargo, predecir esta progresión puede ser una tarea difícil si se lleva a cabo de manera manual; por lo tanto, se desarrollaron modelos computacionales que facilitan este proceso.

Según el estudio hecho por Nguyen et al. [7], se investigó cómo predecir el rendimiento académico en el primer semestre utilizando inteligencia artificial. Los autores desarrollaron un modelo computacional inspirado en el cerebro para analizar datos de 200 estudiantes del Sydney Institute of Higher Education (SIHE). Al entrenar la red con algoritmos genéticos, que buscan soluciones óptimas, y el algoritmo de Levenberg-Marquardt, que ajusta los resultados, se logró identificar a aquellos alumnos en riesgo de bajo rendimiento. Esto permitió a las universidades ofrecer apoyo oportuno y mejorar la retención estudiantil.

Mientras este estudio se enfoca en la predicción temprana del rendimiento, la simulación en FlexSim para el análisis de los flujogramas busca optimizar el diseño curricular mediante la visualización de posibles problemas en el flujo académico que generen cuellos de botella. Ambos enfoques comparten el objetivo de mejorar la retención y el éxito estudiantil, ofreciendo una perspectiva complementaria para la toma de decisiones en educación superior.

Los cuellos de botella son puntos de congestión que ralentizan un proceso, afectando su eficiencia [8]. En el ámbito académico, estos obstáculos pueden manifestarse como asignaturas difíciles o requisitos problemáticos, limitando el progreso estudiantil. Identificar estos cuellos de botella es clave para optimizar la trayectoria académica y asegurar el avance eficiente de los estudiantes.

En la investigación realizada por Nelson et al. [9] se desarrolló una herramienta web que utiliza datos estadísticos y contenido curricular para identificar y visualizar cuellos de botella en cursos académicos. La herramienta, con una interfaz gráfica intuitiva, permite a educadores detectar temas problemáticos de manera temprana y precisa, facilitando mejoras en el diseño curricular. A pesar de que esta herramienta se enfocó en cursos específicos, puede ser ampliado para ser aplicado a estructuras globales de los flujogramas para facilitar la toma de decisiones estratégicas.

En otros casos, se han desarrollado modelos de simulación como el Course Enrollment Simulation Model (CESM) para analizar el comportamiento de matrícula de estudiantes universitarios, integrando técnicas de simulación de eventos discretos y utilizando un enfoque de modelado basado en agentes, en el cual se modelan interacciones de elementos

(agentes) individuales en sistemas complejos compuestos [10]. El estudio utilizó datos reales de una cohorte de la Carrera de Informática para validar el modelo, evaluando cómo los patrones de inscripción de cursos, como la intensidad y frecuencia, impactan en la graduación, y aplicó el modelo para probar políticas de inscripción de verano.

Todas estas propuestas sirven como herramientas de apoyo en la toma de decisiones. Las herramientas de apoyo al desempeño son recursos diseñados para asistir oportunamente a las personas, mejorando la eficiencia de sus tareas [11]. En el ámbito académico la simulación, como herramienta de apoyo, permite anticipar y mejorar la gestión académica. Al simular escenarios, se identifican obstáculos y se optimizan procesos curriculares, lo cual facilita la toma de decisiones informadas para mejorar la eficiencia educativa.

De acuerdo con la investigación de Teixeira et al. [12], se desarrolló "ConCUR", una herramienta digital de apoyo para analizar y visualizar la coherencia en los currículos de ingeniería. Esta herramienta permite identificar conexiones entre cursos, detectar inconsistencias y redundancias, y facilitar la adaptación de los programas de estudio. ConCUR ayuda a docentes y coordinadores a tomar decisiones informadas, promoviendo la creación de currículos más flexibles y alineados con las necesidades educativas actuales.

Mientras ConCUR se enfoca en la estructura y conexiones entre cursos, FlexSim simula el proceso abstracto del trayecto estudiantil, ofreciendo una visión dinámica del tiempo de graduación y posibles retrasos. Ambas herramientas optimizan la gestión curricular mediante un enfoque visual y analítico, facilitando la toma de decisiones basada en evidencia.

Otras alternativas para mejorar la predicción y el seguimiento del progreso estudiantil son la digitalización de procesos y el uso de gemelos digitales. Por una parte, la digitalización, entendida como la transición de actividades físicas a entornos digitales para optimizar la eficiencia de los modelos educativos y operativos [13], se aplica en el ámbito académico para transformar el desarrollo curricular. Esto implica el uso de tecnologías para crear materiales interactivos, implementar aprendizaje adaptativo y analizar datos para evaluar el progreso estudiantil.

En un artículo desarrollado por Turcanu et al. [14] se explora cómo la digitalización en la Universidad Técnica de Moldavia (UTM) mejora el desarrollo curricular y la gestión de clases. Herramientas como "Universitatea Mea" permiten acceso en tiempo real a información académica, facilitando el seguimiento del progreso estudiantil y la actualización de planes de estudio. La metodología incluyó la integración de módulos en el sistema de gestión universitaria (SGU) y capacitación en su uso.

Esta investigación destaca la importancia de implementar herramientas tecnológicas para optimizar la gestión académica y mejorar la experiencia del estudiante. De manera similar, la simulación del flujograma mediante FlexSim utiliza datos reales de matrícula y rendimiento estudiantil para identificar cuellos de botella en el proceso educativo.

Al emplear estadísticas como las tasas de aprobación, la simulación crea una representación visual del recorrido académico, permitiendo identificar obstáculos y comprender mejor el tiempo de graduación. Así, tanto el SGU de UTM como la simulación en FlexSim sirven como herramientas de apoyo para la toma de decisiones académicas informadas, abordando la complejidad de los procesos educativos desde diferentes enfoques.

Por otra parte, un gemelo digital es una versión virtual que simula con precisión el comportamiento de algo real, ya sea un objeto, un proceso o un sistema. Esta copia digital permite analizar y predecir cómo se comportará su contraparte física y mejorar la eficiencia operacional [15]. Con el paso del tiempo, el uso de esta tecnología se ha vuelto común, sin embargo, se utiliza mayormente en sectores de manufactura [16].

De acuerdo con la investigación de Kartashova et al. [8], se propuso el uso de la tecnología de gemelo digital (Digital Twin) para crear un entorno educativo innovador que combine espacios físicos y digitales en instituciones educativas. El gemelo digital gestiona y optimiza el proceso educativo, especialmente en situaciones como la pandemia de COVID-19, integrando herramientas como sistemas de gestión del aprendizaje (LMS) y recursos educativos electrónicos (EER). Esta tecnología facilitaría la planificación, monitorización y adaptación del aprendizaje, ofreciendo una solución dinámica para la educación en formatos presenciales y virtuales. Mientras que el gemelo digital propuesto integra espacios físicos y digitales para mejorar la continuidad educativa, FlexSim identifica obstáculos en el trayecto académico, ofreciendo una representación visual de procesos complejos. Ambos enfoques transforman datos en información útil; aunque el gemelo digital tiene un alcance más amplio, FlexSim se centra en el flujo académico específico.

Inicialmente, el presente proyecto se concibió con el objetivo de simular el flujo académico de los estudiantes considerando tanto el flujograma anterior como la transición hacia el reformado. Sin embargo, debido a la complejidad del trabajo requerido, se optó por dividirlo en etapas. Esta investigación se centra en evaluar la viabilidad práctica de utilizar FlexSim para modelar un flujograma académico. Como caso piloto, se seleccionó la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), en el campus de Tegucigalpa, Honduras, debido a los retrasos detectados tras la implementación de una reforma curricular en 2024.

El modelo desarrollado tuvo como objetivo reproducir el flujograma versión 2015, estructurando el avance por periodos académicos e integrando probabilidades de aprobación o reprobación por asignatura, basadas en datos reales de rendimiento estudiantil entre 2015 y 2025. No se consideraron factores externos como abandono, disponibilidad de cupos ni contexto socioeconómico, con el fin de aislar exclusivamente el comportamiento estructural del flujograma. Para un mayor realismo, los estudiantes fueron segmentados en tres perfiles de rendimiento: alto, medio y bajo.

Este enfoque buscó validar la viabilidad de FlexSim como herramienta de simulación académica y proporcionar un marco metodológico que permita identificar cuellos de botella en el flujo estudiantil, sirviendo como base para futuras mejoras en el diseño curricular universitario.

II. METODOLOGÍA

A. Enfoque

La presente investigación se basó en un enfoque mixto, en el cual, se utilizan procesos de recolección y análisis de datos cuantitativos y cualitativos dentro de un mismo estudio con el fin de resolver un problema [17]. En este caso, se utilizaron datos cuantitativos como las notas finales y tiempo de graduación para generar una simulación que permite identificar datos cualitativos como cuellos de botella generados en el flujograma de Ingeniería Civil de UNITEC.

B. Variables de investigación

1) Variables de entrada

- Notas por clase: Notas finales de cada estudiante de Ingeniería Civil en UNITEC Tegucigalpa por cada clase cursada desde 2024
- Año de ingreso de cada estudiante
- Año de egreso de cada estudiante

2) Variables de salida

- Tiempo de graduación: Tiempo que tarda en culminar la carrera un estudiante en periodos
- Tasa de reprobación: Proporción de clases repetidas en relación con la cantidad de clases en el flujograma
- Factores que generan los cuellos de botella
- Cuellos de botella: Línea del flujograma que genera cuello de botella

C. Técnicas e instrumentos aplicados

Se utilizaron diversas herramientas estadísticas y de simulación para desarrollar y validar el modelo:

Simulación de procesos: Se construyó un modelo visual en FlexSim que replicó el avance de un estudiante a través del flujograma académico de la carrera, incorporando restricciones curriculares y probabilidades de aprobación.

Pruebas de igualdad de medias: Se aplicó para comparar los tiempos promedio de graduación simulados con los históricos, con el fin de identificar diferencias significativas y validar la precisión del modelo frente a datos reales.

Análisis de percentiles académicos: Los estudiantes fueron clasificados en grupos de alto, medio y bajo rendimiento según su posición dentro de la distribución de notas. Esta segmentación sirvió como base para asignar probabilidades de éxito por asignatura en la simulación.

Gráficos de control: Se emplearon para detectar y excluir datos atípicos que no representaban el comportamiento general

de los estudiantes, mejorando la calidad del análisis estadístico.

D. Materiales

Para el desarrollo del modelo se utilizaron las siguientes herramientas:

FlexSim: Software de simulación que permitió modelar visualmente el recorrido académico de los estudiantes mediante procesos en 3D.

Bases de datos institucionales: Información académica histórica de estudiantes de Ingeniería Civil de UNITEC Tegucigalpa, utilizada para construir escenarios realistas de simulación.

MS Excel: Aplicado para el procesamiento, limpieza y estructuración de los datos.

Minitab: Software estadístico empleado en el análisis de pruebas de igualdad de medias y en la clasificación de estudiantes por percentiles.

E. Población y muestra

La población estuvo compuesta por todos los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil del campus Tegucigalpa de UNITEC, con énfasis en aquellos afectados por la reforma curricular implementada a partir de 2024. Para la simulación se utilizaron registros académicos del periodo 2020–2025 y datos de tiempo de graduación entre 2015 y 2025, lo que permitió construir un modelo robusto y contextualizado.

Se utilizó una muestra no probabilística por conveniencia, seleccionada en función de la disponibilidad y calidad de los datos proporcionados por las autoridades académicas. Esta muestra se centró exclusivamente en el campus Tegucigalpa, por ser el caso más reciente de aplicación de la reforma y contar con registros más accesibles.

F. Metodología de estudio

La metodología del estudio se estructuró en tres fases: análisis de datos, construcción del modelo de simulación y validación.

En la primera etapa, se recopiló y depuró información académica de estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de UNITEC, correspondiente al periodo 2015–2025. Se seleccionó una cohorte que permitió dar seguimiento completo a los estudiantes desde su ingreso hasta la graduación.

Los datos fueron extraídos de la base global institucional, por lo que los investigadores realizaron un proceso de organización y análisis manual. Se construyeron tablas para segmentar a los estudiantes por nivel de rendimiento (alto, medio y bajo), utilizando percentiles (70, 75 y 85), y se calcularon tasas de aprobación y reprobación por asignatura, utilizando las ecuaciones 1 y 2. Estas probabilidades sirvieron como insumo para alimentar la lógica probabilística del modelo. También se aplicaron gráficos de control para excluir

casos atípicos, asegurando que las estadísticas reflejaran comportamientos representativos. Además, se realizaron investigaciones complementarias para comprender el funcionamiento de un flujograma y su impacto en la trayectoria académica, información clave para definir la lógica estructural del modelo.

$$\text{Porcentaje de aprobación} = \frac{\text{Cant. de aprobados}}{\text{Total de alumnos en listado de n intento}} \quad (1)$$

$$\text{Porcentaje de reprobación} = \frac{\text{Cant. de reprobados y sin derecho}}{\text{Total de alumnos en listado de n intento}} \quad (2)$$

La segunda fase, centrada en la construcción del modelo, se desarrolló utilizando FlexSim y se ejecutó de forma colaborativa y continua. Los investigadores trabajaron en jornadas diarias de aproximadamente ocho horas, reconstruyendo el modelo desde cero con base en los aprendizajes del primer prototipo. Se realizaron reuniones diarias de trabajo, así como sesiones periódicas de revisión con asesores en simulación, programación y estadística. Toda la lógica condicional, las estructuras funcionales y el código fueron diseñados directamente por los autores, lo que permitió adaptar el modelo a las particularidades del flujograma versión 2015.

Durante todo el proceso, se realizaron verificaciones continuas para asegurar la coherencia interna del modelo. Finalmente, se empleó el módulo Experimenter para validar los resultados simulados frente a los datos históricos, garantizando que las salidas fueran representativas y confiables para los tres segmentos estudiantiles.

G. Metodología de validación

La validación del modelo se desarrolló en tres etapas. Primero, los investigadores realizaron una validación progresiva durante la construcción del modelo, identificando errores y asegurando su correcto funcionamiento. En la segunda etapa, se aplicó un análisis estadístico (pruebas t) para comparar los resultados simulados con los datos reales, identificando posibles discrepancias y puntos críticos del flujograma. Finalmente, se realizó una triangulación con expertos en el área académica y de simulación, con el fin de evaluar la utilidad y precisión del modelo desde una perspectiva cualitativa.

III. RESULTADOS

A. Modelo de simulación

El modelo fue desarrollado en FlexSim y adaptado para representar el recorrido académico de un estudiante dentro del flujograma versión 2015 de la carrera de Ingeniería Civil de UNITEC. Su estructura replica los periodos académicos y reproduce el avance del estudiante en función del

cumplimiento de prerequisites y de la cantidad de asignaturas disponibles por periodo, de acuerdo con la carga académica definida.

Cada estudiante simulado avanza por ciclos trimestrales, y en cada uno se evalúan las asignaturas que puede cursar según el historial acumulado de aprobaciones y las condiciones académicas del flujograma. Una vez asignadas las clases, el estudiante permanece en ellas durante una duración estándar de 70 días, equivalente al trimestre académico en UNITEC. Al finalizar cada ciclo, el modelo determina si aprueba o reprueba las asignaturas cursadas, no mediante calificaciones numéricas, sino aplicando probabilidades derivadas del análisis estadístico de tasas reales de aprobación y reprobación por asignatura.

Para representar distintos perfiles estudiantiles, se desarrollaron tres versiones del modelo, diferenciadas únicamente por las probabilidades aplicadas a cada asignatura según el segmento de rendimiento: alto, medio o bajo. Aunque la estructura del modelo es idéntica en cada caso, los resultados varían debido a las diferencias en el comportamiento académico reflejadas en dichas tasas. El resultado de cada ciclo afecta directamente el avance del estudiante, modificando la disponibilidad de materias para el siguiente periodo. Este flujo condicional se repite hasta completar todos los requisitos del flujograma, como se ilustra en la Figura 1.

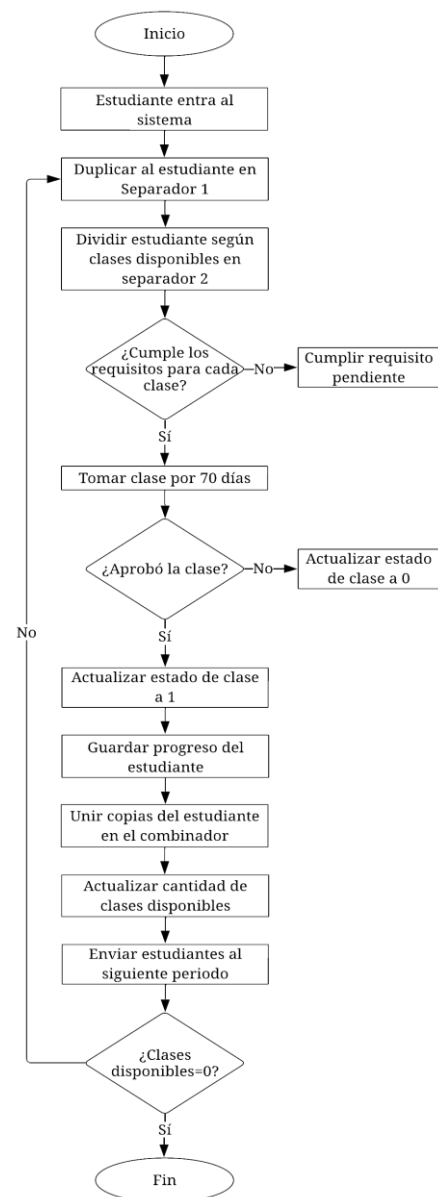


Fig. 1 Diagrama de flujo del funcionamiento general del modelo.

Para asegurar un comportamiento lógico y consistente del modelo, se establecieron las siguientes limitaciones:

- Los estudiantes siguen el orden propuesto por el flujograma, sin dejar asignaturas no obligatorias rezagadas.
- El modelo no contempla eventos como abandono de carrera, cambios de versión del flujograma, factores económicos ni situaciones externas como pandemias.
- No se simulan notas individuales; las decisiones de aprobación/reprobación se asignan con base en probabilidades históricas.

siguiente dependiendo del cumplimiento de los requisitos de las asignaturas y la cantidad de periodos que el estudiante lleva en el sistema, esto para prevenir que el estudiante cursara una clase que se encontrara en periodos más adelante, cumpliendo con la premisa que el estudiante matricula las asignaturas según el orden establecido en el flujograma.

Asimismo, se incorporó un sistema de repitencia, activado en los casos en que un estudiante llega al periodo de Proyecto con asignaturas reprobadas (estado 0). Ante esta situación, el modelo regresaba las copias del estudiante a los periodos anteriores correspondientes, permitiéndoles cursar y aprobar las materias pendientes antes de avanzar nuevamente hacia la etapa final del flujograma.

La construcción del modelo fue progresiva, configurando y probando individualmente cada año académico del flujograma, con el fin de reducir errores y mantener la estabilidad del sistema.

Aunque el modelo parecía operar correctamente en sus etapas iniciales, durante las pruebas se identificó un problema estructural al revisar los inputs de los queues de aprobación. Se detectó que múltiples copias del mismo estudiante eran procesadas simultáneamente al cursar asignaturas en paralelo o al entrar en procesos de repitencia. Estas copias se trataban como entidades independientes dentro del flujo, lo que ocasionaba un conteo incorrecto de periodos. En particular, cuando dos copias coincidían en una misma asignatura, se omitía la asignación de otra clase que también estaba disponible, generando atrasos innecesarios y distorsionando los tiempos simulados de graduación.

Inicialmente se sospechó que el problema se debía a la lógica round robin utilizada en los separadores por periodo, que distribuían copias sin considerar condiciones académicas específicas. Para mitigar el error, se realizaron varios ajustes durante el desarrollo, incluyendo la modificación de separadores, la incorporación de lógica condicional más precisa y la implementación de una estructura especializada para manejar repitencias entre los periodos 15 y 16. Sin embargo, ninguna de estas medidas eliminó completamente el problema.

Ante esto, se desarrolló un código parche que corrige el conteo final de periodos al momento en que el estudiante egresa del sistema. La solución se basa en 17 variables globales (una por cada periodo), que registran si hubo al menos una repitencia en ese lapso. Estas variables se actualizan mediante un trigger al ingresar al queue Fin Carrera, y su valor acumulado se suma a una base mínima de 18 periodos, representando así el tiempo total corregido de permanencia del estudiante en el sistema.

Tras su implementación, el parche permitió obtener métricas más coherentes con los datos reales. En los resultados por segmento, se observaron ajustes tanto en la media como en los valores extremos y en la desviación estándar. En estudiantes de alto rendimiento, el número de periodos simulados tendió a disminuir, ya que en este grupo el modelo anterior contaba periodos de más por paralelismos innecesarios. En cambio, en estudiantes de bajo rendimiento, y

en algunos casos los de rendimiento medio, el conteo aumentó ligeramente, pues el modelo corregido capturó flujos de repitencia o avances omitidos que antes no eran contabilizados. Esta variación demostró que el parche mejoró la precisión estadística del modelo, aunque no resolvió la causa raíz: las copias continúan fluyendo de forma independiente durante la simulación, lo que mantiene parcialmente comprometida la integridad lógica del sistema. Los resultados de la implementación de parche pueden observarse en la Tabla I.

TABLA I

COMPARACIÓN DE RESULTADOS ANTES Y DESPUÉS DEL PARCHÉ

Antes		Después	
Alumno Alto Rendimiento Sin Parche		Alumno Alto Rendimiento Parchado	Porcentaje de Cambio
Media	19.36	18.41	-5%
DE	0.5819	0.50324	-14%
Valor Mínimo	19	18	-5%
Valor Máximo	21	19	-10%
Alumno Rendimiento Medio Sin Parche		Alumno Rendimiento Medio Parchado	Porcentaje de Cambio
Media	22.48	22.36	-1%
DE	1.97	1.63	-17%
Valor Mínimo	19	19	0%
Valor Máximo	27	26	-4%
Alumno Rendimiento Bajo Sin Parche		Alumno Rendimiento Bajo Parchado	Porcentaje de Cambio
Media	26.17	27.91	7%
DE	2.57	2.71	5%
Valor Mínimo	22	22	0%
Valor Máximo	31	32	3%

Para cada segmento de estudiantes (alto, medio y bajo rendimiento), se realizó un análisis de riesgo académico considerando todas las asignaturas del flujograma. Las medidas de desempeño se configuraron en los queues de reprobación de cada clase. Las simulaciones se ejecutaron en Experimenter, utilizando como referencia la cantidad real de estudiantes disponibles por segmento; por ejemplo, si se contaban 22 registros reales de estudiantes de alto rendimiento, se realizaron 22 corridas para ese grupo. En cada corrida se registró cuántas veces se reprobaba cada asignatura. A partir de esto, se calculó la tasa de reprobación por asignatura dividiendo la cantidad total de reprobaciones entre el número de corridas realizadas. Luego, para cada materia y dentro de cada segmento, se obtuvo un índice de riesgo académico, utilizando la ecuación 3, multiplicando esa tasa de reprobación por la cantidad de clases o secciones que abre la asignatura analizada. Finalmente, se construyó un análisis de riesgo general ponderado, integrando los resultados por asignatura de los tres segmentos. Este enfoque permitió identificar diferencias entre perfiles estudiantiles, revelando que algunas materias son potenciales cuellos de botella solo para ciertos grupos, mientras que otras representan un riesgo transversal en la trayectoria académica general.

Indice de riesgo = Tasa de reprobación × Número de clases que abre

(3)

A. Categorización del riesgo

Los índices de riesgo fueron clasificados por percentiles:

- Alto riesgo (Rojo): índice mayor o igual al percentil 75.
- Riesgo medio (Amarillo): entre el percentil 25 y el 75.
- Bajo riesgo (Verde): índice menor al percentil 25.

Esta categorización facilita la identificación de asignaturas críticas que presentan alta probabilidad de generar retrasos académicos.

B. Interpretación de resultados del análisis de riesgo académico

1) Asignaturas de alto riesgo académico

Las materias identificadas como de alto riesgo (índice ≥ 0.22) constituyen los principales cuellos de botella del flujograma. Estas asignaturas, en su mayoría del área matemática, presentan altas tasas de reprobación y, además, abren dos o más secciones, lo que intensifica su impacto en el avance académico. Al ubicarse varias de ellas en las etapas iniciales del flujograma, cualquier retraso en su aprobación genera demoras acumulativas en asignaturas posteriores, afectando especialmente a los estudiantes con bajo rendimiento. Estas asignaturas pueden observarse en la Tabla II, junto a sus respectivos índices de riesgo.

TABLA II
CUELLOS DE BOTELLA CON ALTOS ÍNDICES DE RIESGO

Cuellos de Botella Potenciales			
Código de clase	Reprobación	# Clases que abre	Índice de riesgo
MAT109	0.45	3	1.35
MAT301	0.39	2	0.77
CIV302	0.22	3	0.65
MAT102	0.20	2	0.40
MAT103	0.09	4	0.35
MAT210	0.34	1	0.34
MAT105	0.29	1	0.29
CIV312	0.28	1	0.28
CIV310	0.14	2	0.28
MAT203	0.23	1	0.23

2) Asignaturas de riesgo medio

Las materias con índice entre 0.02 y 0.22 no presentan reprobaciones críticas por sí solas, pero al acumularse pueden generar complicaciones importantes en el avance académico. Estas asignaturas, como CIV301, MAT101 y FIS201, observadas en la Tabla III, suelen tener correlaciones con otras materias técnicas o aparecen en momentos intermedios del flujograma. Si no se gestionan adecuadamente, pueden contribuir al estancamiento progresivo del estudiante.

TABLA III
CUELLOS DE BOTELLA CON ÍNDICES DE RIESGO MEDIOS

Cuellos de Botella Potenciales			
Código de clase	Reprobación	# Clases que abre	Índice de riesgo
CIV301	0.10	2	0.21
CIV402	0.21	1	0.21
MAT101	0.18	1	0.18
LCC104	0.08	2	0.15
FIS201	0.07	2	0.15
CIV306	0.14	1	0.14
FIS202	0.07	2	0.13
CIV202	0.05	2	0.10
CIV311	0.05	2	0.09
CIV319	0.04	2	0.08
CIV317	0.07	1	0.07
CIV320	0.06	1	0.06
EIE2	0.05	1	0.05
CIV413	0.02	2	0.04
EIE3	0.04	1	0.04
CIV321	0.04	1	0.04
CIV407	0.04	1	0.04
CIV505	0.03	1	0.03
CIV507	0.03	1	0.03
LCI302	0.03	1	0.03
LCI303	0.03	1	0.03
CIV104	0.02	1	0.02
CIV404	0.01	2	0.02
CIV408	0.01	2	0.02
CIV511	0.02	1	0.02
CIV314	0.02	1	0.02
EIE1	0.02	1	0.02
LCI101	0.02	1	0.02

3) Asignaturas de bajo riesgo académico

Las asignaturas con un índice de riesgo inferior a 0.02 no representan una amenaza significativa para la continuidad académica. En su mayoría, corresponden a materias generales de formación humanística o complementaria, aunque también se incluyen algunas asignaturas propias de la carrera. A pesar de su bajo impacto estructural y su alta tasa de aprobación, es importante no descuidarlas, ya que algunas de ellas abren hasta dos asignaturas, lo cual las convierte en elementos logísticos relevantes dentro del flujograma. Si bien no requieren intervenciones urgentes, su adecuada gestión es clave para evitar acumulaciones innecesarias y garantizar la estabilidad operativa del sistema académico. Estas asignaturas con bajos índices de riesgo se pueden observar en la Tabla IV.

TABLA IV
CUELLOS DE BOTELLA CON BAJOS ÍNDICES DE RIESGO

Cuellos de Botella Potenciales			
Código de clase	Reprobación	# Clases que abre	Índice de riesgo
CIV316	0.01	1	0.01
TLL314	0.01	1	0.01
EMP402	0.01	1	0.01
ADM102	0.01	0	0.00
ART/DEP	0.02	0	0.00
CCC207	0.17	0	0.00
CIV101	0.00	0	0.00
CIV203	0.00	2	0.00
CIV304	0.00	2	0.00
CIV315	0.14	0	0.00
CIV318	0.00	1	0.00
CIV401	0.12	0	0.00
CIV406	0.00	1	0.00
CIV409	0.02	0	0.00
CIV491	0.00	1	0.00
CIV492	0.00	0	0.00
CIV501	0.00	2	0.00
CIV508	0.00	1	0.00
EIE4	0.02	0	0.00
EMP401	0.00	1	0.00
ESP103	0.05	0	0.00
FIL101	0.09	0	0.00
FIS203	0.12	0	0.00
HIS101	0.00	0	0.00
IND313	0.08	0	0.00
LCI201	0.00	2	0.00
LCI304	0.00	2	0.00
LCI305	0.00	1	0.00
LCI501	0.00	1	0.00
QUI101	0.07	0	0.00
SOC101	0.09	0	0.00

C. Conclusiones

1. El modelo fue construido para el flujograma versión 2015 de Ingeniería Civil en UNITEC y opera bajo una lógica altamente personalizada. Debido a su complejidad y programación manual en FlexSim y FlexScript, no puede adaptarse directamente a otras carreras o universidades sin una reconstrucción completa.
2. Las pruebas t mostraron que los tiempos de graduación simulados son cercanos a los reales en los tres segmentos de estudiantes (alto, medio y bajo rendimiento), con diferencias no significativas. Sin embargo, esto se debe a que el modelo opera en un entorno idealizado que no contempla factores externos como el abandono, las transferencias o situaciones personales.
3. El modelo tiende a reducir la variabilidad natural del avance académico. La desviación estándar en los datos simulados fue hasta 82% menor en algunos segmentos, reflejando trayectorias más homogéneas que las reales. Esto limita su capacidad para representar escenarios con alta dispersión, como ocurre en estudiantes con bajo rendimiento.

4. Para lograr una simulación funcional en FlexSim fue necesario contar con datos históricos precisos, tasas de aprobación segmentadas, mapeo de prerrequisitos y estructuras que controlaran repitencias y flujos. Estos elementos fueron sistematizados en una guía metodológica, útil como base conceptual, pero no aplicable directamente a otros flujogramas sin ajustes específicos.
5. El análisis de riesgo ponderado permitió detectar asignaturas clave como MAT109, MAT301 y CIV302, que concentran alta reprobación y abren 2 o más asignaturas. Estas materias tienen un papel estructural en el flujograma y su reprobación puede provocar atrasos académicos, sobre todo en estudiantes de bajo rendimiento.

D. Recomendaciones

1. FlexSim mostró limitaciones importantes al aplicarse al contexto académico, especialmente por su enfoque industrial y la necesidad de estructuras personalizadas para manejar prerrequisitos, repitencias y lógica condicional. Aunque se logró un modelo funcional, su complejidad y baja escalabilidad sugieren que sería más conveniente desarrollar una herramienta desde cero o usar entornos más adaptables como Python.
2. La guía técnica desarrollada en este estudio es útil como base conceptual, pero no debe aplicarse directamente a otros flujogramas. Su lógica está diseñada para el flujograma versión 2015 de Ingeniería Civil y requiere ajustes significativos en contextos distintos. Se recomienda adaptarla a cada carrera según sus características específicas.
3. Para mejorar la validez del modelo y su capacidad explicativa, se recomienda incorporar factores externos como perfil socioeconómico, carga laboral, motivación o acceso a recursos. Estos elementos ayudarían a entender mejor la variabilidad del avance académico y enriquecer futuras simulaciones.
4. Se identificaron datos atípicos en los tiempos de graduación que no coinciden con el perfil académico de los estudiantes. Se sugiere una revisión por parte de Registro Académico para asegurar bases de datos más limpias y confiables en futuras investigaciones.

E. Aplicabilidad

Aunque el modelo desarrollado en FlexSim no puede implementarse directamente en otros flujogramas debido a su alto nivel de personalización y a las limitaciones del software, su valor práctico reside en los conocimientos técnicos y metodológicos generados durante su construcción. Estos permiten comprender mejor la relación entre estructura curricular y trayectoria estudiantil.

El modelo facilitó la visualización de cuellos de botella provocados por asignaturas específicas, así como la respuesta diferenciada de estudiantes según su rendimiento (alto, medio o bajo). Por tanto, su aplicabilidad no está en replicarlo literalmente, sino en reutilizar su lógica, estructuras condicionales y metodología como base para proyectos futuros más adaptables. Este enfoque puede ser útil para:

- Académicos y coordinadores del flujograma versión 2015 de Ingeniería Civil en UNITEC, como herramienta exploratoria.
- Investigadores y desarrolladores que diseñen modelos similares en otros entornos técnicos.
- Docentes y unidades académicas interesadas en comprender mejor el funcionamiento del flujograma versión 2015 y apoyar procesos de rediseño curricular o análisis de retención.

F. Trabajo futuro

Una segunda etapa lógica de este proyecto es desarrollar un modelo similar en un entorno más flexible, como Python, que supere las limitaciones de FlexSim: dificultad para modelar condiciones externas, rigidez en decisiones condicionales y baja escalabilidad fuera del flujograma versión 2015 de Ingeniería Civil.

Este nuevo modelo no debe replicar el actual, sino aprovechar aprendizajes clave como la lógica de avance por periodos, la segmentación por rendimiento, la gestión de repitencias con estructuras condicionales y el análisis de riesgo académico. A partir de este enfoque, pueden surgir nuevas líneas de investigación:

- Influencia del perfil socioeconómico en el desempeño académico.
- Estructuras curriculares que reduzcan acumulación de asignaturas críticas.
- Uso de inteligencia artificial o aprendizaje automático con datos reales.

Así mismo, se recomienda integrar un enfoque multidisciplinario para construir un modelo más robusto y útil para la toma de decisiones estratégicas en educación superior.

REFERENCIAS

- [1] Beaverstock, M., Greenwood, A., & Nordgren, W. (2017). *Applied Simulation* (5ta ed.). FlexSim Software Products, Inc. Recuperado el 1 de mayo de 2025
- [2] Universidad Internacional de Rioja. (13 de febrero de 2025). *Los modelos de simulación: ¿qué son y para qué sirven?* Obtenido de UNIR: <https://www.unir.net/revista/ingenieria/modelos-simulacion/>
- [3] McEneaney, J., & Morsink, P. (2022). Curriculum Modelling and Learner Simulation as a Tool in Curriculum (Re)Design. *Journal of Learning Analytics*, 9(2), 161-178. <https://doi.org/10.18608/jla.2022.7499>
- [4] Ubowska, A., & Krolikowski, T. (2024). New technologies in the educational process on the example of FlexSim® software – the digital twin solution. *Procedia Computer Science*, 246, 4751-4758. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.340>
- [5] Kilment, M., Pekarcikova, M., Trojan, J., & Kronova, J. (2022). Use of the FlexSim simulation tool for creating simulation models. *Acta Simulatio- International Scientific Journal about Simulation*, 8(1), 1-8. <https://doi.org/10.22306/asim.v6i1.56>
- [6] Romero, R., & Anzola, J. (2021). Modelo para la progresión académica de estudiantes online en Educación Superior. *Educación Superior. Cuadernos de Investigación Educativa*, 13(1). <https://doi.org/10.18861/cied.2022.13.1.3181>
- [7] Nguyen, L., Nguyen, A., Jia, J., Ling, S., & Finch, N. (2024). Prediction of Students' Academic Progression using Machine Learning. *IEEE Conference on Artificial Intelligence (CAI)*, 1105-1110. doi:10.1109/CAI59869.2024.00199.
- [8] Kartashova, L., Gurzhii, A., Zaichuk, V., Sorochan, T., & Zhuravlev, F. (2022). Digital Twin of an Educational Institution: An Innovative Concept of Blended Learning. *Proceedings of the 1st Symposium on Advances in Educational Technology (AET 2020)* -, 2, 300-310. doi:10.5220/0010931100003364
- [9] Nelson, M., Hossain, N., Al Hasan, M., & Enamul, H. (2022). A Semi-Automatic Knowledge Discovery Tool to Identify and Visualize Course Bottlenecks. *2023 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1-5. doi:10.1109/FIE58773.2023.10342941
- [10] Straney, R. (2024). Developing a Course Enrollment Simulation Model to Improve College Graduation Outcomes. *STARS University of Central Florida*. Obtenido de <https://stars.library.ucf.edu/etd2023/362/>
- [11] Bustillo, G. (11 de diciembre de 2023). *Cómo las herramientas de apoyo al desempeño pueden mejorar la productividad de los empleados*. Obtenido de LinkedIn: <https://es.linkedin.com/pulse/c%C3%B3mo-las-herramientas-de-apoyo-al-desempe%C3%B1o-pueden-laj6y3cf#:~:text=Las%20herramientas%20de%20apoyo%20al%20desempe%C3%B1o%20o%20ayudas%20laborales%20son,manera%20m%C3%A1s%20eficiente%20y%20efectiva>
- [12] Teixeira, A., Guerra, A., Knorn, S., Staffas, K., & Varagnolo, D. (2020). Computer-aided curriculum analysis and design: 1-9. doi:<https://aica-atlas.s3.eu-north-1.amazonaws.com/projects/e7299991-cb2b-4764-a849-4909e01fb07d/documents/9hmTrw4LC94WStkQrVzmTL2RZirNMKumzCRnPNNw.pdf>
- [13] Mas Crespo, G., & Duarte, J. M. (2024). Dimensiones de la Transformación Digital en Instituciones de Educación Superior para la Formación Continua. *Revista Digital de Investigación y Postgrado*, 5(10), 33-57. <https://doi.org/10.59654/zwacdx48>
- [14] Turcanu, D., Siminuic, R., & Turcanu, T. (2022). Role of the University Management System in the digitalization of Technical University of Moldova. *ICE ECCO-2022: The 12th International Conference on Electronics, Communications and Computing*. <https://doi.org/10.52326/ic-ecco.2022/MM.02>
- [15] Isaza, L. (2024). Digital Twins in Industry 5.0 – a systematic literature review. *European Public & Social Innovation Review*, 9. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-641>
- [16] Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (28 de mayo de 2020). *Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research*. doi:10.1109/ACCESS.2020.2998358
- [17] Hernandez, S., Mendoza, R., & Paulina. (2023). *Metodología de la Investigación Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (Vol. 2). McGraw-Hill Interamericana. Obtenido de <https://www.ebooks7-24.com:443/?il=31455>